

ОТЗЫВ

официального оппонента 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

В сложных гидрогеологических условиях строительство шахтных стволов осуществляется с использованием специальных способов. Во многих случаях используется способ искусственного замораживания пород. Данный способ позволяет сформировать вокруг проектируемой горной выработки ледопородное ограждение (ЛПО). Последнее служит для предотвращения поступления подземных вод в строящуюся горную выработку до возведения тубинговых колонн и герметизации стыков между ними, а также для уменьшения деформаций незакрепленных стенок породного массива до возведения крепи.

Расчет ЛПО включает в себя статический расчет требуемых толщин ЛПО по условиям прочности и ползучести, а также теплотехнический расчет, позволяющий определить параметры системы замораживания. Ограниченные возможности вычислительной техники в XX веке привели к развитию приближенных 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, используемую по сей день. Современное развитие вычислительной техники позволяет расширить и детализировать математические модели термогидромеханических процессов, происходящих в замораживаемых породах, поэтому появилась возможность доработки существующих в литературе приближенных методов. В то же время, такая систематическая доработка не была осуществлена исследователями в РФ и мире.

При этом важно понимать, что многие крупные горнодобывающие предприятия (ПАО «Уралкалий», ОАО «Беларуськалий», АК «МХК «ЕвроХим») в настоящее время ведут или планируют строительство новых калийных рудников и проходку шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях. С учетом этого работа Семина М.А., ориентированная на совершенствование и научное обоснование технологии искусственного замораживания породного массива, является актуальной для обеспечения безопасных условий труда и высоких технико-экономических показателей при строительстве шахтных стволов.

Научная новизна диссертационной работы Семина М.А. не вызывает сомнений. Автором 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. Получены новые функциональные зависимости параметров ЛПО от технологических параметров системы замораживания,

параметров тепломассопереноса в замораживаемом массиве горных пород (в том числе с учетом фильтрации подземных вод) и воздушном пространстве ствола. Также автором усовершенствованы аналитические формулы Зарецкого-Вялова по расчету требуемой толщины ЛПО, благодаря чему стало возможным корректно учесть защемление на торцах ледопородного цилиндра, его температурную неоднородность, а также условие потери несущей способности ЛПО. Определены и обоснованы технологические параметры систем термометрического мониторинга ЛПО, позволяющие обеспечить более достоверное прогнозирование состояния замороженных пород посредством взаимного уточнения результатов математического моделирования и экспериментальных измерений температуры в контрольно-термических скважинах.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертантом вынесено шесть научных положений, которые последовательно раскрываются в тексте рукописи. Выводы диссертационного исследования информативны, основаны на полученных в работе результатах теоретических и экспериментальных исследований. Достоверность подтверждается сопоставимостью результатов аналитических, численных решений и натуральных экспериментов, соответствием приведенных результатов данным, полученным другими авторами, значительным объемом наблюдений, выполненных в натуральных условиях при проведении мониторинговых исследований формирования ЛПО строящихся стволов на ряде калийных рудников.

Значимость для науки и практики

Теоретическое значение работы Семина М.А. заключается в дополнительной проработке и анализе математических моделей замораживаемых сред. Предложенные критериальные условия позволяют определить оптимальную точность моделирования термогидромеханических процессов в формирующемся ЛПО исходя из желаемой скорости проведения расчетов, точности исходных данных и гидрогеологических особенностей рассматриваемого месторождения полезных ископаемых. Помимо этого, важным теоретическим результатом работы является выделение автором трех различных режимов конвекции воды в поровом пространстве замораживаемых пород.

Практическое значение работы состоит в том, что полученные результаты позволяют усовершенствовать подходы и методы проектирования замораживания горных пород и систем мониторинга формирования ЛПО. В конечном счете это приведет к повышению точности расчета технологических параметров систем замораживания горных пород, повышению достоверности прогнозирования параметров ЛПО и тем самым повышению безопасности ведения горных работ при строительстве шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях.

Система термометрического контроля ЛПО строящихся шахтных стволов запатентована и реализована на руднике Петриковского ГОК и Дарасинском руднике ОАО «Беларуськалий», рудниках Нежинского ГОК ИООО «Славкалий» и Талицкого ГОК ЗАО «ВКК». При помощи разработанной 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».

Структура и содержание диссертации, ее завершенность

Диссертация Семина М.А. оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ, построена по традиционному плану. Диссертационная работа 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 автор обосновывает выбор темы, четко формулирует цель, задачи, научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обширный литературный обзор по вопросам проектирования ЛПО и методов математического моделирования замораживания пород. Также рассмотрены вопросы организации мониторинга состояния ЛПО. Отдельно хочется отметить большую работу по анализу иностранных источников, которых около 2/3 от общего количества.

Во второй главе формулируются общие принципы и подходы к моделированию термогидромеханических процессов при искусственном замораживании пород, которые затем активно используются в последующих главах. Предложено деление общей модели термогидромеханических процессов в замораживаемых породах на четыре субмодели, связанные между собой – термодинамическую, гидравлическую, аэрологическую и геомеханическую.

Далее в третьей, четвертой, пятой и шестой главах поэтапно анализируется каждая из четырех субмоделей. Рассматриваются как собственные особенности этих субмоделей, так и особенности их взаимосвязи с остальными субмоделями. В каждой главе приводятся интересные задачи из практики, для решения которых применялись одна или несколько связанных между собой субмоделей.

Седьмая глава посвящена вопросу проектирования систем термометрического мониторинга ЛПО. В ней преимущественно рассматриваются вопросы настройки параметров термодинамической субмодели по данным измерений температуры в контрольно-термических скважинах.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата полностью отражает идеи и выводы диссертационной работы. В автореферате также достаточно понятно раскрыта суть каждого из шести представленных автором научных положений.

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 (их 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

Основным достоинством работы является проведенный диссертантом комплексный анализ физических факторов, определяющих закономерности формирования ЛПО для строящихся шахтных стволов. В процессе анализа физических процессов автор уверенно и корректно оперирует различными методами теоретического анализа, а также анализа данных экспериментальных измерений, что подчеркивает высокий методический уровень работы.

В ходе прочтения работы возникли следующие замечания:

1. На стр.56, последний абзац, «Для песков проводимость уменьшается быстрее, а для суглинков и глин заметно медленнее». Андисол (или андозол) это вулканическая почва образована из вулканического пепла и лавы, не относится к глинам.
2. В работе не рассмотрены особенности формирования ЛПО при условии высокой минерализации поровых вод. В модели не учитывается вытеснение из льда растворенных веществ, их захват мёрзлой зоной и частичное вытеснение в талую зону. Что может существенно изменить как механические, так и гидравлические свойства пород.
3. Автор называет формулу (2.39) формулой А.Н. Щербаня и приводит ссылку на труд [64], но в исходной монографии данная формула представлена коэффициентом, который не обязан совпадать с 3,4. Чем обусловлен и обоснован выбор автором коэффициента 3,4 при описании теплоотдачи между воздухом в стволе и его крепью?
4. На рис.2.13 приведен графики изменения температуры в мерзлом массиве пород, почему происходит повышение температуры в замораживаемой скважине. Если заморозка закончена, то циркуляция рассола остановлена, или это влияние свободной конвекции? В описании к рисунку объяснения нет.
5. В п.4.1 автор рассматривает ситуацию плоскопараллельного течения подземных вод в горизонтальном слое пород. При превышении скоростью фильтрации величины 150 мм/сутки формирование замкнутого ЛПО уже не происходит. Как данная величина соотносится с существующими в литературе представлениями о предельных скоростях фильтрации? Например, с формулами (1.48) и (1.49).
6. В разделе 4.4 не приведены данные натурных наблюдений за уровнем воды в наблюдательных скважинах. Поэтому рассуждения о возможных перетоках воды между слоями пород выглядят неубедительно.
7. Почему (стр.187) принята минимально-допустимая скорость? При проведении стволов скорость движения воздуха должна быть не ниже 0,15 м/с (§101 ЕПБ)
8. Есть замечания редакционного характера. Например: На стр.116 ссылка на граничное условие (5), вместо 3.15. На рис.3.11 в обозначение есть $T=T_{кр}$. В

подрисуночном тексте и в описании такой температуры нет. Возможно это T_{sd} ? Нет рис. 3.12а. На стр. 132 не правильная ссылка на рис 3.14 вместо 3.13. На рис 3.17 не обозначено время для расчетных кривых. На стр. 156, верхний абзац, неверно указан № таблицы. 1 вместо 4.1. На стр. 163, формула 4.12. Безразмерные координаты определены как произведение двух размерных, а не как деление их.

Приведенные выше замечания носят частный или 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 завершённой 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 Семина Михаил Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.6 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент, ведущий научный сотрудник лаборатории горной теплофизики ИГДС СО РАН, доктор технических наук Курилко Александр Сардокович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук (ИГДС СО РАН).

677980, Россия, г. Якутск, пр. Ленина, 43. Тел.: +7 914 233-57-42, a.s.kurilko@igds.ysn.ru.

27 мая 2022 г.

Подпись официального оппонента, д.т.н. Курилко А.С. удостоверяю.
Учёный секретарь ИГДС СО РАН, к.т.н.

27 мая 2022 г.



А.С. Курилко

С.И. Саломатова