

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, доцента Рогалева Андрея Николаевича на диссертационную работу 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 в диссертационный совет ПДС 2022.013 при ФГАОУ ВО «РУДН»

1. Актуальность темы диссертации.

Достижение высоких энергетических показателей современных энергоблоков с газотурбинными установками, работающими по парогазовому циклу, требующее как повышения электрической мощности, так и термического КПД привело к необходимости максимального использования вторичных тепловых энергоресурсов.

Надежные теория и методы расчета турбомашин, теплообменных аппаратов и вспомогательных систем, а также появление дополнительных производственных возможностей способствуют созданию новых теплоэнергетических установок с использованием энергосберегающих технологий. Применение теплонасосных установок для утилизации сбрасываемой низкопотенциальной теплоты энергоблоков способствует наиболее полному использованию вторичных энергоресурсов. Однако существующие теплонасосные установки ограничены температурным диапазоном их применения, в связи с падением коэффициента преобразования с увеличением интервала подъема температуры нагреваемой воды отопительных систем.

Использование многоступенчатых теплонасосных установок с промежуточным отбором хладагента по ступеням помогает достичь высокого коэффициента преобразования в требуемых граничных условиях рабочих температур и увеличить коэффициент использования тепла топлива.

Это делает разработку метода расчёта, проведение и анализ экспериментальных исследований многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням, с учетом особенностей работы данных установок весьма **актуальной**

2. Достоверность и новизна результатов диссертации.

Достоверность основных положений диссертации обусловлена:

- корректной постановкой соискателем задач исследования, использованием классической теории термодинамики, теории теплообмена и применением численных методов;

- качественным совпадением расчетных и экспериментальных данных коэффициента преобразования теплонасосной установки в зависимости от распределения расхода рабочего тела по ступеням и режимов работы тепловой насосной установки;

- проведенной верификацией метода расчета коэффициента преобразования многоступенчатой тепловой насосной установки по экспериментальным данным, полученным автором с использованием разработанного им стенда.

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;

- определении оптимальных расходов рабочего тела для каждой ступени тепловой насосной установки на основе зависимостей, полученных по результатам экспериментальных данных;

- обосновании оптимального количества ступеней тепловой насосной установки для используемых температурных интервалов на различных режимах работы с последующей экспериментальной верификацией на разработанном автором испытательном стенде.

Сформулированные автором выводы и рекомендации, на основании полученных результатов исследования, конкретизируют подход к применению

многоступенчатых тепловых насосных установок с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням, с учетом особенностей их конструкции.

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

Выполненные автором исследования основываются на апробированных методах решения, корректно поставленной цели и задачах.

Достоверность проведенных исследований обеспечивается за счет верификации используемого метода расчёта многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням, а также качественным совпадением результатов определения коэффициента преобразования с полученными экспериментальными значениями.

4. Ценность для науки и практики результатов работы.

Ценность полученных в работе автором результатов для науки состоит в создании расчетно-экспериментального метода определения параметров основных элементов тепловой насосной установки с учетом оптимальных расходов рабочего тела для каждой ступени, а также их влияния на коэффициент преобразования при изменении разницы температур между источниками теплоты различных потенциалов.

Выполненное исследование проведено с использованием созданного автором метода расчета многоступенчатой тепловой насосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням, позволившее повысить эффективность сжигания в камерах сгорания газотурбинных установок первичного топлива до 15% при выработке тепловой и электрической энергии за счет использования многоступенчатых теплонасосных установок, что представляет научную ценность.

Значимость результатов работы для практики заключается в разработанном автором испытательном стенде, используемом для верификации метода расчета многоступенчатой теплонасосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням и определения оптимального количества ступеней с учетом параметров их основных элементов.

Метод расчета с многоступенчатой тепловой насосной установкой, был защищен патентом, а на используемую в экспериментальном стенде систему смазки компрессорных агрегатов также получен патент на изобретение.

5. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати.

Основные положения диссертации Шкарина К.В., в необходимом объеме, изложены в 16 научных изданиях, из которых 1 работа опубликована в рецензируемых изданиях из Перечня ВАК РФ, 3 работы опубликованы в изданиях рецензируемых в международной базе цитирования Scopus, 5 работ опубликовано в изданиях из Перечня РUDN, получены 4 патента на изобретения. Результаты диссертационного исследования неоднократно проходили апробацию на всероссийских и международных конференциях.

6. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.

Содержание автореферата, объемом 23 страницы, в полной мере отображает содержание, научные результаты и выводы диссертации.

7. Структура диссертации и оценка ее содержания

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка литературы. Объем диссертации составляет 141 страницу, содержит 20 таблиц и 50 рисунков, список литературы содержит 113 работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении соискателем описана проблематика и актуальность темы диссертационной работы. Сформулированы положения научной новизны, выносимые на защиту, теоретическая и практической значимости исследования. Определены методология и методы исследования, а также приведены научные положения, обуславливающие степень достоверности полученных результатов.

В первой главе приведен анализ известных подходов и способов повышения эффективности газотурбинных установок с использованием вторичных энергоресурсов различными методами. Рассмотрено применение тепловых насосов

в различных утилизационных схемах с газотурбинными установками, в том числе и когенерационных.

На основании проведенного автором обзора в диссертации сформулированы цель исследования и задачи, направленные на ее достижение.

Во второй главе автор рассматривает различные термодинамические циклы тепловых насосов. В рамках главы автором описана методика расчета компрессорной многоступенчатой теплонасосной установки. На основании приведенной методики определяется влияние количества ступеней теплового насоса на коэффициент преобразования при изменении разницы температур между источниками теплоты.

Определяется относительный прирост коэффициента преобразования теплового насоса в зависимости от количества ступеней.

Третья глава посвящена расчету повышения эффективности теплофикации с применением многоступенчатой теплонасосной установки совместно с газотурбинными установками. Показано, что увеличение числа ступеней прямо влияет на увеличение коэффициента трансформации теплоты и количества получаемой теплоты.

Утилизация теплоты вторичных энергоресурсов с использованием многоступенчатой теплонасосной установки с различными вариантами количества ступеней рассматривается на примере замкнутого контура охлаждения оборудования энергоблока ПГУ-420Т, где всё тепло через теплообменники отводится в систему циркуляционного водоснабжения и сбрасывается через градирню в окружающую среду. Вторичны энергоресурсы от дымовых газов, в силу обозначенных рисков, не используются.

В четвертой главе описана спроектированная и созданная автором экспериментальная исследовательская трёхступенчатая теплонасосная установка, с возможностью регулировки, контроля и визуализации процесса частичного отбора рабочего тела по ступеням.

В системе контроля и управления экспериментальной установки автор использовал современное программное обеспечение ZetLAB и SCADA ZETVIEW.

SCADA ZETVIEW позволила построить математическую модель измерительного комплекса мониторинга и управления испытательного стенда, осуществлять контроль работы установки в реальном времени и непрерывную фиксацию всех параметров.

Экспериментальные исследования работы трехступенчатой тепловой насосной установки с частичным отбором рабочего тела по ступеням на различных режимах подтвердили теоретические зависимости коэффициента преобразования многоступенчатой теплонасосной установки с промежуточным отбором рабочего тела по ступеням от разности температур потребителя и низкопотенциального источника теплоты.

8. Замечания по работе.

1. В первой главе автором проведен анализ газотурбинных установок, нашедших применение в энергетике. Анализ выполнен для ограниченного количества газотурбинных установок, в основном, конверсионного типа, которые широкого применения в энергетике не нашли. Стоило бы обратить внимание на парогазовые блоки, которые в энергетике России получили широкое применение.

2. В результате анализа автор приходит к выводу, что ГТУ-ТЭЦ широко используются для целей теплоснабжения, при этом в работе количественные оценки по установленной мощности таких установок отсутствуют. Было бы полезно оценить долю установленной мощности ГТУ-ТЭЦ в общей установленной мощности ТЭЦ России.

3. В работе присутствует вывод о возможности сокращения затрат на сооружение тепловых сетей за счет увеличения температуры прямой сетевой воды, которая может быть достигнута на ГТУ-ТЭЦ, т.к. температура уходящих газов ГТУ выше, чем температура греющего пара в теплофикационных отборах паровых турбин. При этом предложения по температурному графику теплосети автором не представлены. В связи с этим такой вывод выглядит недостаточно обоснованным.

4. Было бы полезно выполнить анализ практики применения тепловых насосов на электростанциях с паросиловыми и парогазовыми установками, привести технологические схемы и достигнутый уровень тепловой эффективности.

5. В рамках анализа литературы автором отмечено, что наиболее значимым источником сбросной теплоты является охлаждающая вода конденсаторов паровых турбин. Неясно почему этот источник низкопотенциального тепла не был рассмотрен в дальнейших расчетах применительно к ПГУ-420.

6. В работе автором рассмотрен частный случай подогрева сетевой воды с применением теплового насоса с 32.6°C до 75°C. Из работы не ясно, какова продолжительность работы теплофикационной установки при таких параметрах, в связи с чем выбор указанного режима требует дополнительного пояснения.

7. По оценкам автора подогрев сетевой воды перед теплофикационной установкой за счет использования теплового насоса приводит к повышению эффективности производства электроэнергии. Такой вывод является не вполне очевидным, т.к. рост температуры обратной сетевой воды приведет к снижению расхода пара в теплофикационный отбор, увеличению потерь в конденсаторе паровой турбины, что будет снижать тепловую экономичность.

9. В работе отмечено, что применение тепловых насосов для теплоснабжения обеспечивает сокращение капитальных затрат в 4 раза по сравнению с ТЭЦ, при этом пояснения за счет чего такое сокращение затрат может быть достигнуто в работе отсутствует. Столь значимая экономия на капитальных затратах должна была привести к широкому применению тепловых насосов, но этого пока не произошло. Это обстоятельство требует дополнительного пояснения.

10. В предлагаемой методике расчета ТНУ первым шагом является задание количества ступеней ТН, которое, как утверждает автор, зависит от срока окупаемости. Рекомендаций по выбору количества ступеней ТН для различных сроков окупаемости в работе отсутствуют, что затрудняет использование методики.

Несмотря на указанные недостатки, работа представляет собой законченное исследование, а ее результаты обладают научной новизной и практической ценностью.

9. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

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

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;

3 – Экспериментальные исследования и физико-математическое моделирование динамики, напряженно-деформированного состояния, прочности и разрушения материалов, узлов и механизмов, их надежности, режимов работы турбомашин, поршневых двигателей, их систем и вспомогательного оборудования.

10. Заключение

Диссертация Шкарина Кирилла Владимировича «Повышение эффективности газотурбинных установок путём использования вторичных энергоресурсов» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, 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. 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-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.

Отзыв подготовил заведующий кафедрой инновационных технологий наукоемких отраслей Института энергоэффективности и водородных технологий ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» д.т.н. (2.4.5.), доцент Рогалев Андрей Николаевич.

Официальный оппонент

Рогалев
16.04.2024.

Рогалев Андрей Николаевич

Согласен



ПОДПИСАТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
РАБОТЫ В ПЕРЕВАЛАХ
Л.И. ПОЛЕВАЯ

Справочные данные:

Рогалев Андрей Николаевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инновационных технологий наукоемких отраслей Института энергоэффективности и водородных технологий 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, Email: RogalevAN@mpei.ru

«Национальный исследовательский университет «МЭИ» 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1,

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