

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. Проблемы энергосбережения и энергоэффективности остаются для промышленности, объектов социальной сферы и коммунального хозяйства РФ актуальными в течение многих последних десятилетий по целому ряду объективных причин. Одной из них является многофакторность процессов энергосбережения даже в одной отдельно взятой отрасли промышленности или хозяйства. Так, например, попытка Правительства РФ решить проблемы энергосбережения около десяти лет назад одним «ударом» - введением энергопаспортов всех зданий, сооружений и предприятий на территории России не только привела к отрицательным по существу результатам (острота проблемы энергосбережения для РФ не снизилась), но показала, что простого решения этой проблемы не существует. Невозможно, не вникая в сущность процессов производства, транспорта, хранения, распределения и использования энергии, разработать универсальные (пригодные для любого предприятия или объекта) методы и способы эффективного использования энергии. Также первая попытка внедрения «энергопаспортизации» показала, что отсутствие теории процессов, описывающей потери энергии, как электрической, так и тепловой, на всем протяжении технологического цикла от производства до использования исключает возможность адекватной оценки ее потерь в подавляющем большинстве случаев.

По этим причинам тема диссертации В.Ю. Половникова, целью которой является решение научной проблемы тепловой защиты систем транспортировки и хранения энергоносителей с разработкой нового подхода к моделированию тепловых режимов и методик анализа их тепловых потерь, безусловно актуальна. Можно отметить, что область диссертационного исследования В.Ю. Половникова относится к той части науки, в которой экспериментальная проверка математических моделей достаточно сложна. Так, например, регистрация концентраций влаги как в конденсированном, так и парообразном состоянии в слое изоляции трубопроводов систем теплоснабжения или хранилищ сжиженного природного газа является нерешенной до настоящего времени задачей.

Выполняя оценку актуальности темы диссертации В.Ю. Половникова необходимо отметить, что по своей цели, задачам, достигнутым результатам и защищаемым положениям она полностью соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика».

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 279 источников, двух приложений. Основной текст рукописи – 400 страниц, включая 118 рисунков и 111 таблиц.

Во введении автор обосновывает использованием современных подходов к решаемой проблеме и актуальность своего диссертационного исследования, формулирует цель и задачи работы, выделяет научную новизну полученных им результатов, обосновывает их практическую и теоретическую значимость, представляет использовавшиеся в работе над диссертацией методы исследования, защищаемые положения.

Первая глава диссертации посвящена теоретическому анализу процессов тепловлагоденоса в тепловой изоляции теплопроводов тепловых сетей. Приведено описание физических процессов, протекающих в предметной области диссертационного исследования, и формулируется базовая математическая модель для описания процессов переноса в системе «труба – слой изоляции – воздух – вода». Рассмотрены несколько вариантов постановок задач, отличающихся описанием процессов влагоденоса в слое изоляции в рамках моделей механики сплошной среды. Для решения всех задач первой главы автор использовал метод конечных разностей. В этой же главе приведены результаты экспериментального определения потерь теплоты модельного теплопровода в обычных условиях работы и при максимальном увлажнении тепловой изоляции (состояние возникающее в условиях затопления теплопровода). Результаты выполненных экспериментов использовались в дальнейшем для верификации результатов теоретических исследований. Также в первой главе приведены результаты экспериментов по сушке тепловой изоляции модельного теплопровода после его затопления и результаты теоретического анализа условий и характеристик процессов разрушения слоя тепловой изоляции в рамках сформулированной автором модели.

Во второй главе диссертации приведены результаты теоретических исследований процессов тепловлагоденоса в конструкциях и зонах размещения бесканальных теплопроводов тепловых сетей. Сформулирована математическая постановка задачи для рассматриваемых систем в виде систем дифференциальных нестационарных уравнений с соответствующими краевыми условиями. Комплекс выполненных теоретических исследований

показал возможность адекватных оценок тепловых потерь при работе бесканальных теплопроводов с использованием сформулированных автором диссертации моделей.

В третьей главе представлены результаты теоретических исследований процессов сопряженного теплопереноса в конструкциях и зонах размещения канальных теплопроводов тепловых сетей в рамках модели, описывающей теплоперенос в трубопроводах двухтрубной прокладки. Проведено описание режима конвективного теплоотвода от поверхностей трубопровода в рамках модели термогравитационной конвекции с учетом теплообмена излучением в полостях канала теплопровода. Основным результатом этой главы является обоснование целесообразности перехода при анализе тепловых потерь в рассматриваемых системах на сформулированные автором диссертации модели и методы решения соответствующих задач. Такой переход обеспечивает возможность существенно более адекватных оценок тепловых потерь при работе теплопроводов и, соответственно, создание условий для снижения этих потерь.

Четвертая глава посвящена описанию результатов выполненного автором теоретического анализа тепломассопереноса в пористой структуре увлажненной низкотемпературной атмосферной тепловой изоляции в условиях работы трубопроводов для транспорта криогенных жидкостей. Выполненный численный анализ основных закономерностей тепломассопереноса в рассматриваемой достаточно сложной технической системе в условиях фазовых переходов показал возможность выхода на прогнозирование работоспособности и энергоэффективности систем теплоизоляции трубопроводов сжиженного природного газа в реальных условиях эксплуатации в разных климатических условиях.

В пятой главе приведены результаты исследований, посвященных численному моделированию тепловых режимов резервуаров для хранения широко используемых в настоящее время (мазут) и перспективных (сжиженный природный газ) энергоносителей. При постановке и решении задач этой главы использовались модели и методы, аналогичные представленным в первых главах диссертации. Результаты теоретических исследований этой главы, также как и других, показывают возможность существенно более адекватного анализа тепловых потерь при работе рассматривавшихся резервуаров. В этой же главе приведены результаты анализа тепловых режимов резервуаров в аварийных условиях их работы.

В заключении приведены основные результаты исследований автора диссертации и сформулированные им на основании анализа и обобщения этих результатов выводы.

Общая методология и методики исследований. Применяемые к настоящему времени методы оценки тепловых потерь в системах транспортировки и хранения энергоносителей построены на системах алгебраических уравнений тепловых балансов. Автор диссертации предложил новый подход к решению таких задач с использованием моделей механики сплошной среды и уравнений математической физики, описывающих процессы тепло- и влагопереноса в исследованных им технических системах. Это позволило ему существенно детализировать и представить наиболее полный и точный анализ исследуемых процессов. Полученные результаты сопоставляются с расчетами по нормативной методике, делаются выводы о необходимости ее корректировки. Соответственно, переход при математическом моделировании к системам нестационарных нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных привел к необходимости использования современных методов для решения соответствующих краевых задач. Здесь автором создан ряд оригинальных программ расчета для ЭВМ. В отдельных случаях для оценки точности выполненных расчетов используются данные физического эксперимента.

Научная новизна полученных результатов. Критерию новизны, если исходить как из традиционных, так и из современных представлений, в полной мере соответствует большая группа результатов, полученных В.Ю. Половниковым. Новизна подтверждается публикациями статей автора по тематике диссертации в ведущих научных журналах РФ, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК для публикации материалов докторских диссертаций. По мнению оппонента наиболее значимы для науки следующие результаты.

1. Разработан новый подход к анализу основных закономерностей процессов тепломассопереноса в тепловой защите систем транспортировки и хранения энергоносителей, заключающийся в использовании моделей математической физики и учете основных значимых факторов и физических процессов, влияющих на интенсификацию процессов переноса в рассматриваемых технических системах.
2. Обоснована возможность перехода на новый уровень оценки энергоэффективности систем транспорта и хранения энергоносителей с целью решения практических задач энергосбережения в ряде отраслей промышленности с использованием разработанных в диссертации моделей, методов решения задач, алгоритмов и программ расчета на ЭВМ.

3. Выполнен анализ влияния большой группы значимых факторов и процессов на интенсивность тепломассопереноса в тепловой защите систем транспортировки и хранения энергоносителей.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Достоверность полученных автором диссертации результатов основных защищаемых положений и выводов обусловлена, в первую очередь, логикой постановок задач, выбором методов их решения, верификацией моделей и методов решения задач. Математические модели, впервые сформулированные автором диссертации для описания исследовавшихся им процессов, являются следствием фундаментальных законов сохранения массы, импульса и энергии.

В.Ю. Половников использовал при решении всех задач диссертации популярные во многих отраслях науки и показавшие свою высокую эффективность при решении сложных задач теплофизики и теоретической теплотехники численные методы. Автором диссертации разработаны алгоритмы и программы решения на ЭВМ большей части задач диссертации. Также в ряде случаев использовались современные пакеты прикладных программ. Ряд результатов математического моделирования, полученных автором, прошел проверку при сравнении с немногочисленными известными экспериментальными данными.

Автор диссертации с целью обоснования достоверности результатов исследований провел комплекс экспериментов, результаты которых использовались в дальнейшем.

Практическая значимость. При всей фундаментальности постановок задач диссертации достаточно очевидна ее практическая направленность на решение актуальных задач энергосбережения. Практическая значимость результатов, полученных В.Ю. Половниковым при работе над диссертацией, подтверждается достаточно многочисленными свидетельствами о государственной регистрации разработанных им программ, а также документами, подтверждающими использование результатов диссертационного исследования. Разработанные автором математические модели могут быть использованы также при решении задач технико-экономической оптимизации выбора параметров и материалов на этапе конструирования систем теплозащиты сходных объектов в различных отраслях промышленности.

Замечания

1. Из рисунков 1.7.1 и 1.7.3 следует, что процесс насыщения влагой минераловатной изоляции до предельного значения при разности давлений в

1000 кПа завершается за 300 секунд, а при разности 10 кПа длится 2000 секунд. Учитывая, что рост увлажнения ведет к увеличению тепловых потерь, требует дополнительного пояснения результат, представленный на рисунке 1.7.7, из которого следует, что тепловые потери при перепаде давления 10 кПа возрастают по времени быстрее, чем при перепаде 1000 кПа.

2. Снижение интенсивности диффузии пара в увлажненной тепловой изоляции учитывается введением поправочного коэффициента. Следовало бы провести анализ подходов к решению этой задачи и дать обоснование выбора используемого подхода.

3. Недостаточно обоснован в диссертации отказ от включения в теоретическую модель одного из механизмов теплообмена, обусловленного притоком тепла к поверхностям резервуара и прилегающего грунта за счет солнечной радиации.

4. Не совсем корректен подход к тестированию разработанных алгоритмов решения систем нестационарных нелинейных уравнений в частных производных на примере менее сложных задач теплопроводности и гидродинамики.

5. В выводах к результатам целого ряда сравнительных расчетов по авторской модели и на основе нормативной методики отмечается необходимость корректировки действующих норм, однако, без указания конкретных рекомендаций. На наш взгляд, в качестве одной из таких рекомендаций можно было рассмотреть построение по результатам численных расчетов вспомогательных номограмм и таблиц подобно тому, как это применяется в нормативном методе теплового расчета котельных агрегатов.

6. Встречаются мелкие неточности и опечатки:

а) в правой части уравнения 1.8.2 завышен порядок производной от температуры;

б) в разделе 3.1.1 автор использует выражения “термическое сопротивление внутренней поверхности трубы” и “термическое сопротивление наружной поверхности изоляции”, которые по существу представляют термические сопротивления теплоотдачи на соответствующих поверхностях.

Заключение. Сделанные замечания не влияют на высокую оценку представленной диссертационной работы. Текст диссертации хорошо оформлен и написан в целом грамотным техническим языком. Материалы диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих научных изданиях. Автореферат полностью соответствует материалам диссертации. Изложенные результаты исследования можно характеризовать как

существенный вклад в создание научных основ тепловой защиты систем транспортировки и хранения энергоносителей.

Считаю, что диссертационная работа Половникова Вячеслава Юрьевича по научной новизне и практической значимости результатов, а также по объему выполненных исследований, полностью соответствует научной специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Она отвечает требованиям пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. (ред. от 01.10.2018), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент,
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
отдел теплосиловых систем № 70,
главный научный сотрудник


Таиров Эмир Асгадович

Дата «21» сентября 2021 г.

664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, д. 130
+7(3952) 500-646
e-mail: tairov@isem.irk.ru



Проступил в совет 28.01.2021,
Уч. секретарь ДС *В. В. Воронцов* О.В.

Сотзывом ознакомлен: *В. В. М.* (Половников В.Н.)
02.02.2021