

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук Кадырова Айдара Ильдусовича на диссертацию Закировой Ильмиры Асхатовны «Повышение эффективности энерготехнологических комплексов и систем теплоснабжения тонкопленочным покрытием тепловой изоляции трубопроводов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – «Энергетические системы и комплексы»

### Актуальность темы

Приоритетным условием развития распределенной энергетики в российских условиях является развитие энерготехнологических комплексов и входящих в их состав систем теплоснабжения. Одним из важных аспектов развития распределенной энергетики является повышение энергоэффективности и энергосбережение на стороне потребителя энергии, приводящие к долгосрочному уменьшению его потребности в энергии, основанное на энергосберегающих мероприятиях.

В своей работе автор рассматривает один из способов энергосбережения при транспортировке тепловой энергии, направленный на снижение потерь тепла с поверхности изоляции и повышение эффективности существующей тепловой изоляции трубопроводов систем теплоснабжения. Предлагаемый способ основан на применении дополнительного тонкопленочного покрытия в общей структуре волокнистой теплоизоляционной конструкции. Тепловая изоляция, выполненная на основе волокнистых материалов, в процессе эксплуатации подвержена разрушениям и потере теплозащитных свойств, в связи с этим, в работе предложена модернизация существующей волокнистой тепловой изоляции. В диссертации представлены результаты экспериментальных и численных исследований. Экспериментальные исследования включают определение теплофизических характеристик (теплопроводность, тепловое излучение, плотность тепловых потоков, воздухопроницаемость) теплоизоляционной конструкции до и после нанесения тонкопленочного покрытия. Численные исследования включают расчет полей температур и скоростей в слое теплоизоляционной конструкции в условиях естественной и вынужденной конвекции для широкого диапазона геометрических характеристик трубопроводов и теплоизоляционной конструкции с варьированием коэффициента проницаемости. Дана оценка эффективности применения тонкопленочного покрытия (далее - ТПП) на поверхности теплоизоляционной конструкции. Выполненный комплекс экспериментальных и численных исследований обосновывает применение

ТПШ для уменьшения потерь тепловой энергии при транспортировке в каналах систем теплоснабжения, что является актуальной задачей.

### **Содержание и структура диссертации**

Диссертационная работа Закировой Ильмиры Асхатовны «Повышение эффективности энерготехнологических комплексов и систем теплоснабжения тонкопленочным покрытием тепловой изоляции трубопроводов» состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 174 наименования, и 6 приложений, включающих в том числе акт об использовании и справку о внедрении результатов диссертационной работы. Общий объем диссертации - 239 страниц (144 страницы основного текста, 19 страниц литературы и 76 страниц приложений), в том числе 56 таблиц и 67 рисунков.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Сформулированы цель и задачи исследования, изложены новизна полученных результатов и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен анализ состояния повышения эффективности объектов распределенной энергетики – энерготехнологических комплексов и входящих в их состав систем теплоснабжения. Проанализированы существующие виды теплоизоляционных материалов, применяемых в теплоснабжении, приведена их классификация и эксплуатационные характеристики. Поставлена задача об экспериментальном исследовании и теоретическом обосновании эффекта энергосбережения при нанесении ТПП на поверхность традиционной тепловой изоляции тепловых сетей систем теплоснабжения.

**Вторая глава** посвящена экспериментальным исследованиям теплофизических характеристик теплоизоляционной конструкции с тонкопленочным покрытием и без него. Собрана экспериментальная установка для определения плотности тепловых потоков, проходящих через многослойную теплоизоляционную конструкцию до и после нанесения тонкопленочного покрытия, основанная на методе неограниченного цилиндрического слоя.

**В третьей главе** представлены результаты математического моделирования тепловых процессов в тепловой изоляции трубопроводов. Рассмотрены два случая: естественная и вынужденная конвекция. Выполнена оценка эффективности применения тонкопленочного покрытия для различных характеристик исходного состояния основного и покровных слоев, а также от количества слоев ТПП.

**В четвертой главе** представлены результаты тепловизионной диагностики практического применения тонкопленочного покрытия на эксплуатируемом подающем трубопроводе системы теплоснабжения.

Предложен способ энергосбережения и повышения эффективности системы теплоснабжения поселка Осиново. Проведена технико-экономическая оценка эффективности применения тонкопленочного покрытия в конструкции тепловой изоляции в рамках предлагаемых работ по модернизации системы теплоснабжения энерготехнологического комплекса.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы и выводы.

#### **Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

В результате исследований получены следующие результаты, характеризующие научную новизну работы.

1. Впервые определены теплофизические характеристики ТПП в общей конструкции традиционной тепловой изоляции трубопроводов СТС с основным слоем из минеральной ваты и покровным слоем из стеклопластика.

2. Экспериментально определены плотности тепловых потоков, проходящих через конструкцию тепловой изоляции до и после нанесения ТПП, характеризующие тепловые потери, выявленные в результате исследования, основанного на методе неограниченного цилиндрического слоя.

3. Впервые проведено математическое моделирование тепловых процессов, протекающих в конструкции тепловой изоляции трубопроводов СТС с применением ТПП.

4. На основании математической модели проанализировано состояние основного изоляционного и покровного слоев, состоящих из минеральной ваты и стеклопластика и их общее влияние на энергосберегающие характеристики.

5. Разработан метод энергосбережения при передаче тепловой энергии за счет снижения потерь тепла через тепловую изоляцию трубопроводов СТС с применением ТПП на поверхности существующей традиционной изоляции.

6. Представлен совокупный системный эффект от внедрения мероприятий по модернизации, способствующих повышению эффективности работы ЭТК.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность**

Сформулированные в диссертации научные положения и выводы являются вполне обоснованными и достоверными. Достоверность обеспечена использованием корректной методики проведения экспериментальных и численных исследований и соответствующего экспериментального оборудования, внесенного в единый реестр средств измерений РФ, а также детальным расчетом погрешностей экспериментальных измерений. Обоснованность полученных автором результатов подтверждается их

согласованностью с литературными данными в части сопоставления технических характеристик теплоизоляционных материалов. Результаты испытаний применения ТПП показали ее эффективность при проведении ремонтно-восстановительных работ по улучшению тепловой изоляции трубопроводов СТС, расположенных в тепловом узле ФГБОУ ВО КГЭУ. Результаты диссертационной работы внедрены в практику деятельности АО «Энергоцентр Майский».

#### **Ценность для науки и практики выводов и предложений, изложенных в диссертации**

Разработанный способ повышения эффективности систем теплоснабжения за счет применения дополнительного тонкопленочного покрытия в общей структуре теплоизоляционной конструкции и полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований в дальнейшем могут быть использованы для моделирования теплообменных процессов, протекающих в толще многослойной теплоизоляционной конструкции сложной конфигурации в зависимости от состояния основного и покровного слоев, а также от способа размещения трубопроводов.

Результаты диссертационной работы целесообразно использовать: (а) на этапе проектирования для прогнозирования динамики ухудшения свойств тепловой изоляции; (б) на этапе эксплуатации для оценки состояния теплоизоляционных конструкций, повышения надежности и своевременного восстановления теплозащитных свойств. Предложенный способ энергосбережения при транспортировке тепловой энергии в СТС, а также мероприятия по модернизации технологической схемы энерготехнологического комплекса позволят улучшить финансово-экономические показатели объектов распределенной энергетики, повысить их инвестиционную привлекательность при проведении работ по модернизации, реконструкции и техническому перевооружению, что в дальнейшем позволит повысить экономические показатели энергетических систем, как на региональном, так и федеральном уровнях.

#### **Общая оценка диссертации**

Содержание работы изложено последовательно, методически правильно и достаточно полно раскрывает решение поставленной научно-технической задачи. Представленная диссертация выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне, отражает владение автором современных методов научных исследований и современного приборного оборудования, знание обширной библиографической базы по теме исследований. Достоинством работы является наличие результатов экспериментальных исследований и математического моделирования. Экспериментальные исследования выполнены с применением действующих

аттестованных методик и государственных стандартов, а также использованных аттестованных средств измерений с высоким классом точности, прошедших поверку. В работе представлен большой объем иллюстративного материала, текст диссертации написан в едином стиле и представляет собой законченное научное исследование.

Научные результаты диссертации Закировой И.А. полностью отражены в одиннадцати научных публикациях: одной статье в журнале, включенном в международную базу цитирования SCOPUS, трех статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, одном свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ и шести публикациях в материалах международных и национальных научных конференциях.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и в достаточной мере его раскрывает.

### **Замечания по диссертации**

1. Условия (3.6)-(3.9) не являются граничными условиями, а конкретизируют значения постоянных для каждой из областей, где решается система уравнений (3.1)-(3.3).

2. При математическом моделировании к постановке задачи следует добавить граничные условия на границе раздела между основным теплоизоляционным слоем и покровным слоем.

3. Неясен смысл переменной «у» в соотношениях (3.11) и (3.15).

4. Из текста диссертационной работы неясно, какая система координат использовалась для численной реализации поставленной задачи при использовании пакета FlexPDE – цилиндрическая или декартова?

5. Не представлены результаты анализа влияния размеров сетки на сходимость и точность получаемого решения. При анализе тепловых потерь по результатам численных исследований необходимо выделить сеточную погрешность для значений 2% и 1% (стр. 115 текста диссертации).

6. Необходимо представить сравнение численных результатов с литературными данными.

7. Затруднено восприятие иллюстративного материала ввиду уменьшения его истинных размеров. Надписи к графикам и пояснительные шкалы едва читаются.

8. Из содержания работы непонятно, как контролировалась толщина наносимого слоя тонкопленочного покрытия.

9. Насколько корректно анализировать разницу в 1%, 2%, 4% для полученных значений коэффициента теплопроводности теплоизоляционной конструкции при заявленной изготовителем погрешности устройства ИТС-1 в  $\pm 5\%$  ?

10. Не приведен анализ причин разброса в значениях плотности тепловых потоков, полученных в результате экспериментальных исследований на подающем трубопроводе тепловой сети в трех точках по периметру.



11. Не приведен анализ причин сильного разброса в значениях плотности тепловых потоков и температур, полученных в результате экспериментальных исследований на сконструированной экспериментальной установке в четырех точках по периметру трубы.

Отмеченные недостатки не снижают ценности всего исследования и не влияют на его главные теоретические и практические результаты и положительную оценку работы в целом.

### Заключение по диссертации

Диссертация Закировой И.А. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненной соискателем на высоком научном уровне. В диссертации содержится решение актуальной задачи о повышении эффективности теплоизоляционной конструкции трубопроводов систем теплоснабжения с применением тонкопленочного покрытия. Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» в соответствии с постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Закирова Ильмира Асхатовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент, кандидат технических наук, заведующий лабораторией теплофизики и волновых технологий Института энергетики и перспективных технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр» «Казанский научный центр Российской академии наук»



Кадыйров Айдар Ильдусович  
17.05.2019 г.

420111, Россия, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31, ФИЦ КазНЦ РАН, тел: +7 (843) 292-66-70, e-mail: [presidium@knc.ru](mailto:presidium@knc.ru), сайт: <http://knc.ru>



Подпись *Закирова И.А.*  
ЗАВЕРЯЮ  
Заведующий  
инженерией *Митрофанова А.И.*  
17 мая 2019 г.