

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук

Медникова Алексея Феликсовича,

на диссертационную работу

Лапина Михаила Владимировича

**«Применение многоступенчатой тепловой насосной установки для
повышения эффективности когенерационной газотурбинной установки
малой мощности в условиях Крайнего Севера»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.7 «Турбомашины и поршневые двигатели»**

1. Актуальность диссертационного исследования

Тема диссертации обладает значительной актуальностью в связи с рассмотрением проблемы энергоснабжения на Крайнем Севере, обусловленной высокой стоимостью топлива, жесткими климатическими условиями, высокой потребностью не только электроэнергии, но в большинстве случаев тепла, а также изолированностью энергосистем.

Рассмотренные в диссертации вопросы утилизации и использования вторичных энергоресурсов для генерации высокопотенциальной теплоты источников тепловой энергии, важны при решении задач теплоснабжения и повышения эффективности маломощных энергоустановок, работающих в отдалённых районах. Применение тепловых насосов позволяет повысить температуру теплоносителя, затрачивая работу. Однако при увеличении соотношения рабочее тело/теплоноситель применение тепловых насосов становится неэффективным из-за неоптимального процесса переохлаждения рабочего тела. Решаемая в диссертации задача разработки метода расчета многоступенчатых тепловых насосов позволяет повысить эффективность процесса переохлаждения и преобразования теплоты. Внедрение многоступенчатой тепловой насосной установки для повышения

эффективности когенерационной ГТУ малой мощности соответствует глобальным трендам декарбонизации, повышения энергоэффективности изолированных систем и является стратегически важным для устойчивого развития регионов Крайнего Севера.

2. Степень достоверности результатов

Степень достоверности и апробация результатов научных положений и полученных результатов обусловлены:

- корректной постановкой задач, использования классической теории гидродинамики, теории термодинамики, теории теплообмена и применения численных методов;

- совпадением расчетных и экспериментальных данных коэффициента преобразования теплонасосной установки с учетом гидравлических и термодинамических потерь;

- качественным совпадением расчетных и экспериментальных данных параметров коэффициента преобразования трехступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням с учетом гидравлических и термодинамических потерь для рабочего тела R600A.

3. Научная новизна диссертационной работы Лапина М.В. заключается в следующем:

- разработан научно обоснованный метод расчёта оптимальных соотношений расходов хладагента и источника высокопотенциальной теплоты по ступеням;

- определены оптимальные параметры переохлаждения хладагента многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням в целях повышения коэффициента преобразования;

— разработана математическая модель переохладителя многоступенчатой ТНУ на базе программного комплекса ANSYS с учетом гидравлических и термодинамических потерь.

4. Обоснованность и достоверность основных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации, обусловлена:

— применением современных и хорошо зарекомендовавших себя методик и средств проведения экспериментальных исследований;

— согласованностью полученных данных с известными опубликованными данными в ранее исследованном интервале параметров, результатами теоретических и экспериментальных исследований;

— верификацией используемого метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням с совмещенным переохладителем, а также качественным совпадением результатов определения удельной энтальпии переохлаждения.

5. Практическая и научная ценность и значимость диссертации состоит в следующем:

— теоретически и экспериментально показана возможность повышения эффективности тепловых насосов путем оптимизации режимов движения теплоносителя в процессе переохлаждения рабочего тела;

— с использованием разработанного автором испытательного стенда с экспериментальной исследовательской установкой произведена экспериментальная верификация предлагаемого метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки;

— для определения коэффициента преобразования разработано специализированное программное обеспечение.

6. Апробация и публикации работы

Основные положения и результаты диссертационной работы представлены на международных и всероссийских научно-технических конференциях и в необходимом объеме отражены в 5 научных изданиях, из которых: 1 работа опубликована в рецензируемых изданиях из Перечня ВАК РФ; 1 работа опубликована в изданиях из перечня РУДН; получен 1 патент на изобретение и 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

7. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат, объемом 24 страницы, выполнен с соблюдением установленных требований, он полно и точно отражает содержание, научные результаты и выводы диссертации.

8. Структура диссертации и оценка ее содержания

По структуре, содержанию и изложению диссертационная работа является законченным научным трудом. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 71 наименования, изложена на 120 страницах, содержит 50 рисунков, 33 таблицы, написана технически грамотным языком и оформлена надлежащим образом.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, обозначены цель и задачи работы, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, представлена структура работы, задачи исследования.

В первой главе приведен обзор научной литературы по теме исследования. Описаны природно-климатические условия Крайнего Севера, энергообеспеченность и промышленный потенциал региона. Рассмотрены подходы к повышению эффективности газотурбинных установок. Отмечена эффективность подхода с заменой раздельного способа производства электрической и тепловой энергии на совместный (когенерация). Сделаны выводы и определены задачи исследования.

Во второй главе приведено описание энергетических ГТУ малой мощности, ГТУ малой мощности для привода генераторов и компрессоров, ГТУ для газотранспортной отрасли, а также описание типов вторичных энергоресурсов ГТУ, в том числе низкопотенциальных и методов их использования. В главе приведено описание тепловых насосов для утилизации тепла вторичных энергоресурсов, а также используемых хладагентов. Рассматриваются схемы многоступенчатых тепловых насосов, расположения переохладителей, а также анализ их эксергетических потерь. Представлена методика расчета многоступенчатого теплового насоса с совмещенным переохладителем. Определены зависимости гидравлических и термодинамических потерь в переохладителе от режимов движения рабочего тела и нагреваемого теплоносителя.

В третьей главе приведены расчеты повышения эффективности работы ГТУ малой мощности с применением многоступенчатой теплонасосной установки на примере ГПА-16 и ПАЭС-2500. Выполнены расчёты режимов работы ГТУ с отбором воздуха на обогрев первых ступеней компрессора, а также проведена оценка эффективности внедрения многоступенчатого теплового насоса на КВОУ. Выполнены расчёты отводимого тепла с системы смазочного масла ГТУ АИ-20ДКЭ, входящей в состав когенерационной установки ПАЭС-2500, а также проведена оценка эффективности внедрения многоступенчатого теплового насоса для замены штатной системы охлаждения смазочного масла.

В четвертой главе представлено описание математической модели переохладителя на базе программного комплекса вычислительной гидродинамики ANSYS CFX и задействованной в работе экспериментальной установки с трехступенчатым тепловым насосом, сравнение моделирования и эксперимента с подтверждением зависимости удельной энтальпии переохлаждения от соотношения водяных эквивалентов теплоносителя.

В Заключении автор приводит основные результаты и выводы по диссертационной работе.

9. Замечания по работе

9.1 В первой главе излишнее внимание уделено промышленному потенциалу Крайнего Севера, с описанием объемов запасов и добычи полезных ископаемых, мест их расположения, состояния и использования. А задачи исследования, поставленные автором, упомянуты в первой главе вскользь, без объемного описания возможной ведущей роли когенерационных установок малой и средней мощности в распределенной энергетике Крайнего Севера и возможности повышения их эффективности за счет использований тепловых насосных установок.

9.2 Во второй главе приведена оценка эффективности теплового насоса на основе расчета эксергетических потерь в трехступенчатой ТНУ, но результаты базируются на не приведенных в тексте диссертации числовых исходных данных расчета. То же касается расчета гидравлических и термодинамических потерь в переохладителе, например, технические характеристики змеевика приведены не в начале расчета, где указаны исходные данные, что затрудняет анализ поставленных условий.

9.3 В третьей главе приведена оценка эффективности применения ТНУ для ПАЭС-2500 и ГПА-16. В первом случае произведена оценка влияния многоступенчатой ТНУ на экономическую эффективность путем сравнения расхода условного топлива, а во втором случае оценка базируется только на определении приращения коэффициента трансформации коэффициента преобразования COP для ТНУ, без оценки получаемой экономической эффективности для установки ГПА-16.

9.4 В четвертой главе не указан тип фреона, который применялся при моделировании течения фреона в змеевике.

9.5 Имеются замечания по оформлению работы: по тексту многие аббревиатуры не расшифрованы, есть опечатки и в главах 3 и 4 непонятна размерность удельного теплового потока.

Сделанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

10. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Содержание диссертации соответствует заявленной области исследований и следующим пунктам паспорта научной специальности 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели:

п.1. – Разработка научных основ и экспериментальные исследования термодинамических, механических, тепло- и массообменных, физикохимических, гидрогазодинамических процессов в турбомашинах и поршневых двигателях, исследования общих свойств и принципов функционирования отдельных систем, элементов, вспомогательного оборудования турбомашин и поршневых двигателей.

п.2 – Разработка физико-математических моделей, пакетов прикладных программ, цифровых двойников, методов экспериментальных исследований, теоретические и экспериментальные исследования с целью повышения эффективности, надежности и экологичности рабочих процессов турбомашин, поршневых двигателей, их систем и вспомогательного оборудования в составе объектов применения;

п. 4 – Совершенствование систем управления, регулирования, мониторинга технического состояния, диагностирования и контроля показателей функционирования турбомашин, поршневых двигателей, их систем и вспомогательного оборудования.

11. Заключение

Диссертация Лапина Михаила Владимировича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную автором на высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, выводы и

заклучения обоснованы. Основные результаты работы в полной мере отражены в автореферате и публикациях автора.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, согласно п.2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), утвержденного Ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024г., а её автор, Лапин Михаил Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7 – «Турбомашины и поршневые двигатели».

Отзыв составил главный научный сотрудник ИЭВТ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», доктор технических наук, 11 декабря 2025г., Медников Алексей Феликсович.

Официальный
оппонент



Алексей Феликсович Медников

11.12.2025

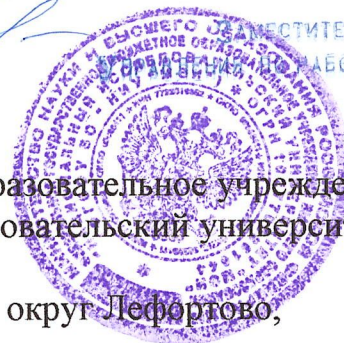
Справочные данные:

Медников Алексей Феликсович, доктор технических наук (2.4.7), доцент, главный научный сотрудник Института энергоэффективности и водородных технологий (ИЭВТ) ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

Тел.: +7 (495) 362-75-78, E-mail: MednikovAlF@mpei.ru

Подпись А.Ф. Медникова заверяю:



НАЧАЛЬНИКА
РАБОТЫ С ПЕРСОНАЛОМ
И.И. ПОСЛЕВАЯ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»)

111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

тел. +7 (495) 362-70-01, mpei.ru, universe@mpei.ac.ru