

ОТЗЫВ

официального оппонента Дмитренко Артура Владимировича
на диссертацию Добрыднева Дениса Владимировича
«Совершенствование циклов паротурбинных установок энергокомплексов
малой мощности путем замещения конденсации пара на его абсорбцию»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы
(технические науки)

Актуальность темы диссертации

В настоящее время малая энергетика является одним из важнейших направлений развития отечественной энергетической отрасли, решающим задачи по энергоснабжению малых и средних производств, а также удаленных от энергосистемы потребителей. С этой целью достаточно часто применяются паровые турбины малой мощности, которые могут обеспечивать генерацию в том числе за счет утилизации сбросной теплоты (что является важным преимуществом в сравнении с газопоршневыми и газотурбинными установками). Фактором, сдерживающим развитие паротурбинных установок (ПТУ), является их достаточно низкая эффективность (особенно характерно для установок малой мощности), обусловленная высокими тепловыми потерями в цикле Ренкина. Несмотря на различные решения в направлении повышения эффективности малых ПТУ (в частности, применение различных рабочих тел, оптимизация оборудования), их эффективность остается невысокой, что ведет к снижению экономической целесообразности утилизации сбросной теплоты производств. В условиях значительных объемов сбросной теплоты в различных отраслях промышленности это ведет к существенному недоиспользованию имеющегося потенциала вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) и снижению эффективности производств в целом. Таким образом, повышение энергетической эффективности ПТУ малой мощности является весьма актуальной задачей, стоящей перед отечественной теплоэнергетикой.

Диссертация Добрыднева Д.В. представляет собой исследование, направленное на повышение эффективности малых ПТУ путем модернизации цикла Ренкина. Решаемые в диссертации задачи направлены на совершенствование цикла Ренкина посредством применения процесса абсорбции отработавшего после турбины пара (вместо его конденсации). Тема,

рассматриваемая в диссертации, является актуальной и в полной мере соответствующим текущим задачам по развитию отечественной энергетики и промышленности.

Общая характеристика и оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы, включающего 210 наименований. Работа на 260 страницах машинописного текста формата А4, содержит 68 рисунков, 54 таблицы, а также 4 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, заявлена научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость результатов работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены методология и методы исследования, а также обоснована степень достоверности полученных результатов. Представлена информация об апробации результатов работы, личном вкладе и научных публикациях автора, описана структура и объем диссертации.

В первой главе диссертации описаны основы функционирования цикла Ренкина на базе воды и органических веществ, рассмотрены варианты применения утилизационных ПТУ, а также источники тепловых ВЭР, пригодных для утилизации. Рассмотрен цикл Калины с водоаммиачным раствором в качестве рабочего тела. Соискателем сделан вывод о необходимости совершенствования цикла Ренкина путем применения абсорбции. Изложены основные положения, описывающие протекание процессов абсорбции и десорбции. Обоснован выбор рабочих тел, проанализированы их свойства. Сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе диссертации описан цикл ПТУ, в котором процесс конденсации пара замещен процессом абсорбции, так называемый модернизированный цикл Ренкина (МЦР). Раскрыты основные процессы, протекающие при работе данного цикла, изложены особенности каждого из выбранных рабочих веществ. Представлены схемные решения МЦР, оптимизированные под различные условия работы (в том числе различные рабочие тела), а также циклы данных схем в $T-s$, $h-\xi$ и $p-t-\xi$ диаграммах. Схема с регенерацией теплоты растворов (как наиболее эффективная) принята для дальнейших исследований. Также приводятся варианты включения ПТУ на базе МЦР в схемы по утилизации теплоты воздухоподогревателя доменной печи и газопоршневой установки, что весьма актуально с учетом достаточно больших объемов тепловых ВЭР для данных агрегатов.

В третьей главе диссертации разработаны методики термодинамического и эксергетического анализа МЦР, которые выполнены на основе материального баланса аппаратов рассматриваемого цикла для схемных решений, представленных во второй главе. В процессе выполнения данной задачи выполнен анализ методик, применяемых при расчетах абсорбционных трансформаторов теплоты и цикла Ренкина, выполнена оценка их применимости для условий работы МЦР. Отдельно выделены и рассмотрены методики, касающиеся водоаммиачного и бромистолитиевого растворов, представлены их основные различия и особенности.

В четвертой главе представлены результаты теоретических исследований модернизированного цикла. Обосновывается выбор исходных данных для расчетов, что сделано на основании анализа научной, технической и эксплуатационной литературы, касающейся работы абсорбционных трансформаторов теплоты и традиционных ПТУ (в первую очередь малой мощности). В процессе расчетов производится сравнение эффективности и основных показателей МЦР с циклом Ренкина на воде и органических веществах. Расчеты произведены в диапазоне начальных температур пара от 100 до 300°C. При этом, диапазон температур 100-200°C рассматривается для варианта применения органического цикла Ренкина и модернизированного цикла с водоаммиачным раствором, а диапазон 200-300°C – для цикла Ренкина на воде и модернизированного цикла с бромистолитиевым раствором. Расчеты показали, что модернизированный цикл с бромистолитиевым раствором характеризуется наивысшей эффективностью в сравнении с прочими решениями. Результаты базового варианта расчета приведены в приложении А, результаты расчета абсорберов модернизированного цикла – в приложении Б. В качестве практического примера был рассмотрен энергокомплекс малой мощности на базе паровой турбины К-3,0-1,275, обеспечивающий утилизацию сбросной теплоты и работу при следующих параметрах пара перед турбиной: температура $t_1 = 280^\circ\text{C}$, давление $p_1 = 1275$ кПа, а также при расходе пара $m_{\text{пр}} = 20,4$ т/ч и при давлении пара после турбины $p_2 = 10,4$ кПа. Результаты расчетов показали, что в данных условиях традиционный цикл Ренкина обеспечивает электрическую мощность энергокомплекса $N = 3,0$ МВт, в то время как при работе на базе модернизированного цикла Ренкина – 3,194 МВт (прирост составляет 6,48%), прирост термического КПД составляет 7,3%.

В пятой главе произведена оценка экономической целесообразности применения модернизированного цикла для энергокомплекса малой мощности на базе паровой турбины К-3,0-1,275, который рассчитан в четвертой главе. Произведена разработка методики определения капитальных и эксплуатационных затрат, оценка технико-экономических показателей проекта. Для энергокомплекса на базе модернизированного цикла характерны более высокие капитальные затраты (выше на 10,6%), но вместе с тем и большая годовая выработка электроэнергии, что обеспечивает приемлемый срок окупаемости инвестиций в проект (4 года с момента начала строительства).

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы, в полной мере отражающие ее содержание.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Предложен способ повышения эффективности ПТУ малой мощности, за счет применения процесса абсорбции отработавшего после турбины пара вместо его конденсации, что делается за счет совмещения цикла Ренкина и цикла абсорбционного преобразователя теплоты. В результате проведенных исследований выявлено, что в модернизированный цикл Ренкина на бромистолитиевом растворе эффективнее традиционного цикла Ренкина, прирост КПД составляет в зависимости от параметров работы цикла от 4,1 до 9,1 %, повышение кратности циркуляции приводит к возрастанию КПД. Модернизированный цикл Ренкина с водоаммиачным раствором эффективнее органического цикла Ренкина с рабочим телом R142b, прирост КПД составляет в зависимости от параметров работы цикла от 11,3 до 21,5%, с ростом начальной температуры пара эффективность модернизированного цикла увеличивается.

2. Разработана методика расчета модернизированного цикла с водоаммиачным и бромистолитиевым раствором, учитывающая особенности функционирования контура абсорбер-генератор пара.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность. Достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждается 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.

Практическая значимость диссертации:

Практическая значимость полученных результатов диссертационной работы заключается в разработке технических решений, которые позволяют повысить эффективность паротурбинных установок малой мощности, работающих в условиях температур пара перед турбиной 100-300°C и обеспечивающих утилизацию тепловых ВЭР в энергетике и промышленности. Разработаны схемные решения модернизированного цикла Ренкина, а также энергокомплексов на его основе.

Реализация результатов работы подтверждена актами внедрения от группы «РусГидро» и Новочеркасской ГРЭС. Результаты исследования используются в учебном процессе по кафедре «Тепловые электрические станции и теплотехника» ЮРГПУ(НПИ).

Соответствие паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности

2.4.5. Энергетические системы и комплексы в части области исследования:

– по пункту 1: «Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств ... методов расчета ... показателей качества ... энергетических ... комплексов, ... на органическом ... топлив(е) ...»;

– по пункту 3: «Разработка, исследование ... действующих и освоение новых технологий ... для производства электрической ... энергии, использования органического ... топлив(а) ... способов снижения негативного воздействия на окружающую среду ...»;

– по пункту 5: «Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве ... электрической энергии ...».

Замечания и вопросы по диссертации

1. Оценивались ли особенности работы модернизированного цикла в рамках паротурбинных установок малой мощности?

2. В рамках технико-экономического обоснования не учитывается рост стоимости бромида лития в дальнейшем (с учетом его актуальности для многих отраслей промышленности и труднодоступности в перспективе). Оценивался ли данный фактор?

3. Из текста автореферата не ясно, был ли проведен анализ свойств выбранных рабочих тел? Например, аммиак является токсичным веществом. Анализировалось ли данное обстоятельство в рамках работы?

4. Каким образом выбирались рабочие тела для органического цикла Ренкина сравнения?

5. Работа цикла с бромистолитиевым раствором предполагается с достаточно низким давлением пара после турбины (2-3 кПа). Учитывался ли данный фактор при технико-экономическом анализе, разработке схемных решений, анализе современных серийных турбин?

Указанные замечания имеют рекомендательный характер и не являются определяющими при оценке данной диссертационной работы.

Публикации по теме диссертации

Основные результаты диссертации изложены в 12 печатных работах, в том числе в 4 работах в изданиях, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки России, а также 2 патентах РФ на изобретение, 5 работах в материалах международных и отечественных конференций, 1 учебном пособии.

Заключение по диссертации

Диссертация Добрыднева Дениса Владимировича на тему «Совершенствование циклов паротурбинных установок энергокомплексов малой мощности путем замещения конденсации пара на его абсорбцию», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки), представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения по повышению энергетической эффективности паротурбинных установок малой мощности путем использования процесса абсорбции, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 «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, а ее автор, Добрыднев Денис Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки).

Официальный оппонент:

Дмитренко Артур Владимирович,
заведующий кафедрой «Теплоэнергетика
транспорта» федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Российский университет транспорта»,
доктор технических наук, профессор

 А.В. Дмитренко
«_13_» мая 2025 года

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ))

Адрес организации: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Телефон: +7 495 681-13-40

Адрес электронной почты: ammsv@yandex.ru, tgt@miit.ru

Официальный сайт организации: <https://miit.ru>

Я, Дмитренко Артур Владимирович, даю согласие на обработку персональных
данных, связанных с защитой диссертации Добрыднева Дениса
Владимировича

 А.В. Дмитренко
«_13_» мая 2025 года

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ

ДИРЕКТОР ЦКДДС

С.Н.КОРЖИН

