

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию Половникова Вячеслава Юрьевича
«Разработка научных основ тепловой защиты систем транспортировки и хранения энергоносителей», представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности
01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Актуальность темы диссертации.

Актуальность темы диссертации определяется направлением исследований в рамках перечня критических технологий РФ, связанных с проблемами энергосбережения в промышленном производстве и энергетике. В перечень таких приоритетных направлений повышения энергоэффективности экономики страны входят вопросы энергоснабжения, связанные с созданием энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии. Сравнительный анализ показывает, что в России потери тепловой энергии при транспортировке и хранении могут превышать аналогичные потери в экономически развитых странах мира более чем в пять-шесть раз. Одна из основных причин высоких тепловых потерь связана с неудовлетворительной эксплуатацией и авариями на теплопроводах, другая – с моральным и физическим старением их тепловой изоляции.

Действующие в настоящее время нормативные методики оценки потерь теплоты, а также правила по проектированию тепловой изоляции трубопроводов основаны на упрощенных подходах к анализу тепловых режимов систем транспортировки и хранения энергоносителей и не учитывают всего комплекса основных взаимосвязанных факторов и процессов, оказывающих существенное влияние на уровень потерь теплоты. Существенно снизить масштабы потерь тепловой энергии при транспортировке и хранении можно достичь, используя современные научно обоснованные подходы к проектированию и реконструкции систем транспортировки и хранения энергоносителей.

В диссертации последовательно решены задачи разработки и совершенствования методик численного анализа тепловых потерь тепло- и холодопроводов, резервуаров для хранения топлив и сжиженных природных газов с учетом взаимодействия с окружающей средой.

В связи с этим цель работы сформулирована автором следующим образом: «Решение научной проблемы тепловой защиты систем транспортировки и хранения энергоносителей с разработкой нового подхода к моделированию тепловых режимов и методик анализа их тепловых потерь».

Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В.Ю. Половниковым выполнен подробный анализ проблем эксплуатации систем транспортировки и хранения энергоносителей. Это позволило выявить основные значимые факторы и процессы, влияющие на интенсификацию тепломассопереноса в тепловой защите тепло- и холодопроводов, резервуаров для хранения топлив и сжиженных природных газов.

Оценка достоверности разработанных алгоритмов проводилась путем тестирования результатов решения применяемыми численными методами ряда краевых задач тепломассопереноса, проверкой консервативности разностных схем, сопоставлением с известными экспериментальными данными, а также с результатами математического моделирования других исследователей. При выполнении исследований применялись апробированные современные средства измерений и методы решения задач математической физики. Кроме того, обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций автора, подтверждены их внедрением.

Общая методология и методика исследования.

При проведении численного моделирования взаимосвязанных процессов сопряженного тепломассопереноса с учетом фазовых переходов и взаимодействия с окружающей средой автором использованы методы

решения дифференциальных уравнений в частных производных (конечных элементов; конечных разностей, локально-одномерный, переменных направлений, прогонки, итераций, ловли фронта в узел пространственной сетки). Алгоритмы решения систем нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных с начальными и граничными условиями реализованы с использованием неравномерных пространственных разностных сеток и процедуры проверки закона сохранения энергии в области решения задачи на каждом шаге по времени.

При программной реализации алгоритмов численного решения краевых задач в диссертации использовались пакеты математического моделирования с разработанными оригинальными программными кодами и приложениями. Также использовались открытые и коммерческие пакеты для численного моделирования физических процессов для верификации оригинальных программных кодов. Экспериментальные исследования проведены на лабораторных стендах, созданных в Томском политехническом университете.

Научная новизна полученных результатов.

Теоретическая значимость работы заключается в использовании диссертантом нового подхода к исследованию тепловых режимов систем транспортировки и хранения энергоносителей, основанного на прогностических математических моделях тепломассопереноса в условиях фазовых превращений, учитывающий влияние основных значимых процессов и факторов, приводящих к росту потерь тепловой энергии.

Научная новизна диссертационной работы Половникова В.Ю. состоит, на мой взгляд, в разработке комплексной методологии повышения эффективности тепловой защиты систем транспортировки и хранения энергоносителей, включающей создание и совершенствование методик анализа тепловых потерь.

Впервые проведен комплекс численных и экспериментальных исследований по анализу тепловых потерь тепло- и холодопроводов,

резервуаров для хранения топлив и сжиженных природных газов с учетом взаимодействия с окружающей средой. Выполнен анализ влияния основных значимых факторов и процессов на интенсификацию тепломассопереноса в тепловой защите систем транспортировки и хранения энергоносителей. Разработаны новые методики анализа тепловых режимов тепловой защиты систем транспортировки и хранения энергоносителей (тепловых потерь теплопроводов и резервуаров для хранения сжиженных природных газов, эксплуатируемых в условиях увлажнения тепловой изоляции; тепловых потерь канальных и бесканальных теплопроводов; потерь тепла резервуаров для хранения топлив и сжиженных природных газов; усталостных напряжений, возникающих в структуре тепловой и низкотемпературной изоляции) с учетом основных факторов и процессов, приводящих к интенсификации тепломассопереноса в рассматриваемых системах. Впервые проведены экспериментальные исследования тепловых потерь теплопроводов в условиях увлажнения изоляции и ее последующей сушки, коэффициентов водопроницаемости ряда теплоизоляционных материалов.

Практическая значимость.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что они позволяют на высоком уровне проводить опытно-конструкторские работы в сфере энергосберегающих технологий при проектировании, реконструкции или модернизации систем транспортировки и хранения энергоносителей. В диссертации достаточно убедительно проведено научное обоснование возможности минимизации тепловых потерь и продолжительности переходных процессов тепломассопереноса в условиях реальной эксплуатации энергосберегающих систем транспортировки и хранения энергоносителей.

Результаты работы Половникова В.Ю. нашли практическое применение в проектных, строительных и теплоснабжающих организациях различных форм собственности. Они использованы для оценки потерь тепловой энергии

элементов систем транспортировки, распределения и использования энергии с учетом реальных условий эксплуатации, проведения сравнительного анализа использования различных видов теплоизоляционных материалов и оценки изменения теплозащитных свойств запроектированного материала в процессе работы систем транспортировки, распределения и использования энергии.

Возможно дальнейшее использование результатов работы с целью снижения энергозатрат на транспортировку и хранение энергоносителей и увеличения ресурса эксплуатации тепловых сетей, нефте- и газохранилищ РФ.

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Диссертация В.Ю. Половникова состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 279 наименований, двух приложений. Основной текст диссертации содержит 400 страниц, включая 118 рисунков и 111 таблиц. В приложении представлены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, а также справки и акты внедрения научных результатов работы.

Здесь следует отметить, что выбранная автором структура написания рукописи диссертации предполагает в начале каждой главы обзор современного состояния рассматриваемой проблемы, выводов и обобщения результатов исследований по каждой из глав не приводится.

Во введении дан краткий анализ современного состояния проблемы проектирования тепловой защиты систем транспортировки и хранения энергоносителей. При обосновании актуальности темы показано, что выход на новый, более высокий уровень оценок потенциала энергосбережения при транспорте и хранении энергоносителей возможен только за счет использования методов математического моделирования сложных тепло- и массообменных процессов, протекающих в изоляционных конструкциях теплопроводов и хранилищ энергоносителей и окружающей их среде. Далее сформулированы цель и задачи работы, определены научная новизна, теоретическая и практическая ее значимость, описаны применяемые методы

исследования, приведены положения, выносимые на защиту, описаны степень достоверности и апробация результатов, охарактеризован личный вклад автора, а также описана структура работы.

В первой главе вначале рассмотрено современное состояние проблемы теплового переноса в конструкциях теплопроводов тепловых сетей. Показано, что эксплуатация теплопроводов в условиях увлажнения изоляции (затопления) сопровождается интенсивным ростом тепловых потерь.

Приведено описание методик численного анализа тепловых потерь теплопроводов в условиях увлажнения изоляции, результаты численных и экспериментальных исследований. Выявлено, что помимо учета увеличения теплопроводности теплоизоляционного покрытия при его увлажнении, необходимо учитывать фазовые переходы. Нестационарностью процессов переноса в волокнисто-пористой тепловой изоляции можно пренебречь, а для изоляции из вспененных полимеров она должна учитываться. Оценена также возможность разрушения тепловой изоляции теплопроводов на основе минеральной ваты, работающих в условиях периодического затопления. В заключении главы приведены результаты экспериментального исследования и численного анализа сушки тепловой изоляции теплопроводов в условиях затопления.

Во второй главе рассмотрено современное состояние проблемы теплового переноса в конструкциях и зонах размещения бесканальных теплопроводов тепловых сетей. Приведена общая характеристика и нормативная методика расчета тепловых потерь бесканальных теплопроводов тепловых сетей, современные подходы к исследованию их тепловых режимов.

Для анализа тепловых режимов и тепловых потерь бесканальных теплопроводов в реальных условиях эксплуатации разработан ряд математических моделей, учитывающих многие факторы, основными из которых являются: промерзание грунта и наличие снежного покрова в зоне над прокладкой.

На основании проведенного анализа показано, что при проектировании бесканальных теплопроводов следует учитывать наличие дополнительных термических сопротивлений в зоне прокладки (например, отапливаемые подвалы зданий или снежный покров), а также сезонное изменение теплофизических свойств грунтов.

В заключении главы приведены результаты анализа достоверности результатов расчетных исследований, которые позволили автору утверждать об адекватности и достоверности численного моделирования тепловых режимов бесканальных теплопроводов.

В третьей главе рассматриваются процессы сопряженного теплопереноса в конструкциях и зонах размещения канальных теплопроводов тепловых сетей в различных условиях эксплуатации (штатных, внештатных, аварийных).

Тепловые режимы и тепловые потери подземных канальных тепловых сетей исследовались на примере типичных для сетей теплоснабжения РФ конфигураций теплопроводов.

Приведено описание впервые решенной сопряженной кондуктивно-конвективно-радиационной задачи теплопереноса для рассматриваемой системы: «подземный двухтрубный канальный теплопровод – окружающая среда». Установлено, что применение предлагаемой модели теплопереноса при анализе тепловых потерь канальных теплопроводов позволяет уточнить величины тепловых потерь до 20 % по сравнению со СНиП 41-03-2003. Выявлено, что эксплуатация теплопроводов канальной прокладки без тепловой изоляции приводит к росту тепловых потерь на 70 %, а с деформированным теплоизоляционным слоем до 9,0 %. Показано, что при проектировании канальных теплопроводов тепловых сетей обязательным является учет конвективного движения среды в полости канала.

В заключении главы приведены результаты анализа достоверности численного моделирования температурных полей в полости канала

теплопровода, которые позволили автору сделать выводы о хорошем качественном согласии с экспериментальными данными.

В четвертой главе отражены результаты численного моделирования тепломассопереноса в пористой структуре, увлажненной низкотемпературной атмосферной тепловой изоляцией.

На примере решения нестационарной нелинейной задачи тепломассопереноса в пористой структуре увлажненной изоляции криогенного оборудования показана необходимость учета фазовых переходов, нестационарности процессов переноса, промерзания тепловой изоляции и наличие миграции влаги к фронту фазового перехода при анализе режимов работы криообъектов, имеющих влагоустойчивую тепловую изоляцию.

Автором проведен численный анализ влияния на условия реальной эксплуатации резервуара следующих режимных факторов: конденсации влаги из влажного воздуха на теплопритоки через ограждающие конструкции, промерзания влажной изоляции ограждающих конструкций и возможности ее разрушения, масштаба теплопритоков.

Пятая глава посвящена анализу тепловых режимов резервуаров для хранения энергоносителей. В диссертации рассматривались хранилища мазута и сжиженных природных газов.

Приведено описание моделей для анализа тепловых режимов и методик численного анализа тепловых потерь наземных, полуподземных и подземных резервуарах с учетом возможных факторов, сопровождающих их эксплуатацию. Показано, что анализ тепловых режимов тепловой защиты резервуаров для хранения топлив и сжиженных природных газов необходимо проводить с учетом теплоотвода в грунт. Автором проведена также оценка влияния на тепловые режимы возможного возникновения локального пожара в зоне размещения наземного резервуара для хранения сжиженных природных газов.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы. Здесь четко и вполне обосновано характеризуются

результаты, полученные автором диссертационной работы. При этом соискатель достаточно корректно использует научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Апробация работы и публикации.

Работа прошла широкую апробацию. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на многочисленных Всероссийских и Международных научных конференциях.

Результаты работы опубликованы автором в одной монографии, 65 статьях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 27 статьях в международных рецензируемых изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science. Автором получено 9 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе.

1. Выбор композиции рукописи диссертации имеет, на мой взгляд, ряд недостатков. Так, для лучшего понимания читателям цели и постановки задач исследования автору следовало бы традиционно вынести в отдельную главу материал, посвященный анализу современного состояния решаемой проблемы. Следовало также включить выводы по всем главам с обобщением результатов конкретной части работы.
2. Вывод о том, что «...начальные условия эксплуатации подземных бесканальных трубопроводов оказывают влияние на тепловые потери только в первый год работы тепловой сети и могут быть исключены из рассмотрения при прогностическом моделировании длительных периодов эксплуатации подземных трубопроводов...», мне кажется не бесспорным.
3. При описании математических моделей желательно было более подробнее обосновать выбор соответствующих сеточных параметров.
4. Радиационный теплообмен в зонах канального теплопровода следует рассчитывать в замкнутой системе поверхностей «стенка трубы

(покровный слой) – *стенка канала*». В уравнениях 3.7.11 (стр. 196 диссертации) или 71 и 72 (стр. 25 автореферата), ошибочно, на мой взгляд, рассматривается система «стенка трубы (покровный слой) – *полость канала*». Полость же канала заполнена воздухом – диатермической не поглощающей и не излучающей средой.

5. Не ясно, как учитывалось снижение значений коэффициентов диффузии пара в увлажненной тепловой изоляции.
6. Из рукописи диссертации не вполне ясно, как проводилось измерение количества удаленной влаги из полости кожуха и тепловой изоляции при анализе длительности сушки изоляционного покрытия.
7. Большой практический интерес представляет долговечность тепловой защиты резервуаров для хранения криогенных жидкостей в условиях периодического замораживания тепловой изоляции. Возникает вопрос, проводились ли автором такие исследования?
8. Желательно было бы привести более подробное и полное описание полученных опытных данных. Например, на рисунках 1.12.1.2–1.12.1.4 (стр. 104, 105) не указаны доверительные интервалы.

Отмеченные недостатки не снижают высокий уровень диссертационного исследования и не влияют на общую оценку научного уровня диссертации, ее научной новизны и практической значимости.

Заключение о соответствии диссертации критериям.

Диссертация В.Ю. Половникова соответствует паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований, соответствующие критерию новизны.

В диссертации изложены научно обоснованные технические и технологические решения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области разработки методов повышения

эффективности тепловой защиты систем транспортировки и хранения энергоносителей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Рукопись диссертации написана хорошим научным языком в формально-логическом стиле изложения материала и достаточно полно иллюстрирована, отсутствуют опечатки и ошибки. Автореферат диссертации составлен по установленной форме и соответствует тексту рукописи.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации считаю, что диссертационная работа В.Ю. Половникова соответствует критериям, установленным в пунктах 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденных постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (ред. от 01.10.2018), а ее автор Половников Вячеслав Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

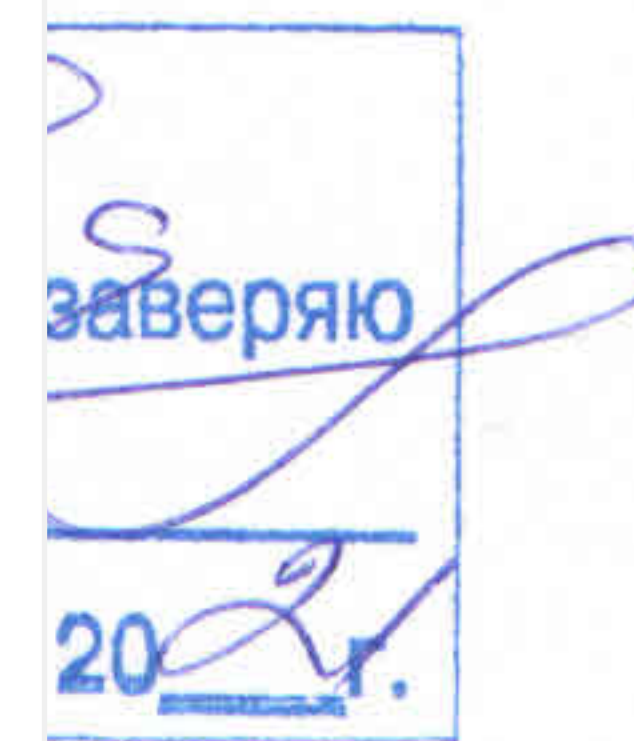
Официальный оппонент,
профессор кафедры теплотехники и
газодинамики Политехнического института
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
доктор технических наук, профессор; научная
специальность 01.04.14 – Теплофизика и
теоретическая теплотехника
(технические науки)

Скуратов Александр Петрович

«18» января 2021 г.

Адрес: 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79/10.
ФГАОУ ВО СФУ. Сайт: <http://www.sfu-kras.ru>.
Тел.: +7(902) 990-23

Отзыв пометки
в ДС 26.01.2021 г.
Уч. Секретарь ДС ВШУ
Борзухи О.В.



С ОТЗЫВОМ ОЗНАКОМЛЕН
ВШУ (Половников В.Ю.) 02.02.2021