

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук, Борисова Юрия Александровича

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 темы диссертации

Энергообеспечение отдаленных районов России, в частности Арктических и регионов Крайнего Севера, становится все актуальнее. В настоящее время проводится замена устаревших и модернизация существующих источников электрической и тепловой энергии, в том числе с применением альтернативных источников и углубленного использования вторичных энергоресурсов. Одной из важнейших задач развития энергетики РФ является повышение эффективности энергоустановок и сокращения расхода условного топлива.

Внедрение тепловых насосов в схемы с энергоустановками позволяет решить данную задачу. При этом, одним из способов достижения высоких значений эффективности энергоустановок с тепловыми насосами является оптимизация процесса переохлаждения в многоступенчатых схемах.

Таким образом, работа Лапина Михаила Владимировича, посвященная разработке метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки с последующей верификацией результатов на созданном в рамках работы испытательном стенде, является **актуальной**.

2. Достоверность и новизна результатов диссертации

Достоверность результатов диссертации подтверждается:

- корректной постановкой соискателем задач, использованием классической теории гидродинамики, термодинамики, теплообмена и применения методов численного моделирования;
- совпадением расчетных, экспериментальных данных, а также результатов численного моделирования коэффициента преобразования

теплонасосной установки с учетом гидравлических и термодинамических потерь;

- качественным совпадением расчетных, экспериментальных данных, а также результатов численного моделирования параметров коэффициента преобразования трехступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням с учетом гидравлических и термодинамических потерь для рабочего тела R 600A.

3. Научная новизна работы заключается в:

- разработке автором научно обоснованного метода расчёта оптимальных с точки зрения максимизации коэффициента преобразования соотношений расходов хладагента и источника высокопотенциальной теплоты, а также параметров переохлаждения хладагента многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням;

- разработке математической модели переохладителя многоступенчатой ТНУ на базе комплекса вычислительной гидродинамики ANSYS CFX с учетом гидравлических и термодинамических потерь.

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Проведенные автором исследования основываются на апробированных методах решения корректно поставленной цели и задач.

Достоверность выполненных исследований обеспечивается за счет верификации 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. Ценность для науки и практики результатов работы.

Ценность результатов работы для науки состоит в:

- разработке метода расчёта параметров тепловой насосной установки путем оптимизации режимов течения теплоносителя в процессе переохлаждения рабочего тела;

- оценке влияния расположения переохладителя в схеме теплового насоса и соотношения расходов теплоносителя и рабочего тела на эффективность работы теплового насоса.

Ценность результатов работы для практики состоит в:

- разработанном испытательном стенде с экспериментальной исследовательской установкой, используя который, автор выполнил верификацию метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки;

- программном обеспечении, разработанном для определения коэффициента преобразования.

6. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати.

Результаты диссертационного исследования, 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 изобретения и 2 зарегистрированные программы для ЭВМ. Также, неоднократно были представлены на всероссийских и международных конференциях.

7. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.

Содержание автореферата, объемом 24 страницы, в полной мере отображает содержание, научные результаты и выводы диссертации.

8. Структура диссертации и оценка ее содержания

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка литературы. Объем диссертации составляет 120 страниц основного текста, содержащего 33 таблицы и 50 рисунков, список литературы содержит 71 работу отечественных и зарубежных авторов.

Во введении автором описана проблематика и актуальность темы исследования, определены цели и задачи, а также указана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, определены положения, выносимые на защиту, представлена структура работы.

В первой главе автором выполнен обзор научной литературы по теме исследования. Приведена информация о состоянии энергообеспечения регионов Крайнего Севера. Отмечена тенденция замены энергоустановок с раздельным способом производства электрической и тепловой энергии на когенерационные, в частности газотурбинные установки. Рассмотрены подходы к повышению эффективности газотурбинных установок, путем более полной утилизации вторичных энергоресурсов при помощи теплонасосных

установок. Также отмечено, что процесс переохлаждения хладагента в теплонасосных установках недостаточно изучен.

Исходя из проведенного анализа определена цель диссертационной работы и сформулированы необходимые для ее достижения задачи.

Во второй главе проведен эксергетический анализ потерь многоступенчатой теплонасосной установки. Представлен метод расчета многоступенчатого теплового насоса с совмещенным переохладителем, установленном перед первой ступенью.

Определены зависимости гидравлических и термодинамических потерь в переохладителе от режимов течения рабочего тела и нагреваемого теплоносителя.

Третья глава посвящена расчету возможной величины повышения эффективности работы ГТУ малой мощности с применением многоступенчатой теплонасосной установки.

Автор представил расчет эффективности работы конвертированного ГТД ПС-90ГП-2, работающего в составе ГПА-16, повышенной за счет модернизации системы подогрева циклового воздуха. Модернизация предполагает замену штатной системы обогрева за счет отбора воздуха компрессора ГТУ на обогрев теплоносителем, нагреваемым в тепловом насосе.

В четвертой главе представлено описание экспериментальной установки с трехступенчатым тепловым насосом, представлены результаты эксперимента и сопоставлены с результатами расчетов. Отмечено хорошее совпадение результатов по разработанной методике расчета с результатами эксперимента.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертационном исследовании.

9. Замечания по работе.

1. В диссертации приводится расчёт параметров ТНУ, в том числе и источника высокопотенциального тепла, однако нигде не раскрывается какое конкретно вещество является таким источником.

2. В таблице 4.3 диссертации (таблица 4 автореферата) и контур источника высокопотенциального тепла и контур фреона обозначены как контур №.11.

3. В выводах к главе 2 диссертации не обобщены сведения о многоступенчатой теплонасосной установке рассматриваемой автором в разделе 2.6.

Отмеченные замечания не снижают высокий научный уровень работы.

10. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Содержание диссертации соответствует заявленной области исследований и следующим пунктам паспорта научной специальности 2.4.7. Турбомашин 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 «Применение многоступенчатой тепловой насосной установки для повышения эффективности когенерационной газотурбинной установки малой мощности в условиях Крайнего Севера» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную автором на высоком научном уровне. Результаты, полученные в ходе исследования, являются достоверными, выводы и заключения – обоснованными. 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», 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».

Официальный оппонент,

Заведующий лабораторией №10.1 «Газотурбинных технологий»

ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук», к.т.н. (05.04.06),

11.12.2025г.

Ю.А. Борисов

Подпись Ю.А. Борисова удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ОИВТ РАН

д.ф.-м.н.



А.Д. Киверин

Справочные данные:

Борисов Юрий Александрович, кандидат технических наук, Заведующий лабораторией №10.1 «Газотурбинные технологии» ФГБУН «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук» (ОИВТ РАН).

г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2, Тел. 8-903-500-14-01

e-mail: boricovyu@gmail.com