

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ПФИЦ УрО РАН,

проф., академик РАН



А.А. Барях

Февраля 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук

Диссертация «Научные основы комплексного обеспечения безопасности при строительстве шахтных стволов с применением способа искусственного замораживания пород» выполнена в отделе аэрологии и теплофизики Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр («ГИ УрО РАН»).

Соискатель Семин Михаил Александрович с 2011 года по настоящее время работает в «ГИ УрО РАН». В 2013-2016 гг. соискатель обучался в очной аспирантуре, окончив ее защитой кандидатской диссертации по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Научный консультант – зам. директора по научной работе «ГИ УрО РАН», зав. отделом аэрологии и теплофизики «ГИ УрО РАН», доктор технических наук Левин Лев Юрьевич.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

I. Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация соискателя посвящена совершенствованию методологии проектировании искусственного замораживания пород и мониторинга состояния ледопородных ограждений (ЛПО). Соискателем справедливо отмечается, что ряд вопросов проектирования и мониторинга искусственного замораживания пород на сегодня остается не решенным. Это учет фактических технологических параметров проходки в геометрической модели и граничных условиях, выбор обоснованных критериев прочности и потери несущей способности ЛПО; выбор энергоэффективных режимов работы замораживающих станций на весь период существования ЛПО, параметров замораживающих скважин (глубина, интервал) и контрольных скважин

(количество, местоположение), оценка влияния смешанной фильтрации подземных вод и теплообмена пород с воздушными потоками в строящемся стволе.

В своей диссертационной работе соискатель предлагает решение описанных выше вопросов, а именно — разрабатывает теоретические и технологические основы расчета искусственного замораживания породного массива при строительстве шахтных стволов, направленные на обеспечение комплексной безопасности при ведении горных работ. Основная идея диссертационной работы состояла в определении технологических параметров системы замораживания и физических параметров замораживаемого породного массива осуществляется в рамках комплексного рассмотрения значимых термогидромеханических процессов в породном массиве и крепи ствола, аэрологических процессов в атмосфере ствола.

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

При непосредственном участии соискателя проведена постановка задач, разработаны математические модели, проведены экспериментальные исследования в условиях промплощадок строящихся рудников, анализ и обработка полученных данных, теоретические исследования и создание программного продукта, выполнение расчетов и проведение численных экспериментов, разработка рекомендаций для проектирования искусственного замораживания пород и их практическая реализация, сформулированы основные научные положения и выводы.

III. Степень достоверности полученных результатов

Достоверность результатов работы соискателя подтверждается их соответствием фундаментальным физическим законам, сопоставимостью результатов аналитических, численных решений и натурных экспериментов, соответствием приведенных результатов данным, полученным другими авторами, значительным объемом наблюдений, выполненных в натурных условиях при проведении мониторинговых исследований формирования ЛПО строящихся стволов на рудниках ОАО «Беларуськалий», ИООО «Славкалий», ЗАО «ВКК», ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий».

IV. Новизна и практическая значимость исследования

Определен набор критериальных условий, при достижении которых возможен обоснованный переход от связанной термогидромеханической модели системы «замораживающие колонки – породный массив – крепь горной выработки – атмосфера горной выработки» к более простым моделям, учитывающим отдельные физические процессы. Получены функциональные зависимости параметров ледопородных ограждений (ЛПО) от технологических параметров системы замораживания, параметров тепломассопереноса в замораживаемом массиве горных пород,

позволяющие сделать количественный анализ состояния ЛПО и его развития в будущем при различных штатных и аварийных ситуациях. Определены условия возникновения частично-возвратных течений воздуха в строящемся стволе вследствие наличия температурного градиента, обусловленного низкой температурой окружающих замороженных пород. Получены формулы для расчета требуемой толщины ЛПО, позволяющие корректно учесть заземление на торцах ледопородного цилиндра, его температурную неоднородность, а также условие потери несущей способности ЛПО. Разработана методика калибровки параметров модели тепловых процессов в породном массиве, обеспечивающая единственность решения обратной задачи и позволяющая добиться наилучшего согласования модельных и измеренных температур. Определены эффективные технологические параметры системы термометрического мониторинга ЛПО.

Полученные в диссертационной работе результаты уже использовались и используются при проектировании замораживания горных пород и систем мониторинга формирования ЛПО. Эти результаты позволили увеличить точность расчета технологических параметров систем замораживания горных пород, повысить достоверность прогнозирования параметров ЛПО и тем самым обеспечить более высокий уровень безопасности ведения горных работ при строительстве шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях.

V. Ценность научных работ соискателя

На основании полученных результатов разработаны программный комплекс «FrozenWall» и расчетный модуль «S-Freeze», функциональные возможности которых позволяют вывести на качественно новый уровень проектирование замораживания пород и систем мониторинга ЛПО.

В результате проведенных исследований разработан уникальный скважинный оптоволоконный датчик непрерывного контроля температуры, который запатентован и вошел в состав системы термометрического мониторинга ЛПО строящихся шахтных стволов. В ходе выполнения работ предложенная система термометрического мониторинга ЛПО реализована на руднике Петриковского ГОК и Дарасинском руднике ОАО «Беларуськалий», рудниках Нежинского ГОК ИООО «Славкалий» и Талицкого ГОК ЗАО «ВКК». При помощи разработанной системы для горных предприятий ежедневно формировались отчеты о состоянии ЛПО, на основании которых принимались решения о возможности начала проходки шахтных стволов, осуществлялась выдача заключений о достижении сплошности и минимально требуемой толщины ЛПО, предоставлялись рекомендации по корректировке параметров работы замораживающих станций, а также выполнялся прогноз с учетом различных технологических факторов, влияющих на состояние ЛПО. Полученные результаты исследований включены в Инструкцию по расчету параметров, контролю и

управлению искусственным замораживанием горных пород при строительстве шахтных стволов на калийных рудниках ОАО «Беларуськалий».

VI. Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам 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»;
- п.11 «Процессы тепломассопереноса, фильтрация и диффузия жидкостей и газов в зонах естественной или искусственно созданной проницаемости при добыче полезных ископаемых, получении геотермальной энергии, строительстве и эксплуатации сооружений».

VII. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертации опубликовано 50 научных работ, в том числе 33 публикации в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденных ВАК Минобрнауки РФ, одна монография, 34 публикации в журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science (из них шесть публикаций в международных журналах из Q1). Получен один патент, два свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ, а также по результатам проведенных работ издан один внутренний нормативный документ для горнодобывающего предприятия.

Наиболее значимые из работ, опубликованных по представленной теме:

1. Levin L., Golovatyi I., Zaitsev A., Pugin A., Semin M. Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine // Tunn. Undergr. Space Technol. – 2021. – Т. 107. – статья № 103685.
2. Semin M., Levin L. Theoretical study of partially return air flows in vertical mine shafts // Therm. Sci. Eng. Prog. – 2021. – Т. 23. – статья № 100884.
3. Semin M., Golovatyi I., Pugin A. Analysis of Temperature Anomalies during Thermal Monitoring of Frozen Wall Formation // Fluids. – 2021. – Т. 6. – статья № 297.
4. Семин М.А., Левин Л.Ю., Паршаков О.С. Выбор параметров и обоснование режима работы замораживающих колонок для поддержания толщины ледопородного ограждения // ФТПРПИ. – 2020. – № 5. – С. 194-205.
5. Семин М.А., Левин Л.Ю., Желнин М.С., Плехов О.А. Исследование естественной конвекции в обводненном породном массиве в условиях искусственного замораживания // ФТПРПИ. – 2020. – № 2. – С. 151-163.

6. Семин М.А. Левин Л.Ю., Пугин А.В. Расчет земных теплопритоков при искусственном замораживании породного массива // ФТПРПИ. – 2020. – № 1. – С. 162-171.

Диссертация Семина Михаила Александровича «Научные основы комплексного обеспечения безопасности при строительстве шахтных стволов с применением способа искусственного замораживания пород» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Заключение принято на заседании Объединенного ученого совета Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук. На заседании присутствовало 45 из 48 человек. Результаты голосования: «за» — 45 чел., «против» — нет, «воздержалось» — нет, протокол № 2/22 от 15 февраля 2022 г.

Председатель ОУС
ПФИЦ УрО РАН,
академик РАН



В.П. Матвееenko

Ученый секретарь ОУС
ПФИЦ УрО РАН,
к.т.н.



В.П. Приходченко