

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по научной работе,
докт. техн. наук, проф.

Михаил Сергеевич Воротилин

« 08 » августа 2022 г.

ОТЗЫВ

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

Актуальность темы диссертации

Строительство шахтных стволов в обводненных и неустойчивых породах осуществляется с применением специальных способов. В случае стволов калийных рудников обычно используется способ искусственного замораживания пород, что связано с особенностями данного типа месторождений: водорастворимостью руд и необходимостью защиты горных выработок от проникновения подземных вод. Цель искусственного замораживания – формирование защитного ледопородного ограждения (ЛПО) по периметру строящейся горной выработки.

Научные исследования напряженно-деформированного состояния ЛПО и теплофизических процессов, происходящих в породах при формировании ЛПО, активно проводились в середине прошлого века, в результате чего было развито множество приближенные методов как статического, так и теплотехнического расчетов ЛПО. На тот период времени разработанные приближенные методы хорошо зарекомендовали себя при решении практических задач и вошли в нормативную литературу по искусственному замораживанию пород и грунтов. Разработанные более полувека назад расчетные подходы и методы зачастую используются и по сей день, однако сегодняшнее развитие вычислительной техники позволяет расширить и

детализировать математические модели термогидромеханических процессов, происходящих в замораживаемых породах, уточнить разрабатывавшиеся ранее методы и расчетные формулы для определения параметров ЛПО и систем замораживания.

Вместе с этим, в настоящее время проводятся только частные исследования процессов, происходящих при искусственном замораживании пород с использованием современных вычислительных средств. Они требуют систематизации и обобщения. Помимо этого, крайне важным и неизученным вопросом является комплексный анализ теоретических и экспериментальных данных о формировании ЛПО вокруг строящихся подземных сооружений. С учетом этого работа автора, направленная на научно-обоснованное совершенствование технологии искусственного замораживания пород, является актуальной. С практической точки зрения она важна для обеспечения безопасных условий труда и высоких технико-экономических показателей при строительстве шахтных стволов.

Научная новизна диссертационной работы Семина М.А. существенна и не вызывает сомнений. Автором предложен набор критериев, указывающих на необходимые и достаточные условия обоснованного перехода от связанной термогидромеханической модели системы «замораживающие колонки – породный массив – крепь горной выработки – атмосфера горной выработки» к более простым моделям. Получены новые функциональные зависимости параметров ЛПО от технологических параметров системы замораживания, параметров тепломассопереноса в замораживаемом массиве горных пород, что позволяет более точно оценить изменение параметров ЛПО в тех или иных ситуациях. На основании многопараметрического численного трехмерного моделирования вычислены поправочные коэффициенты для аналитических формул по расчету требуемой толщины ЛПО, позволяющие корректно учесть защемление на торцах ледопородного цилиндра, его температурную неоднородность, а также условие потери несущей способности ЛПО. Определены и строго обоснованы технологические параметры систем термометрического мониторинга замораживаемого породного массива, позволяющие обеспечить более точное прогнозирование состояния замороженных пород.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе представлено шесть научных положений, которые последовательно раскрываются по ходу ее прочтения. Выводы диссертационного исследования информативны, основаны на полученных в работе результатах теоретических и экспериментальных исследований. В

диссертационной работе проводятся сопоставления результатов аналитических, численных решений и натурных экспериментов, анализируется степень соответствия приведенных автором результатов и данных, полученных другими исследователями. Также результаты проверяются на степень соответствия фундаментальным физическим законам. Это позволяет сделать вывод о высокой степени достоверности и обоснованности положений и выводов в диссертации.

Анализ структуры и содержания диссертации, ее завершенность

Диссертационная работы носит завершенный характер и оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ. Диссертационная работа построена по традиционному плану, состоит из введения, семи глав и заключения. Работа изложена на 313 страницах машинописного текста, содержит 118 рисунков и 47 таблиц. Список использованных источников состоит из 360 наименований, в том числе 236 зарубежных.

Во введении соискатель обосновывает актуальность изучаемой проблемы, излагает план исследований, включающий цель и задачи исследования, научные положения, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, апробацию результатов работы и связь с научными программами.

В первой главе проведен большой литературный обзор по вопросам проектирования искусственного замораживания пород, методов математического моделирования тепломассопереноса в замораживаемых породах, их напряженно-деформированного состояния. Сделан обзор методов мониторинга состояния ЛПО.

Во второй главе представлены общие подходы и методы моделирования термогидромеханических процессов при искусственном замораживании пород. В общей модели термогидромеханических процессов в замораживаемых породах выделено четыре субмодели, связанные между собой – термодинамическая, гидравлическая, аэрологическая и геомеханическая. Также получены условия, когда допустимо понижение пространственной размерности задачи.

Полученные четыре субмодели поэтапно анализируется в последующих четырех главах диссертации – третьей, четвертой, пятой и шестой. В этих главах рассматриваются как собственные особенности этих субмоделей, так и особенности их взаимосвязи с остальными субмоделями. По ходу повествования описывается множество практических задач, с которыми сталкивался автор и для решения которых применил ту или иную композицию субмоделей исходя из особенностей.

Седьмая глава посвящена еще одному важному вопросу – проектированию систем термометрического мониторинга замораживания пород. В ней рассматриваются вопросы настройки параметров термодинамической субмодели по данным измерений температуры в контрольно-термических скважинах, анализируются условия однозначного восстановления поля температур во всех замораживаемом массиве по показаниям контрольно-термических скважин.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы.

Значимость для науки и практики

Теоретическое значение работы Семина М.А. заключается в предложенных критериальных условиях, которые позволяют определить сложность математической модели термогидромеханических процессов в замораживаемом породном массиве исходя из желаемой скорости проведения расчетов и точности исходных данных. Еще одним важным теоретическим результатом работы, на наш взгляд, является предложенная расчетная схема для механической задачи по определениям прочности ЛПО и смещения внутренней незакрепленной стенки ЛПО к оси строящегося ствола.

Практическое значение работы также очень высоко. Предложенные модели и методы легли в основу систем термометрического контроля ЛПО, реализованных на ряде строящихся шахтных стволов при участии автора: на руднике Петриковского ГОК и Дарасинском руднике ОАО «Беларуськалий», рудниках Нежинского ГОК ИООО «Славкалий» и Талицкого ГОК ЗАО «ВКК». На систему термометрического контроля ЛПО получен Евразийский патент. А по программному обеспечению, вошедшему в состав системы, получено два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ,

В рамках реализации предложенной системы контроля 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».

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата полностью отражает идеи и выводы диссертационной работы.

Публикации, отражающие основное содержание диссертационной работы

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.

Достоинства и недостатки диссертационной работы, замечания по работе

Автор проводит обширный анализ литературы по вопросам моделирования термогидромеханических процессов в замораживаемых средах, большая работа проведена по анализу иностранной литературы, что позволяет судить о соответствии работы мировому уровню в данной области исследований. Методология исследований автора включает в себя применение большого комплекса современных методов, подходов и программных средств. Больше внимание в работе также уделено обсуждению результатов расчетов и экспериментов, что также является положительной стороной работы.

В ходе прочтения работы возникли следующие замечания:

1. Формула (3.18) – насколько корректно при оптимизации режима замораживания исходя из поддержания фиксированной толщины ЛПО использовать пропорциональное регулирование? Почему не учтены интегральное и дифференциальное слагаемые?

2. Из формулы (4.7) не понятен смысл параметра ω – как характеристическая температура охлаждения может быть связана с радиусом пор? Просьба прокомментировать.

3. Из полученной формулы (6.21) следует, что с ростом высоты заходки h толщина ЛПО E стремится к постоянному значению. В то время как в формуле (1.11), полученной тоже для конечной высоты заходки, зависимость $E(h)$ имеет несколько иной, степенной характер, а толщина E неограниченно убывает с ростом h . С чем связана такая принципиально разная форма аналитических формул?

4. Из рис. 7.15 следует, что при лабораторном определении теплофизических свойств пород (теплопроводности и влажности) может быть высокая погрешность. С чем она связана?

Приведенные выше замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение

Диссертация Семина М.А. «Научные основы комплексного обеспечения безопасности при строительстве шахтных стволов с применением способа искусственного замораживания пород» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны научные основы расчета искусственного замораживания породного массива с применением рассольной схемы при строительстве шахтных стволов. Совокупность результатов диссертационной работы можно квалифицировать как решение крупной научной проблемы по обеспечению безопасных условий ведения горных работ на начальном этапе разработки месторождения твердых полезных ископаемых, что имеет важное хозяйственное значение для экономики страны.

Актуальность темы исследования, новизна, достоверность, теоретическая и практическая значимость полученных результатов свидетельствуют о соответствии диссертации требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года (ред. от 11.09.2021 г.), а ее автор Семин Михаил Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Отзыв обсужден и принят на заседании кафедры геотехнологий и строительства подземных сооружений ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» «7» апреля 2022 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой
геотехнологий и строительства
подземных сооружений, д.т.н., проф.

Н.М. Качурин

ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет»
300012, г. Тула. Пр. Ленина, 92
Тел.: 8(4872)25-71-60
e-mail: ecology_tsu_tula@mail.ru