

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
и инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «Южно-Российский
государственный политехнический
университет (НПИ) имени
М.И. Платова»,
кандидат технических наук, доцент
Пузин Владимир Сергеевич



2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Диссертация «Совершенствование циклов паротурбинных установок энергокомплексов малой мощности путем замещения конденсации пара на его абсорбцию» **выполнена на кафедре** «Тепловые электрические станции и теплотехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова».

В период подготовки диссертации соискатель Добрыднев Денис Владимирович **обучался** в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (с 01.09.2020 г. по 31.08.2024 г.), **работал в** Муниципальном унитарном предприятии «Новочеркасские тепловые сети» в должности инженера по ремонту в производственно-техническом отделе (с 25.03.2019 г. по 03.07.2020 г.), ООО «ИНГЕНИУМ» в должности инженера по продажам оборудования в отделе продаж (с 31.08.2020 г. по настоящее время), по совместительству в ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» в должности техника кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» (с 01.06.2022 г. по 30.12.2022 г., с 12.04.2023 г. по 29.12.2023 г.) ассистента кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» (с 01.10.2024 г. по настоящее время).

В 2020 г. окончил магистратуру федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника (профиль подготовки – «Тепловые электрические станции»).

В 2024 г. окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника (направленность (профиль) образовательной программы – «Энергетические системы и комплексы»).

Научный руководитель – Папин Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Цель и актуальность работы

Энергосбережение является одним из приоритетных направлений развития промышленности и энергетики России, что установлено, в том числе, на законодательном уровне. Одним из наиболее распространенных технических решений в данном направлении является полезное использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) путем утилизации сбросной теплоты технологических и энергетических установок. Интерес к данному решению обусловлен возможностью организации предприятиями собственной генерации, что особенно актуально с учетом ежегодного повышения стоимости электроэнергии и технологического присоединения к сетям. Ввиду значительного количества тепловых источников низкого и среднего температурного потенциала распространение получили энергетические комплексы малой мощности для утилизации ВЭР в диапазоне температур 100-300°C.

Среди технологий, обеспечивающих выработку электрической энергии посредством утилизации сбросной теплоты, значительное распространение получили паротурбинные установки (ПТУ) на базе цикла Ренкина. В зависимости от температуры источника теплоты в качестве рабочего тела могут выступать вода или органические вещества и их смеси. В то же время для ПТУ характерен высокий уровень тепловых потерь, обусловленных необратимостью основных процессов, а также снижение КПД цикла при снижении температуры источника теплоты, что в условиях утилизации ведет к еще большему снижению экономичности установки.

На основании вышесказанного, тема исследования, связанная с необходимостью совершенствования и повышения эффективности цикла Ренкина

паротурбинных установок малой мощности, работающих по циклу Ренкина в составе энергокомплексов для утилизации теплоты, является весьма актуальной.

Целью диссертационной работы «Совершенствование циклов паротурбинных установок энергокомплексов малой мощности путем замещения конденсации пара на его абсорбцию» является повышение энергетической эффективности паротурбинных установок малой мощности на базе цикла Ренкина, работающих при температурах пара перед турбиной 100-300°C в условиях утилизации теплоты, путем замещения конденсации отработавшего после турбины пара на процесс его абсорбции.

Тема диссертационной работы соответствует научному направлению ЮРГПУ (НПИ) «Развитие теории и практики создания интеллектуальных энергетических и электротехнических систем»; приоритетному направлению научно-технологического развития «Высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика», а также критической технологии «Технологии создания высокоэффективных систем генерации, распределения и хранения энергии (в том числе атомной)», утвержденных указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий».

Тема диссертации утверждена в 2020 г., в настоящей редакции – 12.12.2024 г. учёным советом энергетического факультета (протокол № 6.).

2. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в непосредственном выполнении всех этапов проведенных исследований, а именно: в анализе существующих технологий на базе цикла Ренкина, применяемых для утилизации теплоты энергетических и технологических установок; разработке модернизированного цикла Ренкина паротурбинных установок малой мощности, работающих в условиях утилизации теплоты, в котором конденсация отработавшего после турбины пара замещена на процесс абсорбции; анализе свойств рабочих веществ усовершенствованного цикла; разработке оптимизированных схемных решений с целью совершенствования энергетических и эксплуатационных характеристик цикла; разработке методики термодинамического и эксергетического анализа модернизированного цикла для водоаммиачного и бромистолитиевого раствора; проведении параметрического анализа модернизированного цикла и определении термодинамического и эксергетического совершенства разработанного решения в различных условиях работы и сравнении результатов с основными конкурирующими технологиями; выполнении технико-экономического анализа промышленной конденсационной электрической станции малой мощности на базе модернизированного цикла в сравнении с общепромышленным образцом и оценке срока окупаемости инвестиций; подготовке публикаций по теме исследования.

При выполнении диссертационных исследований Добрыдневым Д.В. лично получены следующие **результаты**:

1. Предложены научно-обоснованные технические решения в части совершенствования цикла Ренкина паротурбинных установок малой мощности, работающих в условиях утилизации теплоты при температурах пара перед турбиной 100-300°C, путем замещения конденсации отработавшего пара процессом его абсорбции, разработаны оптимизированные схемные решения цикла с целью совершенствования энергетических и эксплуатационных характеристик.

2. Разработана методика термодинамического и эксергетического анализа модернизированного цикла для водоаммиачного и бромистолитиевого раствора.

3. Проведен параметрический анализ модернизированного цикла и определение термодинамического и эксергетического совершенства разработанного решения в различных условиях работы и сравнение результатов с основными конкурирующими технологиями.

4. Выполнен технико-экономический анализ промышленной конденсационной электрической станции малой мощности на базе модернизированного цикла в сравнении с общепромышленным образцом и оценен срок окупаемости инвестиций.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований. Достоверность полученных результатов диссертационной работы обеспечивается применением апробированных методов расчетов, основанных на фундаментальных законах технической термодинамики, теории тепло- и массообмена, обоснованностью принятых в работе допущений, согласованностью полученных результатов в предельных случаях с опубликованными данными других авторов, публикациями результатов исследования в рецензируемых научных изданиях.

4. Научная новизна результатов проведенных исследований состоит в следующем:

1. Предложен способ повышения эффективности паросиловых энергоустановок малой мощности, за счет замещения процесса конденсации отработавшего после турбины пара на его абсорбцию путем совмещения паросилового цикла и цикла абсорбционного преобразователя теплоты. Выявлено, что в диапазоне температур пара перед турбиной 200-300°C модернизированный цикл Ренкина с бромистолитиевым раствором обеспечивает повышение энергетической эффективности по сравнению с циклом Ренкина на водяном паре в среднем на 4,1-9,1%, причем чем выше кратность циркуляции и концентрация слабого раствора, тем больше относительный прирост термического КПД. В диапазоне температур пара перед турбиной 100-200°C модернизированный цикл Ренкина с водоаммиачным раствором обеспечивает повышение энергетической эффективности по сравнению с органическим циклом Ренкина с рабочим телом

R142b в среднем на 11,3-21,5%, причем чем выше начальная температура пара, тем больше прирост термического КПД.

2. Разработана методика расчета паротурбинной установки, работающей по усовершенствованному циклу с абсорбцией пара с водоаммиачным и бромистолитиевым раствором, которая позволяет корректно определять концентрации рабочих потоков и термодинамические параметры с учетом особенностей функционирования термохимического насоса (контура абсорбтер-генератор пара).

5. Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке новых технических решений, обеспечивающих повышение эффективности работы паротурбинных установок малой мощности и дополнительную выработку электрической энергии в условиях утилизации теплоты низкого и среднего потенциала, за счет замещения конденсации отработавшего после турбины пара на процесс абсорбции в цикле Ренкина.

Разработанные технические решения, обеспечивающие повышение эффективности работы паротурбинных установок малой мощности, а также разработанные схемы утилизации вторичных энергетических ресурсов с целью выработки электроэнергии посредством паротурбинных установок были рассмотрены и приняты в качестве вариантов при реализации энергетических комплексов группы «РусГидро», что подтверждается актом внедрения.

Результаты исследования были внедрены в качестве возможных решений по оптимизации работы станции в программу модернизации Новочеркасской ГРЭС, что подтверждается актом внедрения.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» ЮРГПУ(НПИ) при чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплинам «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», «Энергосберегающие технологии при производстве электроэнергии и теплоты» у студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», при организации научно-исследовательской работы студентов, а также в виде учебного пособия.

6. Ценность научных работ соискателя заключается:

– в технических решениях, направленных на совершенствование цикла Ренкина паротурбинных установок малой мощности, работающих при температурах пара перед турбиной 100-300°C в условиях утилизации теплоты, путем включения в технологию процесса абсорбции пара, позволяющем повысить энергетическую эффективность паротурбинной установки в условиях утилизации теплоты;

– в разработанной методике термодинамического и эксергетического анализа модернизированного цикла, учитывающей особенности функционирования термохимического насоса, типы рабочих тел и различные схемные решения;

– в проведенном параметрическом анализе цикла и полученных графических зависимостях энергетической эффективности цикла в различных условиях и в сравнении с конкурирующими технологиями.

7. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

Основное содержание диссертационной работы и ее результаты полностью отражены в 12 публикациях автора объемом 11,35 п.л., авторский вклад – 2,26 п.л. (в том числе 6,85 п.л. с авторским вкладом 1,36 п.л. – научные публикации; 4,5 п.л. с авторским вкладом 0,9 п.л. – учебные пособия), из них 4 работы опубликованы в рецензируемых научных журналах по списку ВАК; 5 тезисов и полных текстов докладов конференций; 1 учебное пособие; получено 2 патента РФ на изобретение.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены:

– в работах, опубликованных в журналах из перечней рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Добрыднев, Д.В. Исследование влияния схемных решений на электрическую мощность турбоустановки модернизированного цикла Ренкина / Д.В. Добрыднев, В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Н.А. Ведмичев // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2024. – Т. 67, №2. – С. 108-123 (1,87 / 0,468 п. л.);

2. Добрыднев, Д.В. Расчет модернизированного цикла Ренкина с бромистолитиевым раствором в качестве рабочего тела / Д.В. Добрыднев, В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Н.Н. Ефимов, Е.М. Дьяконов, А.С. Шмаков // Теплоэнергетика. – 2024. – №2. – С. 3-14 (1,29 / 0,215 п. л.);

Переводная версия: Dobrydnev, D.V. Calculation of an Upgraded Rankine Cycle with Lithium Bromide Solution As a Working Flow / D.V. Dobrydnev, V.V. Papin, R.V. Bezuglov, N.N. Efimov, E.M. D'yakonov, A.S. Shmakov // Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 71, No. 2. – P. 97-107 (индексируется в наукометрических международных базах цитирования Scopus и Springler);

3. Папин, В.В. Анализ способов повышения эффективности абсорбционного и модернизированного паросилового цикла / В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Д.В. Добрыднев, Е.М. Дьяконов, А.С. Шмаков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2023. – Т. 23, №2. – С. 83-93. (1,32/0,264 п. л.);

4. Папин, В.В. Модернизированный паросиловой цикл, работающий по абсорбционному принципу / В.В. Папин, Н.Н. Ефимов, Д.В. Добрыдnev, Е.М. Дьяконов, Р.В. Безуглов, А.С. Шмаков // Промышленная энергетика. – 2022. – №1. – С. 18-27 (1,17/0,195 п. л.).

– в патентах РФ:

5. Пат. 2759583 С1 Российская Федерация, МПК F 01 К 25/08. Теплоэлектростанция и способ ее работы / Папин В.В., Безуглов Р.В., Дьяконов Е.М., Ефимов Н.Н., Янучок А.И., Добрыдnev Д.В. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» – № 2020134328 ; заявл. 19.10.2020; опубл. 15.11.2021. – 10 с.

6. Пат. 2787622 С1 Российская Федерация, МПК F 01 К 25/08. Теплоэлектростанция с системой регенерации и способ ее работы / Папин В.В., Безуглов Р.В., Добрыдnev Д.В., Шмаков А.С., Филимонов В.Р., Янучок А.И., Ведмичев Н.А. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» – № 2022120000 ; заявл. 21.07.2022; опубл. 11.01.2023. – 12 с.

Научные результаты диссертации также отражены в следующих научных изданиях:

7. Добрыдnev, Д.В. Исследование модернизированного паросилового цикла с бромистолитиевым раствором в качестве рабочего тела / Д.В. Добрыдnev, В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Е.М. Дьяконов, А.С. Шмаков // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXII Бенардосовские чтения): Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию теплоэнергетического факультета, Иваново, 31 мая – 02 июня 2023 года. Том 2. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – С. 425-431. (0,41/0,082 п. л.);

8. Папин, В.В. Оптимизация схемных решений модернизированного паросилового цикла / В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Е.М. Дьяконов, Д.В. Добрыдnev, А.С. Шмаков, М.Р. Марданов // Кибернетика энергетических систем: сборник материалов XLIV Международной научно-технической конференции, г. Новочеркасск, 8-10 ноября 2022 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2023. – С. 392-396. (0,29/0,048 п. л.);

9. Добрыдnev, Д.В. Этапы разработки модернизированного паросилового цикла / Д.В. Добрыдnev, В.В. Папин, Е.М. Дьяконов, Р.В. Безуглов, А.И. Янучок //

Студенческая научная весна – 2021: материалы региональной научно-технической конференции (конкурса научно-технических работ) студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Ростовской области, г. Новочеркасск, 13–14 мая 2021 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2021. – С. 106-108. (0,13/0,026 п. л.);

10. Дьяконов, Е.М. Рабочие вещества для предлагаемого способа работы паросилового цикла / Е.М. Дьяконов, В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Д.В. Добрыдnev, А.И. Янучок, Д.К. Мельниченко // Кибернетика энергетических систем : сборник материалов XLII Международной научно-технической конференции, г. Новочеркасск, 24-26 ноября 2020 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2020. – С. 284-286. (0,18/0,03 п. л.);

11. Дьяконов, Е.М. Способ повышения энергетической эффективности паросилового цикла / Е.М. Дьяконов, В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Д.В. Добрыдnev, А.С. Шмаков, Д.К. Мельниченко // Кибернетика энергетических систем : сборник материалов XLII Международной научно-технической конференции, г. Новочеркасск, 24-26 ноября 2020 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2020. – С. 287-290. (0,19/0,032 п. л.);

12. Папин, В.В. Повышение эффективности тепловых электрических станций путем применения абсорбции отработавшего пара : учебное пособие / В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Е.М. Дьяконов, В.А. Смолий, Д.В. Добрыдnev // Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2022. – 75 с. (4,5/0,9 п. л.).

Личный вклад соискателя в опубликованных в соавторстве работах состоит в [1] – разработке методики термодинамического анализа и основных схемных решений, проведение расчетов и оценка основных результатов; [2] – проведении анализа особенностей рабочего тела, разработке общей концепции модернизированного цикла Ренкина с бромистолитиевым раствором, выполнении расчетов; [3] – сопоставлении схемных решений сравниваемых технологий, проведении анализа методов их расчета и схемных решений; [4, 12] – формировании общей концепции в части совершенствования цикла Ренкина путем применения абсорбции пара, анализе методик расчет базовых технологий и особенностей рабочего тела; [5, 6] – формировании основных положений технического решения, разработке схемных решений; [7, 8, 9, 11] – выполнении исследований, направленных на оценку влияния абсорбции на эффективность паросилового цикла, формировании общих подходов к разработке модернизированного цикла Ренкина, выполнении расчетов; [10] – анализе свойств рабочих тел абсорбционных преобразователей теплоты, формировании подходов к выбору рабочих тел.

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на 4 всероссийских и международных конференциях, в том числе: Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XXII Бенардоссовские чтения), ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2023 г., г. Иваново; XLIV Международная научно-техническая конференция «Кибернетика энергетических систем», ЮРГПУ(НПИ), 2022 г., г. Новочеркасск; Региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Ростовской области Студенческая весна-2021, ЮРГПУ(НПИ), 2021 г., г. Новочеркасск; XLII Международная научно-техническая конференция «Кибернетика энергетических систем», ЮРГПУ(НПИ), 2020 г., г. Новочеркасск; научные семинары кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» ЮРГПУ (НПИ), г. Новочеркасск.

8. Научная специальность и отрасль наук, которым соответствует диссертация

Диссертационная работа Добрыднева Дениса Владимировича «Совершенствование циклов паротурбинных установок энергокомплексов малой мощности путем замещения конденсации пара на его абсорбцию» соответствует **паспорту научной специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы, технической отрасли науки:**

направлениям исследований паспорта специальности:

– в части разработки методов расчета энергетических установок на альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии и их основного и вспомогательного оборудования, что соответствует п. 1. паспорта специальности *«Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств ... методов расчета ... показателей качества ... энергетических ... комплексов, ... на органическом ... топлив(е) ...»;*

– в части разработки, исследования, совершенствования действующих и освоения новых технологий для производства электрической энергии, что соответствует п. 3. паспорта специальности *«Разработка, исследование ... действующих и освоение новых технологий ... для производства электрической ... энергии, использования органического ... топлив(а) ... способов снижения негативного воздействия на окружающую среду ...»;*

– в части разработки и исследований в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве электрической энергии, в энергетических системах и комплексах, что соответствует п. 5. паспорта специальности *«Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве ... электрической энергии ...».*

Выводы:

Диссертация «Совершенствование циклов паротурбинных установок энергокомплексов малой мощности путем замещения конденсации пара на его абсорбцию» Добрыднева Дениса Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки по совершенствованию цикла Ренкина паротурбинных установок малой мощности, работающих в условиях утилизации теплоты при температурах пара перед турбиной 100-300°С, путем замещения конденсации отработавшего пара процессом его абсорбции, что обеспечивает повышение энергетической эффективности паротурбинной установки, имеющее существенное значение для развития энергетической отрасли страны, и отвечает требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. в актуальной редакции, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки).

Заключение принято на заседании кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова». Присутствовали на заседании - 10 чел., в том числе - 1 доктор наук (научная специальность 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»). Результаты голосования: «за» - 10 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет, протокол № 9 от «5» марта 2025 г.

Исполняющий обязанности
заведующего кафедрой «Тепловые
электрические станции и теплотехника»,
кандидат технических наук, доцент


Евгений Михайлович Дьяконов

Подпись Е.М. Дьяконова заверяю
Начальник управления
персоналом ЮРГПУ(НПИ)


Галина Георгиевна Иванченко

