

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
энергетический университет
имени В.И. Ленина»

доктор технических наук, профессор
Тютиков Владимир Валентинович



«11» ноября 2024 г.

ВЫПИСКА

из протокола № 4 расширенного заседания кафедры
«Тепловые электрические станции»
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»

от 8 ноября 2024 г.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

от кафедры «Тепловые электрические станции» (присутствуют **9** из **11** штатных сотрудников профессорско-преподавательского состава)

1. канд. техн. наук, доцент Горшенин С.Д., заведующий кафедрой (спец. по защите 05.14.14),
2. канд. техн. наук, доцент Барочкин А.Е., доцент кафедры (спец. по защите 05.13.18 и 05.14.14),
3. д-р техн. наук, профессор Барочкин Е.В., профессор кафедры (член диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.13.01 и 05.14.14, спец. в диссертационном совете 2.4.5),
4. канд. техн. наук, доцент Зайцева Е.В., доцент кафедры (спец. по защите 05.14.14),
5. канд. техн. наук Зиновьева Е.В., доцент кафедры,
6. канд. техн. наук, доцент Зорин М.Ю., доцент кафедры (спец. по защите 05.14.14),
7. канд. техн. наук Михеев П.Г., доцент кафедры (спец. по защите 05.14.14),
8. канд. техн. наук, доцент Панков С.А., доцент кафедры,
9. д-р техн. наук, профессор Шувалов С.И., профессор кафедры (член диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.17.08, спец. в диссертационном

совете 2.4.5),

10. Рябова Е.И., ст. преподаватель кафедры,

11. Угрюмова О.И., ст. преподаватель кафедры (секретарь заседания),

12. д-р техн. наук, профессор Ледуховский Г.В., **ректор ИГЭУ** (председатель диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.14.14, спец. в диссертационном совете 2.4.5),

от кафедры «Прикладная математика»:

13. д-р техн. наук, доцент Беляков А.Н., заведующий кафедрой (член диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.17.08, спец. в диссертационном совете 2.4.6),

14. д-р техн. наук, профессор Жуков В.П., профессор кафедры (член диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.17.08, спец. в диссертационном совете 2.4.5),

15. канд. техн. наук, доцент Огурцов А.В., доцент кафедры,

от кафедры «Теоретические основы теплотехники»:

16. д-р техн. наук, доцент Бушуев Е.Н., заведующий кафедрой (ученый секретарь диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.14.14, спец. в диссертационном совете 2.4.5),

от кафедры «Атомные электрические станции»:

17. д-р техн. наук, доцент Горбунов В.А., профессор кафедры (член диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.14.04, спец. в диссертационном совете 2.4.6),

от кафедры «Химия и химические технологии в энергетике»:

18. д-р техн. наук, профессор Ларин Б.М., профессор кафедры (член диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.14.14, спец. в диссертационном совете 2.4.5),

19. д-р техн. наук, доцент Ларин А.Б., профессор кафедры (член диссертационного совета 24.2.303.01, спец. по защите 05.14.14, спец. в диссертационном совете 2.4.5),

от кафедры «Промышленная теплоэнергетика»:

20. канд. техн. наук Козлова М.В., доцент кафедры,

от кафедры «Физика»:

21. Теплякова С.С., ассистент кафедры.

Председательствует на заседании канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой тепловых электрических станций Горшенин Сергей Дмитриевич.

СЛУШАЛИ: доклад Бубнова Кирилла Николаевича по диссертационной работе, подготовленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук, на тему «Совершенствование методов диагностики оборудования паротурбинных установок ТЭС на основе математического моделирования», представленный на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор кафедры «Прикладная математика» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Жуков Владимир Павлович.

Вопросы задавали: д-р техн. наук Ледуховский Г.В.; д-р техн. наук Шува-лов С.И.; д-р техн. наук Горбунов В.А.; д-р техн. наук Бушуев Е.Н.

На все вопросы соискателем были даны убедительные ответы.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Жуков В.П. огласил свой отзыв относительно личных качеств соискателя как ученого и уровня его компетентности по проблеме диссертационного исследования и готовности диссертации для представления на защиту.

Рецензент: кандидат технических наук, доцент Панков С.А. на основе представленных соискателем диссертации и автореферата отметил актуальность работы для тепловых электрических станций (ТЭС) в части разработки и совершенствования систем мониторинга и диагностики технического состояния оборудования паротурбинных установок. Подтвердил научную новизну и практическую значимость полученных в диссертации результатов. Высказал ряд пожеланий относительно представления результатов исследования в рамках доклада.

В целом, по мнению рецензента, диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и рекомендуется к защите по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

С поддержкой работы выступили:

1. Доктор технических наук Ларин Б.М отметил научную и практическую значимость диссертации. Выступил с поддержкой работы и рекомендовал диссертацию к защите в диссертационном совете 24.2.303.01 при ИГЭУ по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

2. Доктор технических наук Барочкин Е.В. высказал ряд рекомендаций относительно представления материала в рамках доклада по диссертации. Рекомендовал диссертацию к защите в диссертационном совете 24.2.303.01 при ИГЭУ по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

3. Доктор технических наук Ледуховский Г.В. оценил диссертацию и квалификацию диссертанта положительно. Рекомендовал диссертацию к защите в диссертационном совете 24.2.303.01 при ИГЭУ по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Считать, что представленная Бубновым К.Н. диссертационная работа обобщает самостоятельные исследования автора и является завершенным научным трудом, в котором изложены новые научно обоснованные технические решения, обеспечивающие совершенствование эксплуатации оборудования ТЭС за счет разработки и реализации алгоритмов диагностики технического состояния паровой турбины и вспомогательного теплообменного оборудования паротурбинных установок на основе их математических моделей, вносящие значительный вклад в развитие теплоэнергетической 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.

2. Рекомендовать диссертационную работу Бубнова К.Н. «Совершенствование методов диагностики оборудования паротурбинных установок ТЭС на основе математического моделирования» к защите в диссертационном совете 24.2.303.01 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

3. Утвердить заключение ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по диссертационной работе Бубнова Кирилла Николаевича.

ГОЛОСОВАЛИ: за - единогласно.

Председатель заседания,
заведующий кафедрой
«Тепловые электрические станции»,
кандидат технических наук, доцент



Горшенин Сергей Дмитриевич

Секретарь заседания,
старший преподаватель кафедры
«Тепловые электрические станции»



Угрюмова Ольга Ильгизовна

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
энергетический университет
имени В.И. Ленина»

доктор технических наук, профессор
Гютиков Владимир Валентинович



«11» ноября 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Диссертация «Совершенствование методов диагностики оборудования паротурбинных установок ТЭС на основе математического моделирования» выполнена на кафедрах «Прикладная математика» и «Тепловые электрические станции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России.

Соискатель Бубнов Кирилл Николаевич, 1996 года рождения, в 2020 году окончил ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Тепловые электрические станции»).

Соискатель с 2020 по 2024 годы обучался в аспирантуре ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника» (профиль «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»).

Соискатель Бубнов К.Н. с 2020 по 2023 годы работал в должности учебного мастера на кафедре «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России, с 2023 по 2024 годы – в должности ассистента на кафедре «Прикладная математика» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России, с 2024 по настоящее время работает в обществе с ограниченной ответственностью «Ивэнергосервис» (ООО «Ивэнергосервис») в должности инженера-теплоэнергетика.

В период подготовки диссертации работал в ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России до 2023 года на кафедре «Тепловые электрические станции» в должности учебного мастера, затем на кафедре «Прикладная математика» в должности ассистента.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Жуков Владимир Павлович работает в должности профессора кафедры «Прикладная математика» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России.

По результатам рассмотрения диссертации «Совершенствование методов диагностики оборудования паротурбинных установок ТЭС на основе математического моделирования» принято следующее заключение:

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Дефекты и неисправности, которые накапливаются при эксплуатации энергетического оборудования, могут стать причиной не только ухудшения характеристик его экономичности и маневренности, но и аварийного останова или системной аварии. Традиционным подходом, позволяющим восстановить важнейшие характеристики энергетического оборудования и обеспечить его экономичную эксплуатацию на отечественных объектах электроэнергетики, является система планово-предупредительных ремонтов. Основным недостатком данной системы заключается в отсутствии оценки и учета фактического состояния энергетического оборудования в процессе эксплуатации при организации различных видов ремонтных работ. Одним из перспективных и развивающихся направлений совершенствования системы технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования с целью повышения эффективности функционирования объектов электроэнергетики является система ремонтов по техническому состоянию. Главная идея данной системы заключается в анализе измеряемых технологических параметров оборудования с целью выявления отклонений от базового состояния, идентификации и локализации неисправностей на ранней стадии, а также диагностики его работоспособности и формирования соответствующих рекомендаций обслуживающему персоналу по коррекции эксплуатационных режимов.

Решение задачи перехода от системы планово-предупредительных ремонтов к системе ремонтов по техническому состоянию не является тривиальным и возможно только при условии совершенствования традиционных организационно-технических методов диагностирования путем использования математических методов для обработки и анализа собранных в ходе мониторинга значений технологических параметров. Эти собранные данные могут обрабатываться с использованием математических моделей оборудования или подходов, построенных на основании статистических методов обработки экспериментальных данных, накопленных в ходе эксплуатации однотипного оборудования. Подход математического моделирования представляется наиболее перспективным в силу отсутствия потребности в большом объеме экспериментальных данных для оборудования, работающего в аварийных режимах.

Таким образом, тема исследования, посвященного использованию математических моделей для диагностики технического состояния паровой турбины и теплообменного оборудования системы её регенерации с целью своевременного принятия оперативных мер по устранению недопустимых отклонений технологических параметров и для предотвращения аварийных ситуаций, является актуальной.

ЛИЧНОЕ УЧАСТИЕ СОИСКАТЕЛЯ В ПОЛУЧЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ, ИЗЛОЖЕННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Личное участие автора заключается в определении цели и задач исследования; в разработке математических моделей изменения состояния проточной части паровой турбины и регенеративного подогревателя; в параметрической идентификации математических моделей; в проверке на непротиворечивость математического описания реальным физическим процессам; в постановке и решении обратной задачи диагностики для проточной части паровой турбины и регенеративного подогревателя; в расчете и анализе энергетических характеристик удельного расхода тепловой энергии брутто теплофикационной турбоустановки с турбиной типа «ПТ» и «Т»; в разработке алгоритмов мониторинга и диагностики технического состояния проточной части паровой турбины и регенеративного подогревателя; в адаптации математических моделей для использования в прикладных программных комплексах; в разработке программного комплекса мониторинга и диагностики технического состояния паровой турбины и вспомогательного теплообменного оборудования ПТУ ТЭС; в сборе, обработке и анализе экспериментальных данных; в подготовке публикаций по тематике диссертационной работы.

СТЕПЕНЬ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Достоверность подтверждается использованием апробированных методов математического моделирования теплоэнергетического оборудования, согласованностью результатов работы с данными, опубликованными в работах других авторов, применением гостированных методов обработки результатов экспериментального исследования, совпадением результатов экспериментального исследования и данных численного моделирования.

НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Научная новизна работы обусловлена следующим:

1. Разработана комбинированная математическая модель изменения состояния проточной части паровой турбины, построенная в рамках методологии матричной формализации балансовых соотношений энергии и массы с учетом формулы Стодолы-Флюгеля и найденной аппроксимирующей зависимости относительного внутреннего КПД паровой турбины от расхода пара, позволяющая определить распределение давления по проточной части при ограниченном объеме экспериментальных данных.

2. Разработан алгоритм решения обратной задачи диагностики технического

состояния проточной части паровой турбины на основе комбинированной математической модели, позволяющий оперативно выявить и локализовать неисправности (дефекты) по отсекам проточной части паровой турбины.

3. Разработана матричная математическая модель трехступенчатого регенеративного подогревателя, учитывающая структуру потоков теплоносителей и фазовый переход горячего теплоносителя, позволяющая при ограниченном объеме экспериментальных данных осуществить решение обратной задачи диагностики технического состояния подогревателя.

Практическая значимость работы:

1. Разработка программ для обработки данных, поступающих от контрольно-измерительных приборов, защищенных свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ (№ 2023662771; № 2023687166).

2. Программная реализация математических моделей изменения состояния проточной части паровой турбины и регенеративного подогревателя, защищенная свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ (№ 2022682363; № 2023662774; № 2022615258; № 2023684423; № 2023687167).

3. Разработка компьютерной программы диагностики технического состояния проточной части паровой турбины, защищенной свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ (№ 2023618286).

4. Разработка программного комплекса диагностики энергетического оборудования Костромской ГРЭС, защищенного свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ (№ 2024662938).

ЦЕННОСТЬ НАУЧНЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ

Теоретическая значимость работы обусловлена следующим. Доказаны: целесообразность совместного использования матричной формализации балансовых соотношений энергии и массы, формулы Стодолы-Флюгеля и найденной аппроксимирующей зависимости относительного внутреннего КПД паровой турбины от расхода пара при моделировании влияния изменения площади проходного сечения турбинных решеток на распределение давления по проточной части многоступенчатой паровой турбины; возможность учета структуры потоков теплоносителей и фазового перехода горячего теплоносителя в рамках матричного подхода при моделировании регенеративного подогревателя. Исследовано влияние площади проходного сечения турбинных решеток в многоступенчатой паровой турбине на распределение давления по её проточной части. Изложены: результаты обработки и анализа результатов экспериментальных исследований паровой турбины и регенеративного подогревателя, использованные для параметрической идентификации соответствующих математических моделей; результаты разработки моделей для конкретных объектов; постановка и решение обратной задачи диагностики технического состояния проточной части паровой турбины и регенеративного подогревателя. Обоснована целесообразность применения матричного подхода к моделированию паровой турбины и регенеративного подогревателя, обеспечивающего постановку и решение обратной задачи диагностики оборудования. Проведена мо-

дернизация математической модели применительно к теплофикационной турбоустановке с турбиной типа «Т» путем применения найденной аппроксимирующей зависимости относительного внутреннего КПД части низкого давления турбины от расхода пара.

СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ, ПО КОТОРОЙ ОНА РЕКОМЕНДУЕТСЯ К ЗАЩИТЕ

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» *в части направлений исследований: по пункту 1 «Разработка ... методов расчета ... параметров ... энергетических систем, комплексов, энергетических установок на органическом и альтернативных топливах ... и их основного и вспомогательного оборудования»; по пункту 2 «Математическое моделирование, численные ... исследования ... рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках ..., их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии»; по пункту 3 «Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых ... способов ... повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок»; по пункту 4 «Разработка ... методов, алгоритмов ... диагностики ... основного и вспомогательного оборудования энергетических систем ... и входящих в них энергетических установок».*

ПОЛНОТА ИЗЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИССЕРТАЦИИ В РАБОТАХ, ОПУБЛИКОВАННЫХ СОИСКАТЕЛЕМ

Основное содержание диссертационной работы и ее результатов полностью отражено в 28 публикациях автора объемом 8,61 п.л., авторский вклад – 2,52 п.л., из них 5 работ опубликованы в рецензируемых научных журналах по списку ВАК, 14 тезисов и полных текстов докладов конференций; получено 9 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научные статьи, опубликованные в изданиях по списку ВАК

1. **Бубнов, К.Н.** Учет эффективности отсеков проточной части турбоустановок при расчетном анализе их энергетических характеристик / **К.Н. Бубнов**, А.Е. Барочкин, В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский // Вестник ИГЭУ. – 2019. – №3. – С. 62-68. (0,81 / 0,20).

Соискателем К.Н. Бубновым выполнены: обоснование и разработка математической модели тепловой схемы паротурбинной установки с турбиной типа «ПТ» в рамках методологии матричной формализации балансовых соотношений энергии и массы с целью построения энергетических характеристик оборудования при ограниченном объеме экспериментальных данных; разработка алгоритма численного решения; анализ полученных результатов.

2. **Бубнов, К.Н.** Методика расчета энергетических характеристик теплофикационной турбины с учетом экономичности части низкого давления / **К.Н. Бубнов**,

А.Е. Барочкин, В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский // Вестник ИГЭУ. – 2020. – №2. – С. 5-13. (1,05 / 0,26).

Соискателем К.Н. Бубновым выполнены: разработка математической модели тепловой схемы паротурбинной установки с турбиной типа «Т» в рамках методологии матричной формализации балансовых соотношений энергии и массы; обоснование учета эффективности части низкого давления паровой турбины при разработке математической модели с целью построения энергетических характеристик оборудования при ограниченном объеме экспериментальных данных; разработка алгоритма численного решения; анализ полученных результатов.

3. Бубнов, К.Н. Математическая модель расходных характеристик паротурбинных установок / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков, С.Д. Горшенин, Е.В. Барочкин // Вестник ИГЭУ. – 2022. – №5. – С. 72-79. (0,93 / 0,23).

Соискателем К.Н. Бубновым выполнены: разработка математической модели изменения состояния проточной части паровой турбины в рамках методологии матричной формализации балансовых соотношений энергии и массы с учетом формулы Стодоль-Флюгеля и аппроксимирующей зависимости относительного внутреннего КПД паровой турбины от расхода пара с целью определения распределения давления по проточной части паровой турбины при ограниченном объеме экспериментальных данных; разработка алгоритма численного решения; анализ полученных результатов.

4. Бубнов, К.Н. Система непрерывного мониторинга технического состояния и оперативной диагностики паровой турбины / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков, А.В. Голубев, Е.В. Барочкин, С.И. Шувалов // Вестник ИГЭУ. – 2023. – №4. – С. 85-93. (1,05 / 0,21).

Соискателем К.Н. Бубновым выполнены: разработка алгоритма решения обратной задачи диагностики технического состояния проточной части паровой турбины на основе математической модели, позволяющего оперативно выявить и локализовать неисправности (дефекты) по отсекам проточной части паровой турбины; разработка алгоритма численного решения; анализ полученных результатов.

5. Жуков, В.П. Матричное моделирование и диагностика состояния регенеративных подогревателей высокого давления / В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский, **К.Н. Бубнов**, С.И. Шувалов, М.А. Кузнецов // Вестник ИГЭУ. – 2024. – № 2. – С. 82-91. (1,16 / 0,23).

Соискателем К.Н. Бубновым выполнены: разработка матричной математической модели трехступенчатого регенеративного подогревателя с учетом структуры потоков теплоносителей и фазового перехода горячего теплоносителя; получение численных и аналитических решений; анализ полученных результатов.

Тезисы и полные тексты докладов конференций

1. Бубнов, К.Н. Моделирование и анализ энергетических характеристик турбоустановки Т-100/120-130 / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков, А.Е. Барочкин // Электро-механотроника и управление: Пятнадцатая Всероссийская (седьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2020» (г. Иваново, 7 – 10 апреля 2020 г.): Материалы конференции.

В 6 т. Т. 4. – Иваново: ИГЭУ, 2020. – С. 154. (0,07 / 0,02).

2. **Бубнов, К.Н.** Матричное моделирование тепловых схем паротурбинных установок ТЭС / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский // Технические и технологические системы: Материалы одиннадцатой Международной научной конференции «ТЭС-20» (г. Краснодар, 17 – 19 декабря 2020 г.). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2020. – С. 194-201. (0,46 / 0,15).

3. **Бубнов, К.Н.** Построение и калибровка матричной модели паротурбинной установки / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов Двадцать седьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Москва, 11 – 12 марта 2021 г.). – Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2021. – С. 908. (0,06 / 0,03).

4. **Бубнов, К.Н.** Параметрическая идентификация матричной модели теплофикационной турбины с применением генетического алгоритма / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXI Бенардосовские чтения): Материалы международной научно-технической конференции (г. Иваново, 2 – 4 июня 2021 г.). В 3 т. Т. 2. – Иваново: ИГЭУ, 2021. – С. 320-322. (0,17 / 0,06).

5. Жуков, В.П. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики энергетического оборудования ТЭС / В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский, А.Е. Барочкин, **К.Н. Бубнов**, А.Н. Беляков // Развитие методов прикладной математики для решения междисциплинарных проблем энергетики: I Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием (г. Ульяновск, 6 – 7 октября 2021 г.): Сборник трудов конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2021. – С. 9-13. (0,58 / 0,12).

6. **Бубнов, К.Н.** Разработка математической модели энергетической характеристики конденсационной турбины с учетом схемы включения регенеративных подогревателей / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков // Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: Сборник статей по материалам конференции (г. Казань, 27 – 29 апреля 2022 г.). В 3 т. Т. 2. – Казань: КГЭУ, 2022. – С. 109-112. (0,47 / 0,24).

7. **Бубнов, К.Н.** Математическая модель статических режимов паровой турбины / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков // Электромеханотроника и управление: Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2022» (г. Иваново, 11 – 13 мая 2022 г.): Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ИГЭУ, 2022. – С. 111. (0,09 / 0,05).

8. **Бубнов, К.Н.** Анализ параметрической чувствительности математической модели паровой турбины / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции (г. Кемерово, 7 – 9 декабря 2022 г.) [Электронный ресурс]. – Кемерово: КузГТУ, 2023. – С. 110.1-110.5. (0,58 / 0,29).

9. **Бубнов, К.Н.** Система мониторинга и диагностики проточной части паровой турбины / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов Двадцать девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Москва, 16 – 18 марта 2023 г.). – Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2023. – С. 908. (0,06 / 0,03).

10. **Бубнов, К.Н.** Математическое моделирование и диагностика состояния подогревателя высокого давления / **К.Н. Бубнов, В.П. Жуков** // Электромеханотроника и управление: Восемнадцатая всероссийская (десятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2023» (г. Иваново, 16 – 18 мая 2023 г.): Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ИГЭУ, 2023. – С. 106. (0,10 / 0,05).

11. **Бубнов, К.Н.** Матричное моделирование и диагностика состояния проточной части теплофикационной турбины / **К.Н. Бубнов, В.П. Жуков, А.В. Голубев** // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXII Бенардосовские чтения): Материалы Международной научно-технической конференции (г. Иваново, 31 мая – 2 июня 2023 г.). В 3 т. Т. 2. – Иваново: ИГЭУ, 2023. – С. 368-371. (0,23 / 0,08).

12. Жуков, В.П. Решение обратной задачи теплопередачи в регенеративных подогревателях турбоустановок с учетом фазового перехода в горячем теплоносителе / В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский, **К.Н. Бубнов** // Развитие методов прикладной математики для решения междисциплинарных проблем энергетики: III Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием (г. Ульяновск, 9 – 10 октября 2023 г.): Сборник трудов конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2023. – С. 24-28. (0,58 / 0,19).

13. **Бубнов, К.Н.** Диагностика технического состояния системы регенерации теплофикационной турбины / **К.Н. Бубнов, В.П. Жуков** // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов Тридцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Москва, 29 февраля – 2 марта 2024 г.). – Москва: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2024. – С. 1016. (0,06 / 0,03).

14. **Бубнов, К.Н.** Диагностика состояния регенеративных подогревателей высокого давления / **К.Н. Бубнов, В.П. Жуков** // Электромеханотроника и управление: Девятнадцатая Всероссийская (одиннадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2024» (г. Иваново, 14 – 16 мая 2024 г.): Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ИГЭУ, 2024. – С. 99. (0,10 / 0,05).

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022615258 Российская Федерация. Расчет энергетических характеристик теплофикационной паровой турбины с учетом характеристик экономичности отсеков ее проточной части: № 2022614039: заявл. 21.03.2022: опубл. 30.03.2022 / **К.Н. Бубнов, В.П. Жуков, А.Е. Барочкин**; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682363 Российская Федерация. Расчет профиля давления пара вдоль проточной части и расходных характеристик конденсационной паровой турбины: № 2022681609: заявл. 11.11.2022: опубл. 22.11.2022 / **К.Н. Бубнов, В.П. Жуков**; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023618286 Российская Федерация, Расчет эффективной площади проходных сечений отсеков паровой турбины по профилю давления вдоль проточной части: № 2023617014: заявл. 12.04.2023: опубл. 21.04.2023 / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023662771 Российская Федерация. Расчет установившихся режимов работы энергетического оборудования на основании данных, поступающих от штатных средств контроля: № 2023661593: заявл. 02.06.2023: опубл. 14.06.2023 / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023662774 Российская Федерация. Расчет профиля давления пара вдоль проточной части и расходных характеристик теплофикационной паровой турбины: № 2023661624: заявл. 02.06.2023: опубл. 14.06.2023 / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684423 Российская Федерация. Решение прямой и обратной задач теплопередачи для подогревателей питательной воды системы регенерации высокого давления конденсационной паровой турбины: № 2023683372: заявл. 07.11.2023: опубл. 15.11.2023 / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687166 Российская Федерация. Программа автоматизированной обработки временных рядов технологических показателей энергетического оборудования: № 2023686329: заявл. 28.11.2023: опубл. 12.12.2023 / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687167 Российская Федерация. Решение прямой и обратной задач теплопередачи для подогревателей системы регенерации высокого и низкого давлений и сетевых подогревателей теплофикационной паровой турбины: № 2023686327: заявл. 28.11.2023: опубл. 12.12.2023 / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662938 Российская Федерация. Программный комплекс автоматизированного мониторинга и технического диагностирования энергетического оборудования конденсационной паротурбинной установки с турбиной К-300-240 ЛМЗ: № 2024661652: заявл. 16.05.2024: опубл. 03.06.2024 / **К.Н. Бубнов**, В.П. Жуков; заявитель ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

ВЫСТУПЛЕНИЯ НА КОНФЕРЕНЦИЯХ

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы и обсуждались на 14 конференциях, в том числе: XV, XVII, XVIII, XIX Международных научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия» (г. Иваново, 2020, 2022, 2023, 2024 гг.); XXVII, XXIX, XXX Международных научно-технических конференциях студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (г. Москва, 2021, 2023, 2024 гг.); XXI, XXII Международных научно-технических конференциях «Бенардосовские чтения» (г. Иваново, 2021, 2023 гг.); I, III Всероссийских научно-технических конференциях с международным участием «Развитие методов прикладной математики для решения междисциплинарных проблем энергетики» (г. Ульяновск, 2021, 2023 гг.); XXI Международной научной конференции «Технические и технологические системы» (г. Краснодар, 2020 г.); Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2022» (г. Казань, 2022 г.); VII Международной научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика» (г. Кемерово, 2023 г.).

ВЫВОДЫ

Диссертация «Совершенствование методов диагностики оборудования паротурбинных установок ТЭС на основе математического моделирования» Бубнова Кирилла Николаевича является законченной научной квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, обеспечивающие совершенствование эксплуатации оборудования ТЭС за счет разработки и реализации алгоритмов диагностики технического состояния паровой турбины и вспомогательного теплообменного оборудования паротурбинных установок на основе их математических моделей, вносящие значительный вклад в развитие теплоэнергетической 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 расширенном заседании кафедры «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, состоявшемся 8 ноября 2024, протокол №.4

Председатель заседания,
заведующий кафедрой
«Тепловые электрические станции»
кандидат технических наук, доцент



Горшенин Сергей Дмитриевич