

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук **Тарасова Владислава Викторовича**

на диссертационную работу **Бублика Сергея Анатольевича**

«Разработка методики расчета параметров искусственного замораживания пород в условиях переноса минерализованной влаги», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Анализ содержания диссертации

Представленная диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ, построена по традиционному плану. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Работа изложена на 145 страницах машинописного текста, содержит 71 рисунок и 19 таблиц. Список источников состоит из 152 наименований, в том числе 111 зарубежных.

В первой главе дан подробный обзор опыта проектирования искусственного замораживания пород на месторождениях калийной и каменной солей, выделены основные процессы, происходящие в замораживаемых породах, а также сделан подробный анализ существующих подходов к моделированию замораживания пород, содержащих растворенные соли. Автор справедливо подмечает, что имеющийся опыт строительства шахтных стволов на месторождениях солей не отвечает в полной мере на вопросы проектирования искусственного замораживания пород, содержащих растворенные соли, а существующие математические модели замораживания таких пород не пригодны для оперативного анализа формирования ледопородного ограждения (ЛПО).

Вторая глава посвящена описанию проведенных автором экспериментов по искусственному замораживанию пород в лабораторных условиях. Дано подробное описание методики проведения экспериментов, обоснован выбор образцов и типа вносимой в них соли. Приведены результаты экспериментальных замеров основных теплофизических и прочностных свойств замораживаемых пород в зависимости от температуры и величины растворимой соли в образцах. Кроме того, полученные экспериментальные зависимости были аппроксимированы рядом моделей. Тем самым были получены уникальные зависимости от содержания растворенной соли. Данные зависимости в литературе не были ранее представлены.

Третья глава сосредоточена на разработке математической модели искусственного замораживания пород, содержащих растворенные соли. Для параметризации модели

использованы зависимости, полученные из экспериментальных данных, описанных во второй главе. Помимо описания модели представлена ее обширная валидация как по лабораторным, так и по натурным замерам. С помощью разработанной модели автор провел анализ влияние растворенной соли на формирование и прочность ЛПО.

Четвертая глава посвящена разработке двух аналитических методов расчета фильтрации поровой влаги при наличии ненулевого градиента напора. Проведен анализ эффективности данных методов и указаны их ограничения на основе сравнения с численным расчетом. Данные методы можно считать уникальными, поскольку они применимы как на стадии формирования одиночных ледопородных цилиндров вокруг замораживающих скважин, так и после формирования единого ЛПО.

В пятой главе проведено обобщение полученных в предыдущих главах результатов и на основе этого предложена методика расчета параметров искусственного замораживания пород для условий наличия растворенной соли. В методике представлены формулы для расчета требуемых параметров ЛПО по факторам обеспечения надлежащей гидроизоляции ЛПО и фактору завершения наиболее активной части фазового перехода. В качестве практического примера применения методики был проведен расчет параметров искусственного замораживания пород для условий проектируемого скипового ствола горнодобывающего предприятия «Еврохим-Саратовкалий».

Таким образом, содержание диссертации отражает последовательный путь от выявления научной проблемы до ее практического решения.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности работы системы замораживания и безопасности проходки шахтных стволов на месторождениях солей. Задание параметров замораживания без достаточной научной проработки может привести к затоплению ствола или к излишним затратам энергии на замораживание пород. В этих условиях разработка новых критериев и методик расчета параметров замораживающей станции с учетом влияния растворенных солей на замораживание пород приобретает стратегическое значение для новых предприятий по добыче солей.

Работа Бублика С.А. решает данную проблему и предлагает научно-обоснованную методику расчета параметров искусственного замораживания пород с учетом наличия в них растворенных солей, позволяющей повысить надежность ЛПО и снизить избыточные энергозатраты на замораживание.

Научная новизна работы подтверждается совокупностью результатов, важных для

теории и практики шахтного строительства способом искусственного замораживания:

1. Получены и аппроксимированы экспериментальные зависимости теплофизических и прочностных свойств пород от количества растворенной соли и температуры для глины, мела и песка. Наличие подобных аппроксимирующих зависимостей позволяет их применять на большую часть подобных пород, а также повысить точность параметров, задаваемых в математических моделях.
2. Проведены экспериментальные исследования формирования морозного пучения при горизонтальном температурном градиенте, что наиболее характерно для условий искусственного замораживания пород. На основе полученных данных проведен анализ влияния растворенных солей на морозное пучение.
3. Разработана нестационарная математическая модель искусственного замораживания пород с учетом явного влияния растворенных солей на замораживание и формирование ЛПО. Параметризация и валидация модели проведены на основе лабораторных и натуральных замеров, что обеспечивает высокую точность расчетов.
4. Разработана методика оперативного расчета плоско-параллельной фильтрации поровой влаги. Данная методика позволяет без численного расчета учесть обтекание как вокруг замораживающих колонок, так и вокруг сомкнутого ЛПО.
5. Разработана методика расчета параметров искусственного замораживания пород при наличии в них растворенных солей. Методика содержит как конкретные формулы для расчета параметров замораживающей станции, так и общие указания по проведению расчетов и моделирования замораживания пород.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автор выносит на защиту три научных положения, обоснование которых дано в главах 2-5.

Обоснование **первого научного положения** представлено во второй главе диссертационной работы, где представлены результаты экспериментальных исследований по замораживанию образцов различных типов пород в лабораторных условиях. Из данных исследований установлены зависимости теплофизических и прочностных свойств пород от содержания растворенных солей при различной температуре. Полученные зависимости позволили автору сделать качественные выводы о влиянии соли на замораживание воды в породах различного типа, а также провести параметризацию аппроксимирующих зависимостей, которые в дальнейшем могут быть применены для описания свойств пород на различных объектах или использоваться в математических моделях для повышения точности моделирования. Кроме того, из полученных экспериментальных данных получены важные

закономерности влияния растворенных солей на формирование морозного пучения.

Во **втором научном положении** на защиту выносятся математическая модель тепломассопереноса во влажных замораживаемых породах с учетом наличия растворенных солей в породах и миграции влаги. Использование в модели зависимостей теплофизических свойств пород от температуры и количества растворенной соли, полученных из лабораторных исследований, позволило обеспечить хорошую сходимость с данными лабораторных исследований, а также с натурным мониторингом на различных рудниках. Важно также отметить, что автором разработаны и обоснованы аналитические методы расчета фильтрационных течений влаги как вокруг одиночных ледопородных цилиндров, так и вокруг полностью сомкнутого ЛПО. Разработанная модель может быть применена как для теоретических исследований влияния засоленности поровой влаги на замораживание пород, так и быть внедрена в системы термометрического контроля искусственного замораживания пород на калийных рудниках.

В **третьем научном положении** на защиту выносятся методика расчета параметров искусственного замораживания пород с учетом наличия в них растворенных солей. Разработка методики во многом основана на результатах, полученных при обосновании первого и второго научных положений. В методике приводятся указания по расчету теплофизических и прочностных свойств пород, а также предложены критерии, из которых следует определять допустимую среднюю температуру ЛПО и температуру хладоносителя в замораживающих колонках. Кроме того, даны рекомендации по снижению холодильной мощности замораживающей станции на стадии пассивного замораживания, когда ведется проходка шахтного ствола и необходимо поддерживать проектные параметры ЛПО. На примере горнодобывающего предприятия «Еврохим-Саратовкалий» показана обоснованность методических указаний. Разработанная методика может быть перенесена на произвольный калийный рудник и использоваться при проектировании системы искусственного замораживания пород, повышая тем самым обоснованность проектных решений, что в итоге приведет к повышению безопасности при проходке шахтных стволов способом искусственного замораживания при наличии в интервале проходки растворенных солей. Данное научное положение полностью обосновывается в главе 5.

В целом научные положения, выносимые автором на защиту, и разработанные на их основе выводы и рекомендации следует признать обоснованными.

Достоверность результатов исследований, научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов исследований, научных положений, выводов и

рекомендаций подтверждается соответствием фундаментальным физическим законам, результатами валидации разработанных моделей с данными лабораторных и натурных исследований, соответствием приведенных результатов данным других авторов.

Значимость для науки и практики, возможные пути использования

С научной стороны работа ценна из-за ее вклада в развитие горной теплофизики, поскольку дополняет теорию замораживания пород при наличии в них растворенных солей. Полученные теоретические зависимости теплофизических и прочностных свойств пород от температуры и количества растворенной соли могут широко применяться в дальнейших исследованиях. Также высокую научную значимость работы представляют предложенные аналитические методы расчетов фильтрации поровой влаги при формировании ЛПО.

Практическая значимость работы заключается в разработанной методике расчета параметров искусственного замораживания пород при проходке шахтных стволов по породам, содержащим растворенные соли. При этом данная методика универсальна и может быть применена не только для шахтных стволов, но и других подземных сооружений.

Опубликование результатов исследований автора диссертации

Основные результаты, полученные в результате проведенных исследований, в достаточной степени представлены в публикациях автора: 11 публикаций, в том числе 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, получен один патент.

Оформление диссертации

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

Содержание и тема диссертации соответствуют 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 и вопросы по содержанию и оформлению диссертации

1. В 3-й главе, при рассмотрении задач о замерзании рассола в породном массиве приводится список ряда модельных допущений и физических тепло- и массообменных процессов, где автор отмечает: «Ввиду всех принятых модельных допущений можно сказать, что тепло- и массообменные процессы протекают преимущественно в горизонтальной

плоскости. По этим причинам рассматриваемую задачу для каждого отдельного слоя пород можно свести к двумерной постановке».

Тепломассоперенос может протекать и в других направлениях - вертикальном, наклонном или объёмном, в зависимости от конкретных условий, причем, как в рамках одного слоя, так и на границах различных слоев горных пород. Причем, это возможно, как в рамках одного слоя, так и на границе слоев пород. Поэтому необходимо понимание и формулировка физических условий, при которых может быть принята приближенная модель горизонтального переноса.

2. В 5-й главе, автор утверждает: «При разработке проекта по замораживанию пород, содержащих пресную поровую воду, сначала решается статическая (геомеханическая) задача — определяется требуемая толщина ЛПО по критериям предельного напряженного и предельного деформированного состояния при заданной фиксированной температуре. Затем выполняется теплотехнический расчет: моделируется температурное поле и устанавливается момент времени, когда ЛПО достигает требуемой толщины».

Однако в работе не представлены критерии прочности пород, а также, уровни напряжений или деформаций. Эти критерии заменяется требованием «наибольшего прироста прочности пород», что конечно, не соответствует заявленному предварительно условию.

3. Непонятно, каким образом, из системы (3.1 - 3.3) представленных на стр. 69 получается расчетный уровень напряжений в породе при фазовом превращении – замерзании рассола. В диссертации не приведены значения полученных напряжений, поля напряжений или их распределение по толщине ЛПО.

Приведенные выше замечания не снижают высокого уровня диссертационной работы и являются уточняющими.

Заключение о соответствии диссертационной работы критериям, установленным ВАК РФ

Диссертация Бублика Сергея Анатольевича «Разработка методики расчета параметров искусственного замораживания пород в условиях переноса минерализованной влаги», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития способа искусственного замораживания пород на месторождениях калийной и каменной солей.

Актуальность темы диссертации, новизна, достоверность, теоретическая и практическая значимость полученных результатов свидетельствуют о соответствии

диссертации требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства России от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор, БУБЛИК СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент:

Заведующий научно-исследовательской лабораторией строительства и эксплуатации шахтных стволов АО «ВНИИ Галургии», канд. техн. наук по специальности 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»



Тарасов Владислав
Викторович

Я, Тарасов Владислав Викторович, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



Тарасов Владислав
Викторович

Акционерное общество «ВНИИ Галургии».

Почтовый адрес: 614002, г. Пермь, ул. Сибирская, 94.

Официальный сайт: <https://www.gallurgy.ru/>

e-mail: vniig@uralkali.com

Телефон: +7 (342) 216-68-17.

Подпись кандидата технических наук Тарасова В.В. удостоверяю.

«09» апреля 2026 г.



Владислав Викторович Тарасов
В.В. Тарасов

М.П.