

**ОТЗЫВ**  
**научного консультанта**  
**кандидата технических наук, профессора**  
**Мехтиева Али Джаваншировича**  
**на диссертационную работу Бузякова Рустама Равильевича**  
**«Исследование и разработка энергоэффективного электротехнического**  
**нагревательного устройства в качестве альтернативного источника**  
**тепловой энергии»,**  
**представленную на соискание степени доктора философии (PhD)**  
**по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика»**

Диссертационная работа Бузякова Рустама Равильевича посвящена исследованию и разработке парового электрообогревателя низкого давления (ПЭНД) на основе электровакуумной тепловой трубки гравитационного типа. Работа выполнена на стыке электроэнергетики, электротехники, прикладной теплотехники и автоматизированного управления электротепловыми нагрузками, что определяет ее научную и практическую значимость.

Актуальность темы обусловлена современными задачами электроэнергетики и теплоснабжения Республики Казахстан: необходимостью повышения энергоэффективности конечного энергопотребления, развития управляемых электротепловых нагрузок, повышения надежности локального теплоснабжения и снижения зависимости отдельных потребителей от твердого топлива. В этих условиях разработка конструктивно простого, управляемого и энергоэффективного электротехнического нагревательного устройства является своевременной и практически востребованной.

Диссертация имеет логичную структуру и включает нормативные ссылки, обозначения и сокращения, введение, четыре главы, заключение, список использованных источников и приложения. Во введении обоснованы актуальность, цель, задачи, объект и предмет исследования; в основных главах последовательно рассмотрены современное состояние проблемы, физико-математическое и численное моделирование, экспериментальные исследования, а также конструктивно-технологическое и электротехническое обоснование разработанного устройства.

Цель диссертационной работы сформулирована корректно и состоит в исследовании и разработке энергоэффективного электротехнического нагревательного устройства, обеспечивающего функции альтернативного источника тепловой энергии для локального автономного, децентрализованного и гибридного электротеплоснабжения. Для достижения цели автором решен комплекс взаимосвязанных задач: выполнен анализ существующих решений, разработана модель электровакуумной тепловой трубки, создан лабораторный стенд, проведены стендовые испытания опытных образцов и обоснованы принципы секционного управления ПЭНД.

Объектом исследования является ПЭНД на основе электровакуумной тепловой трубки гравитационного типа, выполненный как секционное модульное электротехническое нагревательное устройство. Предмет исследования составляют закономерности электротеплового преобразования, фазового теплопереноса и формирования температурного поля при изменении электрической мощности, количества рабочего тела, параметров вакуумированной полости, геометрии устройства и условий внешней теплоотдачи.

Научная идея диссертации заключается в совмещении зоны электрического теплоподвода с испарительной зоной электровакуумной тепловой трубки и распределении теплоты по теплоотдающей поверхности за счет фазового перехода рабочего тела. Такой подход позволяет разделить зону высокоинтенсивного электротеплового преобразования и зону распределенной теплоотдачи, снизить локальную тепловую напряженность нагревательного узла, выровнять температурное поле и согласовать работу секций с фактической тепловой нагрузкой помещения.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- впервые для ПЭНД на основе электровакуумной тепловой трубки гравитационного типа разработана физико-математическая и численная модель электротеплового преобразования и двухфазного теплопереноса при интеграции электрического нагревателя в испарительную зону;

- установлены зависимости температурных, тепловых и энергетических характеристик устройства от электрической мощности, количества рабочего тела, начального остаточного давления, геометрических параметров секции и условий внешней теплоотдачи, в том числе при сопоставлении трубчатого и индукционного способов электрического теплоподвода;

- определены расчетные и экспериментальные признаки работоспособного двухфазного режима ПЭНД: энергетический баланс подвода и отвода теплоты, допустимый температурный уровень испарительной зоны, устойчивый возврат жидкой фазы, соответствие давления и температуры условию насыщения рабочего тела и воспроизводимость пусковых температурно-временных кривых;

- научно обоснованы конструктивно-режимные принципы секционного электропитания, температурного мониторинга и автоматического управления электрической нагрузкой, позволяющие применять ПЭНД в автономных и гибридных схемах электротеплоснабжения.

Методология исследования соответствует поставленным задачам. Автором использованы положения электротехники, теплопередачи, теплопереноса, термодинамики, теории фазовых переходов, численного моделирования, планирования эксперимента и статистической обработки данных. Численная реализация модели выполнена в COMSOL Multiphysics; модель учитывает нестационарную теплопроводность твердых

элементов, фазовый переход рабочего тела, парожидкостный перенос, возврат конденсата, энергетический баланс и внешний теплообмен.

Экспериментальная часть работы выполнена последовательно и методически грамотно. Разработанный лабораторный стенд обеспечивает вакуумирование внутренней полости, задание и контроль электрической мощности, измерение напряжения, тока, температуры, времени, остаточного давления и параметров окружающей среды. Стендовые исследования проведены в основном диапазоне мощности секции 60–100 Вт, а также в сравнительном режиме 120 Вт для оценки трубчатого и индукционного способов теплоподвода.

Полученные результаты подтверждают работоспособность выбранной схемы электровакуумной тепловой трубки и позволяют определить рациональные сочетания мощности секции, количества рабочего тела, параметров вакуумирования, геометрии испарительной и конденсационной зон. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показывает корректность выбранной модели и возможность ее использования при проектировании опытных и перспективных образцов ПЭНД.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в применимости полученных результатов при проектировании и эксплуатации локальных электротехнических нагревательных устройств на основе электровакуумных тепловых трубок. Разработанная инженерная методика связывает тепловую нагрузку помещения, число секций, установленную мощность, температурный режим, параметры рабочего тела, вакуумирования, теплоотдачи, электрического подключения, мониторинга и защиты.

Практическая апробация результатов подтверждена внедрением в учебный процесс НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», рассмотрением применения разработанных решений в ТОО «Global light LLP», а также письмом о намерениях ТОО «Silumin of Qazaqstan» по возможности изготовления и последующего выпуска радиатора на основе электровакуумной тепловой трубки. Дополнительно следует отметить связь исследования с проектом грантового финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по программе «Жас ғалым» ИРН AP25795573.

Техническая новизна и прикладная завершенность результатов подтверждены патентом Республики Казахстан на полезную модель №10146 «Радиатор отопления с индукционным нагревателем» и свидетельством об авторском праве №63992 на компьютерную 3D-модель энергоэффективного парового электровакуумного нагревателя. Область рационального применения ПЭНД включает автономные и отдельно стоящие здания, реконструируемые объекты, помещения с зонально-неравномерной тепловой нагрузкой, гибридные схемы промышленных и общественных зданий и локальный догрев рабочих зон.

Материалы диссертационной работы отражены в 10 публикациях и охранных документах: опубликованы 2 статьи в международных научных

изданиях, входящих в базу данных Scopus, 4 статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования, 2 публикации в материалах международных научно-практических конференций, а также получены 2 охранных документа на объекты интеллектуальной собственности. Указанные результаты свидетельствуют о достаточной апробации работы и признании ее основных положений научным сообществом.

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов обеспечиваются корректной постановкой физико-математической модели, использованием апробированных положений электротехники и тепломассопереноса, контролем энергетического баланса, сопоставлением расчетных данных с экспериментальными результатами, оценкой погрешностей измерений, статистической обработкой данных и определением доверительных интервалов.

В период выполнения диссертационной работы Бузяков Рустам Равильевич проявил себя как ответственный, подготовленный и самостоятельный исследователь, способный формулировать научную проблему, выполнять расчетно-теоретический анализ и экспериментальные исследования, критически оценивать полученные результаты и доводить научные положения до инженерно применимых решений. Автор показал высокий уровень подготовки в области электроэнергетики, электротехники, физико-математического моделирования и экспериментальной теплотехники.

Диссертационная работа представляет собой завершенное научное исследование, в котором на достаточном теоретическом, экспериментальном и прикладном уровне решена актуальная научно-техническая задача разработки и исследования энергоэффективного электротехнического нагревательного устройства на основе электровакуумной тепловой трубки. Автором выполнены постановка научной задачи, разработка физико-математической и численной модели, проведение экспериментальных исследований, обработка и анализ экспериментальных данных, а также формулирование научных выводов и практических рекомендаций.

Полученные результаты обладают научной новизной, достоверностью и практической значимостью. Они имеют важное значение для электроэнергетики, развития локального электротеплоснабжения, повышения эффективности конечного использования электрической энергии и внедрения управляемых электротепловых нагрузок в автономных, децентрализованных и гибридных системах теплоснабжения. Работа отличается логической завершенностью, внутренней согласованностью и практической направленностью, что подтверждает способность автора проводить самостоятельные научные исследования на современном научно-техническом уровне.

Диссертационная работа Бузякова Рустама Равильевича на тему «Исследование и разработка энергоэффективного электротехнического

нагревательного устройства в качестве альтернативного источника тепловой энергии» соответствует действующим требованиям, установленным Правилами присуждения степеней, и рекомендуется к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика».

Автор диссертации – Бузяков Р.Р. заслуживает присуждения ему степени доктора философии по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика».

**Научный консультант  
кандидат технических наук,  
профессор НАО «Карагандинский технический  
университет имени Абылкаса Сагинова»**

**А.Д. Мехтиев**

**Подпись Мехтиева А.Д. заверяю.  
Ученый секретарь НАО «Карагандинский  
технический университет  
имени Абылкаса Сагинова»**

**К.Н. Турсынғалиева**

