

ОТЗЫВ

официального оппонента профессора кафедры Механики материалов и геотехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет», д-ра технических наук, профессора **Качурина Николая Михайловича** по диссертации **Головатого Ивана Ивановича** на тему: «Разработка способа управления замораживанием породного массива при строительстве стволов калийных рудников», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертация построена по традиционному принципу и состоит из введения, 5-ти глав собственных исследований, заключения, и библиографического указателя, включающего 65 отечественных и 71 зарубежный источник. Текст изложен на 130 стр., включая необходимые для иллюстрации текста таблицы и рисунки. Работа выполнена на высоком научном уровне.

1. Анализ содержания диссертации

В первой главе приведен тщательно выполненный анализ опубликованных исследований по вопросам проектирования организации работ по замораживанию горных пород, моделям и методам теплофизического расчета ЛПО, организации мониторинга и управления замораживанием пород при проходке шахтных стволов и других подземных сооружений. Выявлены недостаточно проработанные аспекты проектирования систем мониторинга и управления замораживанием пород, на основании чего сформулированы цель, идея её достижения и конкретные задачи диссертационной работы.

Во второй главе описано современное понимание динамических свойств массива горных пород как сложной неоднородной анизотропной трехфазной сплошной среды, меняющей свои свойства с глубиной (из-за давления) и при изменении температуры (особенно вблизи фазового перехода), основанное на опубликованных результатах теоретических работ и анализа натурных измерений температуры в контрольно-термических (КТ) скважинах при проходке шахтных стволов Петриковского и Дарасинского калийных рудников с использованием способа искусственного замораживания пород.

В третьей главе на основе анализа полученного ранее обширного и детального экспериментального материала произведены формулировка, параметризация и валидация используемой математической модели теплопереноса в охлаждаемом и замораживаемом породном массиве. Модель обоснованно представляет собой наложение горизонтальных слоев пород (толщиной от 10 м и выше) с однородными теплофизическими свойствами. Анализ экспериментальных данных, показывающий малость вертикальных теплопотоков по сравнению с горизонтальными, позволил обоснованно рассматри-

вать процессы теплопереноса только в горизонтальной плоскости каждого из слоев. Проведенное моделирование процесса замораживания различных слоев пород позволило установить закономерности временных изменений поля температур в объеме ЛПО на стадиях активного, пассивного замораживания, а также размораживания пород.

В четвертой главе с учетом возможностей моделирования временной детальной динамики состояния замораживаемого породного массива предложен и обоснован новый критерий количественной оценки несущей способности ЛПО вместо классической толщины ЛПО, которая косвенно характеризует его несущую способность, напрямую вычислять предельную несущую способность в каждый заданный момент времени. Это позволило производить интегральный учет прочностных и деформационных свойств по всей толщине ЛПО, оценивать не только размеры (толщину) зоны отрицательных температур, но и неоднородное распределение температур и прочностных свойств в области замороженных пород.

В пятой главе с учетом полученных ранее выводов сформулированы новые принципы и способ управления «по требованию» искусственным замораживанием пород и грунтов в процессе строительства шахтных стволов калийных рудников. Введены три основные стратегии замораживания «по требованию»: мониторинг основных параметров породного массива и системы замораживания; дистанционное управление системой замораживания реагирование на возможные непредвиденные события. на данном слое. Введенные принципы, составляющие основу предложенного способа замораживания «по требованию», применены на практике при проходке двух шахтных стволов строящегося Дарасинского рудника в Республике Беларусь.

К каждой главе сформулированы выводы.

2. Актуальность выполненного исследования

Работа посвящена решению задачи создания нового способа управления параметрами замораживающей станции и параметрами проходки вертикальных стволов калийных рудников на стадии пассивного замораживания и размораживания пород, позволяющего снизить сроки и затраты на строительство при обеспечении требуемого уровня безопасности ведения горных работ. Несмотря на большую значимость проблемы, ее решение сдерживалось исключительной сложностью объекта управления – процесса формирования надежного ледопородного ограждения, определяемого взаимодействием теплофизических и геомеханических процессов, протекающих при замораживании в реальных породных массивах, и свойствами неоднородного породного массива.

Однако, несмотря на значительные достижения, современные теории и способы управления замораживанием пород всё еще не образуют единую систему, обоснованную успешным практическим применением.

Поэтому разработка и практическая апробация адекватных критериев управления состоянием ЛПО, учитывающих динамику пространственной не-

однородности распределения температур и прочностных свойств в объеме замороженных пород на различных стадиях замораживания, является актуальным и перспективным для достижения существенного практического эффекта в реальных условиях горного производства калийной отрасли.

3. Новизна исследования и полученных результатов, степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новизна идеи, положенной в основу работы, состоит в отказе от классического замораживания однородного породного цилиндра на всю проектную глубину формирования ЛПО, обоснованно заменяемом «замораживанием по требованию», т.е. последовательном намораживании ЛПО по глубине с одновременным ведением проходческих работ в строящемся стволе, защищенных уже сформированным ЛПО, при условии непрерывного математического моделирования теплофизических и прочностных характеристик ЛПО с одновременной сверкой полученных результатов поля температур и результатов постоянного мониторинга температур в контрольных скважинах. Это позволяет впервые в практике калийной промышленности ускорить проходку и увязать организационно-технические мероприятия с современными методами математического моделирования и постоянного мониторинга температурного поля породного массива.

Получены следующие новые научные результаты:

1. Установлены закономерности временных изменений и характера 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 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».

3. Для решения поставленных задач были использованы комплексные методы, включающие научные обоснования, компьютерное моделирование с использованием современных программных комплексов, в том числе оригинальных, и масштабные натурные исследования, что обуславливает высокую достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Результаты исследований и выводы автора соответствуют фундаментальным физическим законам и не противоречат данным, полученным другими авторами, подтверждаются результатами верификации разработанных моделей в ходе натурных исследований, а также положительными результатами внедрения.

4. Значимость для науки и практики результатов диссертации, возможные пути их использования

Полученные в работе теоретические результаты имеют исключительно важное значение для развития методов предсказания теплофизического и геомеханического состояния замораживаемого породного массива в сложных гидрогеологических условиях. Полученные в работе способы, модели, алгоритмы решения могут быть заложены в основу способа адаптивного перспективного и оперативного регулирования процесса замораживания породного массива – замораживания «по требованию» в соответствии с изменением непрерывно измеряемой теплофизической обстановкой.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что результаты диссертационной работы дополняют классические методы управлением ЛПО вокруг строящихся стволов: позволяют существенно ускорить сроки и стоимость строительства шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях при обеспечении требуемых условий безопасного ведения проходческих работ и надежности ЛПО.

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 ЛПО 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 ЛПО для самых различных подземных сооружений, строящихся в сложных гидрогеологических условиях.

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

Техническое оформление диссертации в целом соответствует действующим требованиям ГОСТ 7.0.11.-2011 «Диссертация и автореферат диссертации».

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Содержание и тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», содержание автореферата полностью соответствует основным положениям и выводам работы.

Замечания по работе

Вместе с тем, при общей положительной оценке рассмотренной диссертационной работы, есть следующие замечания:

1. 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°C и ниже). В тексте диссертации никак не комментируется с чем это связано.

2. Неясно, почему автор использует термин предельно длительная прочность, в то время как правильнее было бы сказать длительная прочность.

3. 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.

4. Не совсем ясно, почему в таблице 4.1 вводятся такие значения температуры полной кристаллизации влаги в породном массиве, ведь из рис. 2.7 следует, что влага не замерзает полностью даже при -20°C .

5. Судя по описанию к рис. 5.2, и синяя сплошная линия, и синяя пунктирная линия соответствуют фактической холодильной мощности. Возможно, здесь допущена опечатка?

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.

Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ

Рецензируемая диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решение научно-практической задачи по разработке способа управления параметрами замораживающей станции и параметрами проходки на стадии пассивного замораживания и размораживания пород.

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

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 специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Профессор кафедры Механики
материалов и геотехнологий,
доктор технических наук,
профессор

Качурин Николай Михайлович

Я, Качурин Н.М., автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (г. Тула).

Почтовый адрес: 300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92.

Официальный сайт: <https://tulsu.ru/>

e-mail: ecology_tsu_tula@mail.ru

Телефон: +7 (4872) 25-71-06

Подпись доктора технических наук, профессора Качурина Н.М. удостоверяю.

«__» _____ 2025 г.

М.П.

