

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шкарина Кирилла Владимировича «Повышение эффективности газотурбинных установок путём использования вторичных энергоресурсов»

Тенденции развития современных газотурбинных установок направлены на повышение их энергетических и экологических показателей. Перспективным направлением повышения эффективности работы ГТУ является использование вторичных энергоресурсов, основанное на применении тепловых насосов, позволяющее утилизировать сбрасываемую теплоту различных источников низкопотенциальной тепловой энергии. Тема исследования согласуется с энергетической стратегией Российской Федерации. Использование эффективных теплонасосных установок помогает достичь высокого коэффициента преобразования в необходимых температурных границах, что расширяет область их применения и позволяет увеличить коэффициент использования тепла топлива.

Разработка ТНУ с повышенным коэффициентом преобразования, метода расчёта, проведение и анализ экспериментальных исследований многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням является актуальной.

Достоверность и новизна результатов диссертации обусловлена использованием классической теории термодинамики, теории теплообмена, применения численных методов, экспериментальным исследованием трехступенчатой теплонасосной установки, которое было выполнено автором с использованием разработанного им стенда, совпадением расчетных и экспериментальных данных коэффициента преобразования ТНУ. Научная новизна работы заключается в разработанном автором научно обоснованном методе расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням и определении её коэффициента преобразования.

Практическая значимость работы состоит в разработанном испытательном стенде с экспериментальной исследовательской установкой позволяющей наблюдать и регистрировать теплообменные процессы в двухфазных средах, на которой автор провел верификацию метода расчёта многоступенчатой ТНУ и программном обеспечении, разработанном для подготовки исходных данных.

По представленному автореферату необходимо сделать следующие замечания:

1. В приведенной методике расчета не учтены потери давления в проточной части теплообменных аппаратов.

2. В эксперименте использовалось только одно рабочее тело R600A; не рассмотрены другие перспективные хладагенты.

3. Не рассмотрено применение ТНУ на объектах малой энергетики, таких как изолированные или удаленные.

Указанное замечание не снижает положительной оценки работы. В целом диссертационная работа выполнена на достаточном научно-техническом уровне и 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-12 от 03.07.2023г., а её автор, Шкарин Кирилл Владимирович, **заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук** по специальности 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели.

Начальник службы автотранспорта и  
средств механизации  
ПАО «Россети Московский регион»

Пыталев Е.Н.

Московские высоковольтные сети – филиал ПАО «Россети Московский регион»  
107140, Москва, Улица Нижняя Красносельская д.6, стр.1

Подпись Пыталева Евгения Николаевича заверяю

*Николаевич ОК*  
*12.04.2024*



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Шкарина Кирилла Владимировича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Повышение эффективности газотурбинных установок путём использования вторичных энергоресурсов» (специальность 2.4.7. - Турбомашины и поршневые двигатели)

Актуальность темы научного исследования обоснована необходимостью максимального использования вторичных энергоресурсов газотурбинных установок (ГТУ) в целях повышения их эффективности. Это способствует улучшению экологичности и снижению удельного расхода топлива.

Использование теплонасосных установок (ТНУ) для утилизации сбрасываемой низкопотенциальной теплоты энергетических установок позволяет увеличить коэффициент использования тепла топлива.

Повышение коэффициента преобразования ТНУ является актуальной задачей, что способствует их использованию в системах горячего водоснабжения. Разработка метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки с верификацией на созданном испытательном стенде также является актуальной.

Научная новизна заключается в разработке научно обоснованного метода расчёта многоступенчатой ТНУ с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням и обосновании выбора оптимального количества ступеней.

Достоверность выполненных исследований обеспечивается за счет верификации используемого метода расчёта многоступенчатой ТНУ и качественным совпадением результатов определения коэффициента преобразования с экспериментальными значениями.

Практическая значимость работы состоит в разработанном испытательном стенде с экспериментальной исследовательской установкой, позволяющей провести верификацию метода расчёта многоступенчатой ТНУ, а также программном обеспечении.

Автореферат работы не лишён недостатков, к которым следует отнести:

1. В принципиальной схеме ТНУ на стр. 15 в переохладителях второй и третьей ступеней направление потока нагреваемого теплоносителя не является оптимальным.
2. Рисунок 1 на стр. 9 требует дополнительных пояснений.


Отмеченные недостатки не снижают научной ценности и практической полезности диссертации, которая, судя по автореферату, представляет

законченную работу, удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор рассматриваемой работы, Шкарин Кирилл Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7 - «Турбомашины и поршневые двигатели».

К.Т.Н.,

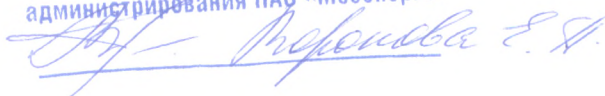
Терехов Дмитрий Владимирович

  
22.04.2024

ТЭЦ-26 филиал ПАО «Мосэнерго»  
Москва, Востряковский проезд, д. 10



Специалист управления кадрового администрирования ПАО «Мосэнерго»



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шкарина Кирилла Владимировича  
«Повышение эффективности газотурбинных установок путём использования  
вторичных энергоресурсов», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 2.4.7.  
«Турбомашины и поршневые двигатели»

Оценки эффективности применения теплонасосных установок (ТНУ) на парогазовых электростанциях показывают определенные перспективы развития таких проектов. Использование ТНУ на ТЭЦ с ПГУ приводит к возможности дополнительного отпуска тепловой мощности от энергоблока, при этом основным фактором, влияющим на технико-экономические показатели работы энергообъекта, является коэффициент преобразования ТНУ. Повышение коэффициента преобразования тепловых насосов является актуальной задачей, что способствует их применению в расширенных температурных границах и в свою очередь, позволяет увеличить коэффициент использования тепла топлива.

Научная новизна работы заключается в научно обоснованном методе расчёта многоступенчатой ТНУ, обосновании выбора оптимального количества ступеней для различных режимов работы. Созданная экспериментальная исследовательская трехступенчатая установка с промежуточным частичным отбором хладагента обладает практической значимостью.

Применяемая методология и методы исследования обоснованы. Степень достоверности исследования подтверждается анализом полученных экспериментальных данных и их сходимостью с расчетными исследованиями. Публикации раскрывают основные этапы диссертационного исследования.

Замечания по изложению автореферата:

На стр. 15 автореферата автор приводит принципиальную схему трехступенчатой теплонасосной установки. Однако не приводится обоснование выбора данной схемы, последовательность нагрева воды в теплообменниках переохладителей не является оптимальной.

Несмотря на указанное замечание, диссертация Шкарина К.В. на тему «Повышение эффективности газотурбинных установок путём использования вторичных энергоресурсов» является завершённой работой, выполненной на высоком научном уровне. Диссертация обладает научной новизной, практической значимостью и соответствует требованиям, установленным Положением 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-12 от 03.07.2023г.), а её автор, Шкарин Кирилл Владимирович, **достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук** по специальности 2.4.7. Турбмашины и поршневые двигатели.

к.ф.-м.н.

*Заев*  
03.05.2024.

Заев Иван Александрович

научный сотрудник,  
ООО «Кинтех Лаб»  
Москва, 3-я Хорошевская ул., д. 12

Подпись Заева И.А. заверяю



Генеральный директор  
ООО «Кинтех Лаб»  
Потапкин Б.В.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шкарина Кирилла Владимировича «Повышение эффективности газотурбинных установок путём использования вторичных энергоресурсов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели».

Диссертация Шкарина К.В. посвящена разработке метода повышения эффективности работы газотурбинных установок (ГТУ) путем утилизации вторичных тепловых энергоресурсов (ВЭР) с использованием многоступенчатых тепловых насосов. Исследования вопросов утилизации и использования теплоты источников тепловой энергии, имеющих температурный уровень, отличный от температурного уровня потребителя, важны при решении различных задач теплоснабжения. Применение тепловых насосов позволяет повысить температурный уровень теплоносителя, затратив работу. Однако при значительных разницах температур применение тепловых насосов становится неэффективным. Решаемая в диссертации задача разработки метода расчета многоступенчатых тепловых насосов дает возможность повысить эффективность преобразования теплоты в таких случаях, что позволяет считать работу **актуальной**.

**Научная новизна** работы заключается в разработанных методах расчёта многоступенчатой теплонасосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням и определении её коэффициента преобразования, обосновании и экспериментальной верификации метода определения оптимального количества ступеней теплонасосной установки для используемых температурных интервалов на различных режимах работы. Автором теоретически и экспериментально показана возможность повышения эффективности тепловых насосов с помощью увеличения числа ступеней при сильно меняющейся температуре теплоносителей.

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, а также программном обеспечении, разработанном для подготовки исходных данных, необходимых для определения коэффициента преобразования.

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

Автореферат работы не лишён недостатков, к которым следует отнести:

1. В автореферате на стр. 9 представлено графическое сопоставление T-S диаграмм многоступенчатого пароконденсационного цикла теплового насоса, имеющего фазовые переходы, с циклом Лоренца, приближение к которому используется как показатель эффективности. Цикл Лоренца относительно легко реализуем, а его эффективность ниже, чем у пароконденсационного цикла. Необходимость такого сопоставления и приближения к циклу Лоренца представляется некорректной.

2. Вопрос изменения температур теплоносителей рассмотрен достаточно подробно, однако не представлен анализ влияния перепада температур между

теплоносителями в испарителе и конденсаторах на эффективность теплового насоса.

3. Вопрос наличия источника теплоты для теплового насоса может быть критическим для той местности, где расположена такая тепловая станция.

4. В тексте можно встретить выражение подобное следующему: «в установках вырабатывается 1,5 раза больше теплоты, чем при полном сгорании газа». Такого рода выражения некорректны, так как описывают нарушение закона сохранения энергии.

5. В целом в автореферате присутствует некоторая небрежность оформления.

Отмеченные замечания не снижают высокий научный уровень работы, которая, судя по автореферату, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, выполненную автором на высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Основные результаты работы в полной мере отражены в автореферате и публикациях автора. Анализируемая работа по теоретическому уровню, а особенно по практической значимости, соответствует требованиям 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-12 от 03.07.2023г., а её автор, Шкарин Кирилл Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7 – «Турбомашины и поршневые двигатели».

Доцент кафедры Тепломассообменных процессов и установок ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ",  
к.т.н. (01.04.14)

 Пурдин Михаил Сергеевич  
24.04.2024.

### Справочные данные:

Пурдин Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Тепломассообменных процессов и установок Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ",  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1,  
тел.: 8 (495) 362-70-40, PurdinMS@mpei.ru.

Подпись доцента Пурдина М.С. заверяю:



 ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА  
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ  
Л.М. ПОЛЕВАЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ",  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1,  
тел. (495) 362-70-01, mpei.ru, universe@mpei.ac.ru.