

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ПДС 2022.013
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА
ЛУМУМБЫ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.12.2025 г., протокол № 9

О присуждении Лапину Михаилу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Применение многоступенчатой тепловой насосной установки для повышения эффективности когенерационной газотурбинной установки малой мощности в условиях Крайнего Севера» по специальности 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели» в виде рукописи принята к защите 26.11.2025г., протокол №4 диссертационным советом ПДС 2022.013 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.; приказ от 24.07.2022 года № 416).

Лапин Михаил Владимирович, 1996 года рождения, гражданин РФ, в 2020 году окончил магистратуру РУДН по направлению подготовки 13.04.03 «Энергетическое машиностроение», в 2024 году окончил аспирантуру РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению, соответствующему научной специальности 2.4.7. «Турбомашины и

поршневые двигатели», по которой подготовлена диссертация.

В период подготовки диссертации соискатель работал на ТЭЦ-20 ПАО «Мосэнерго» машинистом энергоблока. С 08.10.2025 и по настоящее время работает ассистентом кафедры энергетического машиностроения инженерной академии РУДН.

Диссертация выполнена на кафедре энергетического машиностроения Инженерной академии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель:

– Антипов Юрий Александрович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры нанотехнологий и микросистемной техники инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) (в настоящее время находится на пенсии).

Официальные оппоненты:

– Култышев Алексей Юрьевич, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук (2.4.7. - Турбомашины и поршневые двигатели), президент компании ООО «Турбосервис Рус»;

– Медников Алексей Феликсович, гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук (2.4.7. - Турбомашины и поршневые двигатели), доцент, главный научный сотрудник Института энергоэффективности и водородных технологий (ИЭВТ) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский институт «МЭИ»;

– Борисов Юрий Александрович, гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук (05.04.06 - Вакуумная, компрессорная техника и пневмосистемы), Заведующий лабораторией №10.1 «Газотурбинных технологий» ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)».

дали положительные отзывы о диссертации.

В отзывах официальных оппонентов указано, что диссертация Лапина Михаила Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи, имеющей существенное значение для турбомашиностроения.

Соискатель имеет 5 опубликованных работ, все по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 5 работ, из них опубликовано: в рецензируемых изданиях из Перечня ВАК РФ – 1, в перечне РУДН – 1, а также 1 патент и 2 зарегистрированные программы для ЭВМ.

Авторский вклад 85,75 %.

Наиболее значимые публикации:

1. Особенности моделирования высокоэффективной многоступенчатой парокompрессионной теплонасосной установки / Ю. А. Антипов, И. И. Шаталова, К. В. Шкарин, **М. В. Лапин** [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 339-347. – DOI 10.22363/2312-8143-2021-22-4-339-347. – EDN IVVXEP.
2. Модернизация газотурбинной установки для привода газоперекачивающего агрегата / **М. В. Лапин**, Ю. А. Антипов, К. В. Шкарин, К. Сури // Электрические станции. – 2025. – № 6(1127). – С. 2-8.
3. Патент № 2798044 С1 Российская Федерация, МПК F04B 39/02, F25B 30/02. Устройство подачи масла в компрессоры многоступенчатого теплового насоса : № 2022135390 : заявл. 30.12.2022: опубл. 14.06.2023 / К. В. Шкарин, Ю. А. Антипов, Д. А. Соколов, **М. В. Лапин**. – EDN OCYGFSC.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025619149 Российская Федерация. Программа для расчета параметров многоступенчатой парокompрессионной теплонасосной установки с частичным отбором хладагента : заявл. 02.04.2025 : опубл. 14.04.2025 / **М. В. Лапин**, К. В. Шкарин. – EDN JMVXEC.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025660205 Российская Федерация. Программа для расчета параметров многоступенчатой парокомпрессионной теплонасосной установки с частичным отбором хладагента с разделённым переохладителем : заявл. 08.04.2025 : опубл. 22.04.2025 / **М. В. Лапин**, К. В. Шкарин. – EDN FFPQQG.

На автореферат диссертации поступили положительные отзывы:

1. Лазарев Евгений Анатольевич, гражданин РФ, доктор технических наук (05.04.02 – «Теплые двигатели»), профессор, профессор-эксперт Передовой инженерной школы двигателестроения и специальной техники «Сердце Урала» Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

Замечания:

- при формулировке научной новизны не полно отражены отличительные стороны разработанной математической модели переохладителя, в частности влияния режима работы;
- к сожалению, в работе не расшифровано понятие «малой мощности», не приведены абсолютные ее значения, а также уровни удельного расхода топлива и эффективного КПД исследуемой газоперекачивающей установки, а лишь оцениваются изменения указанных показателей, кроме того не обоснован выбор режимов ее работы;
- в структуре рассматриваемого энергетического агрегата с интегрированной установкой не отражены обслуживающие системы, а также не упоминается доля затрат мощности на их функционирование.

2. Маслов Игорь Николаевич, гражданин РФ, кандидат технических наук (11.00.11 – «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»), доцент, доцент кафедры «Энергетическое

машиностроение», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Замечания:

- не представлено описание экспериментального стенда трёхступенчатой теплонасосной установки;
- насколько будут эффективны другие хладагенты при использовании в теплонасосных установках разработанного типа.

3. Зверьев Евгений Михайлович, гражданин РФ, доктор технических наук (2.1.1. – «Строительные конструкции, здания и сооружения»), профессор, главный специалист Центрального института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко.

Замечания:

- не достаточно подробно изложено описание экспериментальной установки;
- вызывает сомнение целесообразность использования в экспериментальной установке теплообменников пластинчатого типа.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией, наличием научных трудов и публикаций, соответствующих теме оппонируемой диссертации.

Обоснованность выбора оппонентов:

Култышев Алексей Юрьевич является крупным специалистом в области турбиностроения. В частности, в сфере его научных интересов находится вопрос эксплуатации и проектирования газотурбинных установок малой мощности для привода генераторов и газоперекачивающих агрегатов, что

является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации по тематике диссертационного исследования:

1. Култышев, А. Ю. Модульная конструкция паровых турбин / А. Ю. Култышев // Надежность и безопасность энергетики. – 2023. – Т.16, № 3. – С. 167-175. – DOI 10.24223/1999-5555-2023-16-3-167-175. – EDN MNHYOA.
2. Разработка современного газотурбинного двигателя мощностью 16 МВт для привода газоперекачивающих агрегатов / С. Г. Максимовский, А. Ю. Култышев, И. Ю. Кляйнрок, К. О. Гилев // Газовая промышленность. – 2024. – № 1(860). – С. 68-71. – EDN WZNCNA.
3. Зуева, Ю. В. Опыт эксплуатации газоперекачивающих агрегатов ГПА-32 «Ладога» / Ю. В. Зуева, И. Ю. Кляйнрок, А. Ю. Култышев // Турбины и дизели. – 2023. – № 4(109). – С. 32-37. – EDN WHPVNR.
4. Разработка унифицированной линейки дожимных компрессорных установок для парогазовых энергоблоков / К. О. Гилев, И. Ю. Кляйнрок, А. Ю. Култышев, А. В. Скороходов // Надежность и безопасность энергетики. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 97-102. – DOI 10.24223/1999-5555-2023-16-2-97-102. – EDN KQEYPW.
5. Аксенов, А. Н. Сравнительный анализ расчета термодинамических циклов приводных газотурбинных двигателей / А. Н. Аксенов, А. Ю. Култышев, Л. А. Пульдас // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2022. – Т. 8, № 2(30). – С. 10-31. – DOI 10.21684/2411-7978-2022-8-2-10-31. – EDN KRVCEM.

Медников Алексей Феликсович является крупным специалистом в области паровых и газовых турбин. В частности, в сфере его научных интересов находится вопрос надежности, износостойкости турбин, а также

изучение вопросов теплообмена в энергетических установках, что является важными аспектами диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации по тематике диссертационного исследования:

1. On the formation of thermal barrier coatings by magnetron sputtering / G. Kachalin, K. Medvedev, A. Mednikov [et al.] // Frontier materials & technologies. – 2024. – №. 4. – P.51-61. DOI 10.18323/2782-4039-2024-4-70-5. – CC BY 4.0.

2. Обзор современных способов формирования термобарьерных покрытий / А.Ф. Медников, Медведев К.С., Качалин Г.В. и др. // Глобальная энергия. – 2023. – Т.29, №4. – С. 132-148. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29409>.

3. Results of Full-Scale Studies of Corrosion and Abrasive Resistance of Ion-Plasma Coating Formed on Samples of Pipe Heating Surfaces of a Biofuel Boiler / A. V. Ryzhenkov, A. F. Mednikov, S. V. Grigoriev [et al.] // Thermal Engineering. – 2023. – Vol. 70, No. 10. – P. 751-759. – DOI 10.1134/s0040601523100087. – EDN NRKOCI.

4. Study of stress state changes in steel with ti-tic-dlc coating under high speed droplet impact / A. Mednikov, A. Ryzhenkov, O. Zilova, [et al.] // Tribology International. – 2022. – Т. 173. – P. 107626. – DOI 10.1016/j.triboint.2022.107626.

5. Evaluation of Internal Stresses in Modified Near-Surface Layer of 20Kh13 Steel during Incubation Period of Water Droplet Impact Erosion / A. Mednikov, O. Zilova, A. Tkhabisimov [et al.] // Energies. – 2022. – Vol. 15, No. 23. – P. 9229. – DOI 10.3390/en15239229. – EDN FVYEGU.

Борисов Юрий Александрович является крупным специалистом в области исследования различных схем утилизации тепла и разработок газотурбинных установок малой мощности. В частности, в его научные интересы входит разработка газотурбинных установок малой мощности для автономных изолированных объектов, а также изучение вопросов

теплообменных аппаратов энергетических установок, что является одними из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации по тематике диссертационного исследования:

1. Анализ влияния параметров на эффективность термодинамического цикла бескомпрессорной парогазовой установки / М.В. Синкевич, Э.Р. Рамазанов, Ю.А. Борисов [и др.] // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Т. 59 №5. – С. 707-714. – DOI 10.31857/S0040364421040190.
2. Калашников, Д. А. Комбинированный метод расчета среднерасходной центробежной компрессорной ступени / Д. А. Калашников, Ю. А. Борисов, А. В. Чернышев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 2(743). – С. 53-64. – DOI 10.18698/0536-1044-2022-2-53-64.
3. Experimental Study of Antifriction Coating “Modengy 1006” Operating Capacity for Micro Gas Turbine Unit Blade Gas Dynamic Bearings / V.V. Volkov-Muzylev, Yu.A. Borisov, V.N. Beschastnykh // Chemical and Petroleum Engineering. – 2022. – Vol. 58, No. 7-8. – P. 600-605. – DOI 10.1007/s10556-023-01135-2.
4. Калашников, Д. А. Профилирование в радиальной плоскости рабочего колеса центробежного компрессора по закону линейного изменения газодинамических параметров по длине проточной части / Д. А. Калашников, Ю. А. Борисов, А. В. Чернышев // Компрессорная техника и пневматика. – 2022. – № 3. – С. 12-18.
5. Исследование путей совершенствования рекуперативного цикла ГТУ средствами эксергетического анализа / А.А. Косой, Ю.А. Борисов, М.В. Синкевич, Э.Р. Рамазанов, Л.Е. Вендланд // Вестник Объединенного института высоких температур. – 2023. – Т. 12, №. 4. – С. 30-39.
6. Mathematical model and investigation of a 300 MW cogeneration power plant based on the JИТ cycle operating under partial load conditions / M.V.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработан метод расчёта оптимальных соотношений расходов хладагента и источника высокопотенциальной теплоты по ступеням.
2. Проведено уточнение параметров переохладения хладагента в методе расчета основных параметров ТНУ.
3. Разработана математическая модель переохладителя многоступенчатой ТНУ на базе средств вычислительной гидродинамики с учетом гидравлических и термодинамических потерь.
4. Определены зависимости COP от распределения степени нагрева по ступеням ТНУ.
5. Проведена оценка повышения эффективности использования топлива когенерационных ГТУ малой мощности на основе использования многоступенчатых теплонасосных установок.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. С использованием разработанного метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням и совмещенным переохладителем первой ступени **доказана** возможность повышения эффективности использования первичного топлива до 5,6% на основе использования многоступенчатых ТНУ в утилизационных схемах с ГТУ малой мощности, работающей в составе ГПА-16 в условиях Крайнего Севера.
2. **Применительно к проблематике диссертации результативно использованы** теория гидродинамики, теория термодинамики, теория теплообмена, численные методы и диаграммы состояния рабочего тела при

условии фазового равновесия, а также расчетно-экспериментальная методика исследования влияния параметров основных элементов тепловой насосной установки на величину удельной энтальпии переохлаждения при изменении режимов движения хладагента и источника высокопотенциальной теплоты.

3. Изложены:

- метод расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням и совмещенным переохладителем первой ступени;

- условия определения параметров основных элементов тепловой насосной установки и оптимальных расходов рабочего тела для каждой ступени ТНУ на основании экспериментальных данных;

- доказательства зависимости влияния режима движения хладагента и источника высокопотенциальной теплоты на величину удельной энтальпии переохлаждения тепловой насосной установки.

4. Раскрыты особенности конструкции многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням, влияющие на коэффициент преобразования.

5. Изучено влияние режима движения хладагента и источника высокопотенциальной теплоты на величину гидравлических и термодинамических потерь в процессе переохлаждения на коэффициент преобразования ТНУ.

6. Проведена модернизация алгоритмов, обеспечивающих достоверность расчета теплового баланса многоступенчатой тепловой насосной установки с совмещенным переохладителем первой ступени и с учетом промежуточного отбора рабочего тела после конденсатора каждой ступени, кроме последней, с учетом оптимального расхода рабочего тела по ступеням.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. Разработанный метод расчёта оптимальных соотношений расходов

хладагента и источника высокопотенциальной теплоты по ступеням может быть применён для многоступенчатых схем тепловых насосов с совмещенным переохладителем рекуперативного типа.

2. Созданное программное обеспечение **позволяет** автоматизировать процесс расчета параметров многоступенчатых насосов, а также исключает человеческий фактор при определении температуры перегрева хладагента.

3. Разработанная математическая модель переохладителя многоступенчатой ТНУ на базе средств вычислительной гидродинамики ANSYS CFX с учетом гидравлических и термодинамических потерь **позволяет** определять значение удельной энтальпии переохлаждения.

4. **Определены** перспективы использования многоступенчатых ТНУ в качестве источника тепла для обогрева КБОУ ГТУ малой мощности, работающих в условиях Крайнего Севера.

5. **Создан** стенд с экспериментальной установкой, используемый для верификации метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки и программное обеспечение в среде графического программирования SCADA ZETVIEW, которое автоматизирует и ускоряет процесс подготовки исходных данных.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

1. Для экспериментальных работ получены результаты на сертифицированном оборудовании, с учетом выполненной калибровки показана воспроизводимость результатов исследования многоступенчатого ТНУ на различных режимах работы. Доказана возможность использования разработанного стенда для проведения исследований влияния конструктивных особенностей основных элементов ТНУ на значение коэффициента преобразования.

2. **Теоретические** исследования базируются на использовании теории гидродинамики, теории термодинамики, теории теплообмена и численных методов. Результаты, полученные при валидации расчётной модели

многоступенчатого ТНУ, согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации.

3. Идея базируется на теории гидродинамики и термодинамики, в частности термодинамических циклов работы тепловых насосов, и применении численных методов.

4. Используются опубликованные результаты экспериментальных и расчетных исследований по теме диссертации.

5. Установлено качественное совпадение результатов, полученных автором, с результатами, представленными в независимых источниках по теме исследования многоступенчатых ТНУ.

6. Используются современные методики сбора и обработки регистрируемых данных и современное измерительное оборудование.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки с объединенным переохладителем в целях достижения требуемого коэффициента преобразования в расширенном интервале граничных температур между низкопотенциальным и высокопотенциальным источниками теплоты для повышения эффективности работы газотурбинных установок малой мощности путем утилизации вторичных тепловых энергоресурсов;

- исследовании влияния режима движения хладагента и источника высокопотенциальной теплоты на величину удельной энтальпии переохладения тепловой насосной установки;

- разработке математической модели переохладителя рекуперативного типа многоступенчатой ТНУ на базе средств вычислительной гидродинамики ANSYS CFX с учетом гидравлических и термодинамических потерь;

- разработке программного обеспечения для автоматизации процесса расчета параметров многоступенчатых насосов, позволяющее также исключить человеческий фактор при определении температуры перегрева

хладагента;

- получении опытных результатов, подтверждающих расчётный максимальное значение удельной энтальпии переохлаждения тепловой насосной установки при оптимальном соотношении расходов хладагента и источника высокопотенциальной теплоты;

- создании экспериментальной установки трёхступенчатого теплового насоса, в которой были реализованы такие новые технические решения, как:

- возможность изменяемого контролируемого частичного отбора рабочего тела по ступеням;
- регулируемая частота вращения компрессорных агрегатов;
- система визуального контроля процесса промежуточного отбора рабочего тела;
- пассивная саморегулирующаяся система подачи масла в компрессорные агрегаты многоступенчатой ТНУ;
- автоматизированная система контроля и управления данной экспериментальной установки на базе программного обеспечения ZetLAB и среды графического программирования ZETView с возможностью записи и контроля всех параметров работы установки в реальном времени;

- экспериментальных исследованиях, проведенных на созданной установке, подтверждающих выводы, полученные при расчетно-теоретическом анализе использования многоступенчатых ТН в утилизационных схемах с ГТУ малой мощности, работающих в условиях Крайнего Севера, что позволяет повысить эффективность использования первичного топлива на 5,6 %.

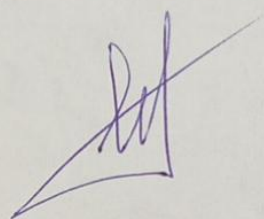
Заключение диссертационного совета подготовлено доктором технических наук, доцентом, старшим научным сотрудником НИУ МГСУ Корниловой Анной Владимировной; доктором технических наук, доцентом, доцентом кафедры техники и технологий транспорта инженерной академии РУДН Коноплёвым Владимиром Николаевичем; доктором технических наук,

доцентом, профессором кафедры машиностроительных технологий инженерной академии РУДН, Мальковой Марианной Юрьевной.

На заседании 27.12.2025 г. диссертационный совет принял решение присудить ученую степень кандидата технических наук Лапину Михаилу Владимировичу.

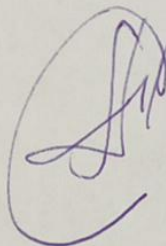
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета ПДС 2022.013



Ю.А. Радин

Ученый секретарь диссертационного
совета ПДС 2022.013
27.12.2025



С.В. Агасиева