

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Паршакова Олега Сергеевича «Разработка автоматизированной системы термометрического контроля ледопородных ограждений», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Работа изложена на 140 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка и 6 таблиц. Список использованных источников состоит из 180 наименований, в том числе 72 зарубежных.

1. Актуальность избранной темы работы

Свою работу автор посвятил обоснованию и разработке автоматизированной системы термометрического контроля ледопородных ограждений. В первой главе диссертации автор провел тщательный анализ публикаций в этой и смежной областях и показал актуальность данной темы. Она обусловлена необходимостью решения общей проблемы предотвращения аварийных ситуаций в период строительства шахтных стволов в интервале обводненного породного массива, укрепляемого с помощью замораживания. В этой общей проблеме автор ставит конкретную задачу, решаемую в диссертации. Она заключается в разработке совокупности математических методов, программных средств и технологических параметров построения системы скважинного термометрического контроля формирования и состояния ледопородного ограждения, дающей необходимую информацию для обеспечения эффективного и безопасного строительства шахтных стволов в сложных гидрогеологических условиях. Учитывая ограниченное количество точек измерения температуры, в качестве основной идеи решения поставленной задачи автор предлагает интеграцию результатов измерений температуры массива с решением обратной задачи Стефана, что представляется разумным путем повышения точности и достоверности прогнозирования состояния ледопородного ограждения.

Тема исследования и содержание работы соответствуют паспорту специальности 25.00.20. – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Автор выносит на защиту три научных положения, которые он обосновывает во второй, третьей, четвертой и пятой главах.

В качестве *первого научного положения* автор выносит на защиту алгоритм калибровки теплофизических свойств обводненных горных пород, основанный на численном решении обратной задачи Стефана с выделенным комплексом независимых параметров задачи. К достоинствам подхода, обоснование которого автор ведет во второй главе, можно отнести использование им безразмерных комплексов информативных параметров, что позволяет получать обобщенные результаты моделирования. Для уточнения исходных параметров тепловой модели замораживания массива с учетом экспериментальных данных автор использует поиск минимума функционала рассогласования теоретических и экспериментальных значений температур путем решения прямой задачи Стефана в сочетании с методом градиентного спуска. Автором выполнена калибровка теплофизических свойств слоев горных пород вокруг шахтных стволов рудника Талицкого ГОК. На основе модельных расчетов получены важные для практики выводы. В одном из них содержится утверждение о существенном отличии откалиброванных значения теплофизических свойств горных пород от начальных значений, полученных из инженерно-геологических изысканий. Установлено также, что теплообмен горных пород с воздухом и тепловыделения при твердении бетонной крепи не сокращают толщину ледопородного ограждения, а лишь замедляют скорость ее роста.

Логика и корректность проведения данного анализа, использование проверенных методов численного моделирования и положительные результаты валидации модели путем сравнения расчетных и экспериментальных температур массива позволяют сделать вывод о достаточной обоснованности и достоверности первого научного положения.

Второе научное положение касается разработанной с участием автора системы контроля формирования и состояния ледопородных ограждений. Рассматриваемая система обладает рядом новых элементов. В качестве аппаратной части данной системе используется оптоволоконные измерители температур, дающие возможность непрерывного измерения по всей длине оптического волокна. Другой отличительной особенностью аппаратно-программной системы, является интеграция в ней математической модели термодинамических процессов, происходящих в породном массиве, и экспериментальных измерений полей температуры горных пород и параметров заморозки. Это позволяет определять состояние ледопородного ограждения на всех этапах строительства шахтных стволов.

Доказательство данного научного положения осуществляется в третьей главе диссертации, где подробно рассматривается аппаратная часть – оптоволоконная система термометрического контроля, а также ее место в общей аппаратно-программной системе контроля. Здесь также обсуждаются блок-схема и алгоритм работы автоматизированной системы, программная часть которой реализована в виде информационно-аналитического программного обеспечения «Frozen Wall», на которое получено свидетельство о государственной регистрации. Приведенный алгоритм обладает ясностью, логической завершенностью, соответствием поставленной задаче. Кроме того, здесь даны результаты испытания полного цикла работы системы, проиллюстрированные графиками распределения температур в массиве вокруг ствола, что подтверждает верификацию работоспособности программного обеспечения в связке с оптоволоконной подсистемой измерения температуры и выполнение ими поставленных задач.

Приведенные материалы в полной мере подтверждают достаточную обоснованность второго научного положения.

Третье научное положение содержит утверждение, что предложенная автором система термометрического контроля ледопородного ограждения позволяет обеспечить необходимую точность прогнозирования теплораспределения в условиях искусственного замораживания массива горных пород. Доказательство этого положения содержится в двух последних главах диссертации.

Здесь методами численного и натурального экспериментов проведено исследование и обоснование количества и расположения контрольно-термических скважин на промышленной площадке строящихся шахтных стволов, а также обосновано пространственное разрешение измерений по глубине замораживания. Для этого был проведен натуральный эксперимент по измерению температур в скважинах на замораживаемом участке массива ствола №1 рудника Нежинского ГОК с регистрацией прогнозного и фактического положений границ ледопородного ограждения. Кроме того, здесь была проведена оптимизация положения термометрической скважины по отношению к замораживающим колоннам, а также проведено моделирование изменения контура замораживания при выходе из строя двух замораживающих колонн. Установлено, что пространственное разрешение измерений распределений температуры должно быть не более 1 м.

Эксперименты, описанные в четвертой и пятой главах диссертации, позволили установить соответствие данных прогноза положения ледопородного ограждения фактическим результатам, т. е. осуществить валидацию модели и всей системы в целом, что позволяет сделать вывод о достаточной обоснованности третьего научного положения.

В целом можно отметить, что все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, базируются на большом экспериментальном материале, корректных натурном и численном экспериментах, современных методах обработки данных и обоснованы автором в достаточной степени.

3. Новизна и достоверность результатов

Новизна результатов заключается в разработке нового способа контроля термодинамических процессов, происходящих в обводненном породном массиве в условиях его искусственного замораживания, основанного на решении обратной задачи Стефана в сочетании с оптоволоконным измерением фактических температур в скважинах, что позволило произвести калибровку теплофизических параметров массива пород, используемых в численной модели, оценить влияние выхода из строя замораживающих колонок,

обосновать технологические параметры контроля. Это дает возможность обеспечения необходимой точности при получении информации о параметрах ледопородного ограждения строящегося шахтного ствола в сложных гидрогеологических условиях.

Достоверность результатов, изложенных в диссертации, сомнения не вызывает. Это подтверждается ясной и обоснованной логикой исследования, четким построением и обоснованием защищаемых научных положений, выводов, рекомендаций на основе представительного объема данных натуральных экспериментов, положительными результатами верификации и валидации разработанных численных моделей, а также непротиворечивостью полученных результатов физическим законам и результатам других исследователей.

4. Значимость результатов для науки и практики

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в научном обосновании алгоритма и способа контроля термодинамических процессов, происходящих в обводненном породном массиве в условиях его искусственного замораживания, основанном на решении обратной задачи Стефана для влагонасыщенных горных пород с учетом экспериментальных данных от разреженной сети оптоволоконных датчиков температуры, что дает существенное повышение точности результатов.

Значимость результатов исследований *для практики* заключается в разработке программного обеспечения «FrozenWall», которое совместно с аппаратурой оптоволоконного измерения температуры в скважинах внедрено в составе системы термометрического контроля ледопородных ограждений строящихся шахтных стволов на рудниках Петриковского ГОК ОАО «Беларуськалий», Нежинского ГОК ИООО «Славкалий» и Талицкого ГОК ЗАО «ВКК». 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».

5. Публикации, отражающие основное содержание диссертационной работы, апробация результатов

По теме диссертационной работы опубликованы 10 печатных работ, в том числе 5 в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации, из них 3 в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, получено свидетельство о государственной регистрации программы «FrozenWall» для ЭВМ. Результаты исследований в необходимых объемах докладывались на российских и международных научных конференциях, симпозиумах, сессиях, школах. Публикации в полной мере раскрывают основное содержание диссертационной работы.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

6. Замечания

1. Автором в начале работы следовало бы дать четкое определение понятия «система» применительно к решаемой им проблеме. По тексту встречаются различные названия: система контроля формирования и состояния ледопородного ограждения, система термометрического контроля формирования ледопородного ограждения, система термометрического мониторинга ледопородного ограждения. Не всегда ясно, входит ли сюда аппаратная часть, включающая оптоволоконные измерительные устройства, математическое и программное обеспечение или это полная система, объединяющая обе эти части.

2. Первое и второе научные положения автором сформулированы в виде результата, в то время как положения целесообразно формулировать в форме утверждений, из которых ясна суть результата, полученного автором и его новизна по сравнению с уже существующими решениями. В частности, первое научное положение, в котором говорится об алгоритме калибровки, можно было построить в форме утверждения с учетом результатов, приведенных автором в выводах в конце второй главы на стр. 51.

3. При оценке погрешности измерения температуры в скважинах оптоволоконной системой автор делает вывод о завышении этой системой значений температуры, измеряемой образцовым высокоточным термодатчиком. Т. е. здесь речь идет о систематической погрешности измерения. Ее можно было бы исключить, если бы по результатам оценочных измерений составить регрессионную зависимость, позволяющую пересчитать показания оптоволоконной системы в истинное значение температуры.

4. На рис. 3.3 на стр. 63 весь замкнутый контур алгоритма по сути представляет собой решение обратной задачи Стефана с учетом экспериментальных данных по температуре в измерительных скважинах. Поскольку обратная задача Стефана включает в себя как элементы решение прямой задачи и изменение исходных параметров в соответствии с методом градиентного спуска, на этой схеме можно было бы исключить блок «Решение обратной задачи Стефана», поскольку он уже учитывается блоком «Решение прямой задачи Стефана» совместно с блоками «Выбор параметров калибровки модели» и «Расчет невязки».

5. На стр. 63 не приведены значения погрешностей измерения температуры инфракрасным термометром FLUKE 568, тепловизором FLIR 660 и локальным контактным датчиком (термопарой), использованными в экспериментах. Поскольку речь идет о калибровке измерительной системы, согласно теории измерений, погрешность образцовых средств должна быть в 3-5 раз меньше, чем погрешность калибруемого устройства.

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

7. Заключение

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований содержится решение научно-практической задачи разработки автоматизированной системы термометрического контроля и прогнозирования состояния ледопородных ограждений в целях предотвращения возникновения аварийных ситуаций при строительстве шахтных стволов

способом искусственного замораживания горных пород, имеющей значение для создания новых и совершенствования существующих способов строительства и эксплуатации подземных сооружений.

Диссертация соответствует п. 9. Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Паршаков Олег Сергеевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»



Вознесенский Александр Сергеевич

« 18 » августа 2020 г.

119991, г. Москва, Ленинский проспект, 4, НИТУ «МИСиС», Горный институт (МГИ), кафедра Физических процессов горного производства и геоконтроля (ФизГео).

Тел.: 8 (499) 230-25-93 (каф.), +7-910-409-94-93 (моб.)

E-mail: al48@mail.ru.

Подпись официального оппонента, д.т.н., проф. А.С. Вознесенского удостоверяю.

Проректор по науке и инновациям НИТУ «МИСиС»



М. Р. Филонов