

Протокол № 6
заседания диссертационного совета 24.2.303.01,
созданного при федеральном государственном бюджетном образовательном
учреждении высшего образования «Ивановский государственный
энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ),

от 18 октября 2024 года

при защите диссертации Барочкина Алексея Евгеньевича на тему
«Моделирование, расчет и оптимизация многокомпонентных многопоточных
многоступенчатых энергетических систем и установок»
по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы»
на соискание ученой степени доктора технических наук

Присутствуют 13 членов диссертационного совета из 14:

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Ледуховский Григорий Васильевич (председатель) | д-р техн. наук, 2.4.5 |
| 2. Шуина Елена Александровна (зам. председателя) | д-р техн. наук, 2.4.6 |
| 3. Бушуев Евгений Николаевич (ученый секретарь) | д-р техн. наук, 2.4.5 |
| 4. Барочкин Евгений Витальевич | д-р техн. наук, 2.4.5 |
| 5. Беляков Антон Николаевич | д-р техн. наук, 2.4.6 |
| 6. Бухмиров Вячеслав Викторович | д-р техн. наук, 2.4.6 |
| 7. Горбунов Владимир Александрович | д-р техн. наук, 2.4.6 |
| 8. Жуков Владимир Павлович | д-р техн. наук, 2.4.5 |
| 9. Ларин Андрей Борисович | д-р техн. наук, 2.4.5 |
| 10. Ларин Борис Михайлович | д-р техн. наук, 2.4.5 |
| 11. Очков Валерий Федорович | д-р техн. наук, 2.4.5 |
| 12. Соколов Анатолий Константинович | д-р техн. наук, 2.4.6 |
| 13. Шувалов Сергей Ильич | д-р техн. наук, 2.4.5 |

а также официальные оппоненты и сотрудники ИГЭУ.

Председатель совета Ледуховский Г.В. на основании явочного листа извещает членов Совета о правомочности заседания. Списочный состав совета 14 человек. Присутствуют на заседании 13 членов совета из 14, в том числе докторов наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» – 8.

Таким образом, Совет правомочен начать защиту. Заседание считается открытым.

Председательствующий объявляет о защите докторской диссертации Барочкина Алексея Евгеньевича на тему «Моделирование, расчет и оптимизация многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических систем и установок». Диссертация принята к защите решением диссертационного совета от 3 июля 2024 г., протокол № 4.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Жуков Владимир Павлович, заведующий кафедрой «Прикладная математика» ФГБОУ ВО «Ивановский

государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

Официальные оппоненты:

– Кудинов Анатолий Александрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», профессор кафедры «Тепловые электрические станции»;

– Аронсон Константин Эрленович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», главный научный сотрудник;

– Дмитриев Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств».

Ведущая организация: публичное акционерное общество энергетики и электрификации «Мосэнерго», г. Москва.

Ученый секретарь Бушуев Е.Н. кратко докладывает об основном содержании представленных документов (копии диплома кандидата наук, заключения организации, где выполнялась работа) и сообщает присутствующим, что все представленные документы соответствуют установленным требованиям.

Соискатель излагает основные положения диссертации и отвечает на вопросы членов совета: Ларина Б.М., Горбунова В.А., Очкова В.Ф., Бухмирова В.В., Ларина А.Б., Соколова А.К., Ледуховского Г.В.

Объявляется технический перерыв. После технического перерыва совет продолжает свою работу.

Выступает научный консультант Жуков Владимир Павлович.

Ученый секретарь оглашает заключение организации, где выполнялась работа, оформленное в виде выписки из протокола № 11 расширенного заседания кафедры «Тепловые электрические станции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» от 31 мая 2024 г.

Ученый секретарь оглашает отзыв ведущей организации публичного акционерного общества энергетики и электрификации «Мосэнерго», г. Москва. Диссертация, автореферат, а также отзыв ведущей организации обсуждены на заседании научно-технического совета публичного акционерного общества энергетики и электрификации «Мосэнерго» протокол №2 от 09.09.2024 г.

Ученый секретарь извещает членов совета, что на автореферат диссертации поступило 16 отзывов:

1. ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»;
2. Белорусский национальный технический университет, г. Минск;
3. ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»;

4. Общество с ограниченной ответственностью «Коммунальные энергетические системы – Тейково», г. Тейково Ивановской области;
5. Общество с ограниченной ответственностью «Интер РАО – Управление электрогенерацией», г. Москва;
6. Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском;
7. ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»;
8. ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»;
9. Филиал «Владимирский» Публичного акционерного общества «Т Плюс»;
10. Общество с ограниченной ответственностью «Хуадянь-Тенинская ТЭЦ», г. Ярославль;
11. ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платонова», г. Новочеркасск;
12. ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»;
13. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»;
14. ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»;
15. ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;
16. Волховский филиал акционерного общества «Апатит», г. Волхов Ленинградской области.

Все отзывы положительные. С согласия членов совета Ученый секретарь делает обзор замечаний, содержащихся в отзывах на автореферат.

Соискатель отвечает на замечания, содержащиеся в отзыве ведущей организации и в отзывах на автореферат.

Слово предоставляется официальному оппоненту Кудинову Анатолию Александровичу. Соискатель отвечает на замечания, содержащиеся в отзыве оппонента.

Слово предоставляется официальному оппоненту Аронсону Константину Эрленовичу. Соискатель отвечает на замечания, содержащиеся в отзыве оппонента.

Слово предоставляется официальному оппоненту Дмитриеву Андрею Владимировичу. Соискатель отвечает на замечания, содержащиеся в отзыве оппонента.

В дальнейшей дискуссии участвуют члены совета: Ларин Б.М., Очков В.Ф., Ледуховский Г.В.

После заключительного слова соискателя диссертационный совет переходит к тайному голосованию. Единогласно избирается счетная комиссия из трех членов совета: Бухмиров В.В., Горбунов В.А., Очков В.Ф.

После проведения тайного голосования председатель счетной комиссии совета Очков В.Ф. оглашает протокол счетной комиссии с результатами голосования:

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 14 человек.

Присутствовало на заседании 13 членов совета, в том числе по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» – 8.

Выдано бюллетеней – 13. Осталось не выданных бюллетеней – 1. Оказалось в урне бюллетеней – 13.

Результаты голосования по вопросу о присуждении Барочкину Алексею Евгеньевичу ученой степени доктора технических наук подано голосов: «за» – 13, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Совет открытым голосованием единогласно («за» – 13, «против» – нет) утверждает протокол счетной комиссии и результаты голосования.

Председательствующий поздравляет соискателя Барочкина А.Е. с присуждением ему ученой степени доктора технических наук.

Совет переходит к обсуждению проекта заключения. После обсуждения Совет открытым голосованием единогласно («за» – 13, «против» – нет) принимает следующее заключение:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.303.01,
созданного на базе федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 18 октября 2024 г. № 6

О присуждении **Барочкину Алексею Евгеньевичу**, гражданину России, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Моделирование, расчет и оптимизация многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических систем и установок» по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» принята к защите 3 июля 2024 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.303.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России, 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, приказом № 512/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Барочкин Алексей Евгеньевич, 26 ноября 1986 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Разработка математических моделей и программных комплексов для расчета и оптимизации многопоточных тепломассообменных систем ТЭС» по специальностям 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» защитил в 2012 году в диссертационном совете Д 212.064.03, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

Работает доцентом на кафедре «Тепловые электрические станции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Ми-

нобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедрах «Прикладная математика» и «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» Минобрнауки России.

Научный консультант – доктор технических наук Жуков Владимир Павлович, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», заведующий кафедрой «Прикладная математика».

Официальные оппоненты:

– Кудинов Анатолий Александрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», профессор кафедры «Тепловые электрические станции»;

– Аронсон Константин Эрленович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», главный научный сотрудник;

– Дмитриев Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Публичное акционерное общество энергетики и электрификации «Мосэнерго», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Радиным Юрием Анатольевичем, доктором технических наук, главным специалистом, сопредседателем научно-технического совета, Ленёвым Сергеем Николаевичем кандидатом технических наук, заместителем управляющего директора – главным инженером, заместителем председателя научно-технического совета, и утвержденном заместителем управляющего директора – главным инженером Ленёвым Сергеем Николаевичем, указала, что диссертация Барочкина Алексея Евгеньевича на тему «Моделирование, расчет и оптимизация многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических систем и установок» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические разработки по созданию новых подходов к автоматизированному построению математических моделей и методов расчета тепломассообменных многопоточных многокомпонентных многоступенчатых систем со сложной конфигурацией потоков теплоносителей и их реализации в промышленности, имеющие существенное значение для экономики энергетической и других отраслей промышленности страны. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки). Диссертация удовлетворяет установленным требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в актуальной редакции), а ее автор Барочкин Алексей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени

доктора технических наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки). Ведущая организация отметила, что разработанные в диссертации математические модели сложных тепломассообменных систем, компьютерные средства их анализа и синтеза, а также результаты анализа рекомендуются к использованию в исследовательских и проектных организациях, занимающихся разработкой и эксплуатацией тепломассообменного оборудования (ВТИ, НПО ЦКТИ, ТЭП, ТЭС, тепловые сети и т.д.).

Соискатель имеет 171 опубликованную работу, в том числе по теме диссертационного исследования – 73 работы общим объемом 155,08 печатных листа, авторский вклад – 54,05 печатных листа (в том числе: 41,42 печатных листа с авторским вкладом 14,62 печатных листа – научные публикации; 113,66 печатных листа с авторским вкладом 39,44 печатных листа – учебные пособия), из них 20 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК (в том числе 9 статей – в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus), 5 статей в других изданиях; 28 тезисов и полных текстов докладов конференций; получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, издана 1 монография, 7 учебных пособий. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. **Барочкин А.Е.** Методология матричного моделирования многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических комплексов / **А.Е. Барочкин** // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2024. – №. 3. – С. 64-70 (0,81/0,81).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: разработка и обобщение методологии матричного моделирования многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических комплексов, разработка системы кодификации и классификации систем тепломассообмена, выбор и обоснование областей применения предложенной методологии, получение практических рекомендаций и анализ полученных результатов.

2. Жуков, В.П. Анализ многопоточных тепломассообменных систем: Монография / В.П. Жуков, Е.В. Барочкин, **А.Е. Барочкин**. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 160 с.: ил., табл. – ISBN 978-5-9729-1870-6 (9,29 / 3,10).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: обобщение литературных данных по методам системного анализа в исследовании операций в энергетике, разработка математической модели многопоточных, многоступенчатых теплообменных систем, каждая ступень которых может иметь произвольное число входных и выходных потоков, разработка модели теплообмена при скользящей границе фазового перехода, разработка модели паротурбинной установки как многокомпонентной многопоточной многоступенчатой энергетической системы; в получении и анализе энергетических характеристик турбоагрегата. Подготовка основных разделов и их общая редакция, Представление и анализ показателей эффективности технологии генерации энергии на ТЭС и АЭС. Анализ путей повышения эффективности технологий производства энергии на ТЭС и АЭС.

3. Жуков, В.П. Моделирование капельного уноса в многоступенчатых испаритель-

ных установках мгновенного вскипания / В.П. Жуков, И.А. Кокулин, В.Н. Виноградов, **А.Е. Барочкин** // Теплоэнергетика, 2023. – № 11. – С. 136-143 (0,93 / 0,23).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: обоснование использования матричных методов формализации модели процессов теплообмена в многоступенчатых испарительных установках мгновенного вскипания, участие в получении численных и аналитических решений и анализе полученных результатов.

4. Жуков, В.П. Моделирование и расчет процесса теплопередачи в конденсационном котле / В.П. Жуков, **А.Е. Барочкин** // Энергосбережение и водоподготовка. – 2022. – № 2(136). – С. 43-48 (0,70 / 0,35).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: разработка метода матричной формализации модели теплообмена в конденсационном котле, обоснование метода решения задачи теплопередачи в конденсационном котле с учетом фазового перехода в теплоносителях, получение численных и аналитических решений задачи, анализ полученных результатов.

5. **Барочкин, А.Е.** Матричный метод решения обратной задачи теплопередачи в контактных аппаратах с учетом фазового перехода в теплоносителях / **А.Е. Барочкин** // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2021. – № 5. – С. 68-75 (0,93 / 0,93).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: постановка и разработка матричного метода решения обратной задачи теплопередачи в контактных аппаратах с учетом фазового перехода в теплоносителях, получение численных и аналитических решений, анализ полученных результатов.

6. **Барочкин, А.Е.** Идентификация модели многоступенчатой классификации смеси разнородных компонентов / **А.Е. Барочкин**, А.Н. Беляков, Х. Отвиновски, Т. Wylesimal, Е.В. Барочкин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – № 5. – С. 56-63 (0,93 / 0,19).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: разработка матричной модели многоступенчатой классификации многокомпонентной смеси порошков, идентификация модели многоступенчатой системы с многокомпонентными потоками порошков, обсуждение программы экспериментальных исследований, идентификация модели, получение численных решений, анализ полученных результатов.

7. **Барочкин, А.Е.** Оптимизация структуры и режима работы сложных теплообменных систем с многокомпонентными теплоносителями / **А.Е. Барочкин**, В.П. Жуков, М.С. Шумилова, Е.В. Барочкин, А.Н. Беляков // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – № 4. – С. 55-63 (1,05 / 0,21).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: разработка матричной модели многопоточной многоступенчатой системы с многокомпонентными теплоносителями, постановка задачи оптимизации структуры и режима работы сложных теплообменных систем, получение численных решений оптимизационной задачи, анализ полученных результатов.

8. **Барочкин, А.Е.** Матричная формализация расчета и анализ многопоточных многоступенчатых теплообменных аппаратов со сложной конфигурацией потоков / **А.Е. Барочкин**, В.П. Жуков, К.А. Касаткин // Вестник Ивановского государственного

энергетического университета. – 2019. – № 1. – С. 70-76 (0,81 / 0,27).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: разработка метода матричной формализации модели системы многопоточных многоступенчатых теплообменных аппаратов со сложной конфигурацией потоков, каждая ступень которых может иметь произвольное число входных и выходных потоков, получение численных и аналитических решений, анализ полученных результатов.

9. Zhukov, V. P. Simulation and Calculation of Multi-Flow, Multistage Systems of Heat Exchangers / V.P. Zhukov, **А.Е. Barochkin**, N. Otwinowski // Fibre Chemistry. – 2019. – Vol. 51. – No 4. – P. 303-307 (0,58 / 0,19).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: обоснование и обобщение методологии матричного моделирования многопоточных и многоступенчатых систем тепло-массообмена, выбор и обоснование применения предложенной методологии, получение практических результатов и их анализ.

10. **Барочкин, А.Е.** Матричное представление модели тепловой схемы электрической станции / **А.Е. Барочкин**, В.П. Жуков, Е.В. Барочкин, Г.В. Ледуховский // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2018. – № 6. – С. 66-72 (0,81 / 0,20).

Соискателем А.Е. Барочкиным выполнены: разработка матричной модели многопоточной многоступенчатой системы тепловой схемы электростанции с целью построения энергетических характеристик оборудования при ограниченном объеме экспериментальных данных, получение численных и аналитических решений, анализ полученных результатов.

На диссертацию и автореферат поступили 16 отзывов из организаций: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (подписал д-р техн. наук, профессор Бобков Сергей Петрович, профессор кафедры «Информационные технологии и цифровая экономика»); Белорусский национальный технический университет, г. Минск (подписал д-р техн. наук, профессор Карницкий Николай Борисович, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции»); ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (подписали канд. техн. наук, доцент Орлов Михаил Евгеньевич, и.о. заведующего кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова»; д-р техн. наук, доцент Ротов Павел Валерьевич, профессор той же кафедры; канд. техн. наук, доцент Пазушкина Ольга Владимировна, доцент той же кафедры); Общество с ограниченной ответственностью «Коммунальные энергетические системы – Тейково», г. Тейково Ивановской области (подписал канд. техн. наук Зимин Артем Павлович, директор); Общество с ограниченной ответственностью «Интер РАО – Управление электрогенерацией», г. Москва (подписал канд. техн. наук Поляков Андрей Александрович, начальник производственно-технического отдела); Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Волжском (подписал д-р техн. наук, доцент Султанов Махсуд Мансурович, директор); ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (подписала д-р техн. наук, профессор Гатапова Наталья Цибиковна, заведующий кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»); ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (подписал д-р техн. наук, профессор Огурцов

Валерий Альбертович, профессор кафедры «Строительство и инженерные системы»); Филиал «Владимирский» Публичного акционерного общества «Т Плюс» (подписал канд. техн. наук Сорокин Роман Николаевич, директор); Общество с ограниченной ответственностью «Хуадянь-Тенинская ТЭЦ», г. Ярославль (подписал канд. техн. наук, Малков Евгений Сергеевич, ведущий инженер ПТО); ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платонова», г. Новочеркасск (подписали д-р техн. наук, доцент Белов Александр Алексеевич, профессор кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника»; канд. техн. наук, доцент Папин Владимир Владимирович, и.о. заведующего той же кафедрой); ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет» (подписала д-р физ.-мат. наук, профессор Капранова Анна Борисовна, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика»); ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (подписал д-р техн. наук, Комаров Иван Игоревич, проректор по науке и инновациям); ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (подписал д-р техн. наук, профессор Ковальногов Владислав Николаевич, заведующий кафедрой «Тепловая и топливная энергетика»); ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (подписал д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Республики Татарстан Лаптев Анатолий Григорьевич, профессор кафедры «Инженерная экология и безопасность труда»); Волховский филиал акционерного общества «Апатит» г. Волхов Ленинградской области (подписал канд. техн. наук Ненаезников Александр Юрьевич, ведущий инженер дирекции по капитальному строительству).

Основные замечания, содержащиеся в отзывах, не носят критического характера и касаются полноты изложения научных результатов работы в автореферате; обоснованности допущений, принятых при разработке математических моделей; ограничений на область использования математических моделей; возможности расширения предложенной методологии на моделирование и анализ парогазовых установок; отсутствия указаний на применяемые методики гидравлических расчетов и методики определения коэффициентов теплопередачи в анализируемых системах; ограничений на предельную сложность анализируемых систем; чувствительности значений выходных параметров на возмущения по входным параметрам; методических особенностей решения задач по разделению многокомпонентных смесей; порядка практического применения разработанных в диссертации методик расчета и программ для ЭВМ; вопросов экономического обоснования предложенных технических решений; сопоставления результатов работы с данными, полученными по альтернативным методикам расчета; степени обоснованности выбора объектов исследования; практических выводов из результатов теоретических исследований; особенностей решения конкретных производственных задач; сходимости результатов математического моделирования и результатов экспериментальных исследований; полноты материалов, изложенных в автореферате, касающихся многоступенчатой классификации сыпучих материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их соответствием критериям, предъявляемым пунктами 22, 24 «Положения о присуждении ученых степеней», а также их широкой известностью своими достижениями в теоретических и экспериментальных исследованиях процессов тепломассообмена, тепловой

экономичности, структурной и параметрической оптимизации оборудования тепловых электрических станций, энергетических комплексов и систем, которые позволяют им квалифицированно определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны: научные основы и методология математического описания процессов формирования энерго- и массопотоков в многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических системах и установках, базирующегося на матричной формализации уравнений баланса энергии и массы теплоносителей, обеспечивающего формализованное построение модели системы в установках произвольных структуры и конструктивного исполнения из унифицированных моделей отдельных её подсистем; **замкнутое математическое описание** паротурбинной установки и **единый подход** к математическому описанию тепловой электрической станции как многокомпонентной многопоточной многоступенчатой энергетической системы с целью построения энергетических характеристик турбоагрегатов; **математическая модель** многопоточных многоступенчатых теплообменных систем, каждая ступень которых может иметь произвольное число входных и выходных потоков, позволяющая моделировать системы с произвольной структурой связей между ступенями; **математические модели** многокомпонентных систем для процессов в дисперсных средах и процессов разделения смесей компонентов с разной температурой кипения;

предложены: математическое описание многопоточных теплообменных аппаратов с учетом возможного фазового перехода в теплоносителях для контактного теплообменного аппарата, используемого для утилизации влаги и тепловой энергии из дымовых газов котельных установок, позволяющее определять конструктивные характеристики теплообменного аппарата для получения заданного расхода конденсата или снижения температуры уходящих газов; **новый матричный метод решения обратных задач** по выбору конструктивных и режимных параметров теплообменных аппаратов, которые обеспечивают эффективную работу системы при выбранных комбинациях известных параметров теплоносителей; **новая формулировка обратной задачи многопоточной теплопередачи** и ее решение для случая скользящей границы начала фазового перехода при противоточном характере движения теплоносителей;

нетрадиционный подход к моделированию тепломассообмена в системах с многокомпонентным теплоносителем, основанный на вероятностной оценке попадания фракции определенной температуры кипения в дистиллят;

доказаны: перспективность использования методологии при моделировании и расчете процессов фракционирования смеси разнородных компонентов в многоступенчатой классифицирующей установке при исследовании разделения смеси разнородных сыпучих компонентов в классифицирующей системе; использования разработанных математических моделей для расчетного анализа и оптимизации многопоточных многоступенчатых и многокомпонентных систем с целью определения условий их эффективного функционирования; **применимость предложенной** методологии к моделированию и расчету процессов разделения смесей компонентов с разной температурой кипения;

введена: система классификации и кодификации задач тепломассообмена в многофазных многопоточных средах по четырем признакам: числу компонентов, числу потоков, числу ступеней в анализируемой системе, наличию возможного перехода между компонентами.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны: возможность применения разработанной методологии к моделированию процесса тепломассообмена в башенных градирнях с учетом фазового перехода в теплоносителях, процесса тепломассообмена в многоступенчатых испарительных установках; использования предложенной модели контактного теплообменного аппарата, применяемого для утилизации влаги и тепловой энергии из дымовых газов котельных установок, при проведении проектных расчетов; **целесообразность** применения разработанной методологии к математическому описанию ТЭС с целью построения и актуализации энергетических характеристик многопоточных многоступенчатых и многокомпонентных систем; **обоснованность и достоверность** применения методологии матричной формализации для описания процессов формирования энерго- и массопотоков в многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических установках и комплексах;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** методы теплового и материального балансов системы, методы расчета тепло- и массообмена, методы экспериментальных исследований, метод математического моделирования, методы технико-экономических расчетов теплоэнергетического оборудования и технологических схем энергоустановок, методология математического описания многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических систем и установок;

изложены: результаты экспериментальных исследований работы конденсационных котлов и классификации смеси разнородных компонентов, необходимые для идентификации математических моделей; **результаты натурных испытаний** турбоагрегатов, необходимые для построения диаграммы режимов и энергетических характеристик; **методологические основы** базирующегося на матричном описании процессов тепломассообмена единого подхода к построению математических моделей, процессов протекающих в многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических системах и установках; **результаты разработки** математических моделей для конкретных объектов; **научно обоснованные способы** совершенствования процесса разделения многокомпонентных смесей; **результаты использования методологии** матричной формализации для разработки модели паротурбинной установки ТЭС как многопоточной энергетической системы с учетом модели подсистемы конденсационной установки; **получены и проанализированы** результаты моделирования теплофикационного турбоагрегата с целью построения энергетических характеристик, выполнено сравнение результатов расчета с энергетическими характеристиками действующего турбоагрегата, показана достоверность и обоснованность предложенного подхода;

раскрыты: методы и подходы к разработке математических моделей многопоточных многоступенчатых теплообменных систем, каждая ступень которых может иметь произвольное число входных и выходных потоков; **возможности повышения**

эффективности теплопередачи в многопоточных аппаратах путем выбора оптимальной схемы взаимного движения теплоносителей;

изучены: аналитические решения задачи влияния направления движения потоков на эффективность теплообмена для четырехпоточного теплообменника и восьми возможных вариантов схем движения теплоносителей; **аналитические и численные решения** для контактного теплообменного аппарата, используемого для утилизации влаги и тепловой энергии из дымовых газов котельных установок; найдено оптимальное сочетание направлений движения потоков, обеспечивающее максимальный теплоотъем с горячего теплоносителя;

проведена модернизация: матричного описания и расчета процессов тепломассообмена в многопоточной противоточной системе путем учета положения скользящей границы начала фазового перехода.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены: программный комплекс «Расчет энергетических характеристик теплофикационной паровой турбины с учетом характеристик экономичности отсеков ее проточной части» – на Сакмарской ТЭЦ, Сызранской ТЭЦ и при оптимизации технологии обеспечения перспективных тепловых нагрузок теплового узла города Оренбурга; программный комплекс «Решение обратной задачи для многопоточных многоступенчатых систем» – на Сызранской ТЭЦ, Сакмарской ТЭЦ, ПГУ ТЭС «Международная» ООО «Ситиэнерго» (г. Москва); разработанное матричное описание и метод расчета многопоточного многокомпонентного процесса тепломассообмена в оросительной градирне – на Петрозаводской ТЭЦ; программные комплексы по расчету энергетических характеристик и решению обратных задач тепломассообмена для многоступенчатых систем – в учебный процесс Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина; результаты исследований процессов тепломассообмена в многоступенчатых многопоточных системах – в промышленные и научно-исследовательские проекты, реализуемые Ченстоховским технологическим университетом (Польша, Ченстохов); мероприятия, направленные на повышение эффективности и надёжности работы многопоточных систем теплообменных аппаратов, обеспечившие увеличение срока их безаварийной эксплуатации на котельной №27 ООО «Нижегород-теплогаз» (г. Дзержинск);

определены пределы и перспективы практического использования предложенных математических моделей и алгоритмов расчета, разработанных программ для ЭВМ при решении задач совершенствования многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических систем и установок;

создана система практических рекомендаций по повышению эффективности функционирования многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических систем и установок;

представлены методические рекомендации для более высокого уровня организации проектирования и эксплуатации оборудования энергетических комплексов и систем по критериям технологической и технико-экономической эффективности тепломассообмена.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ подтверждается воспроизводимостью результатов исследований, полученных на различных объектах; использованием для идентификации математических моделей экспериментальных данных, полученных в условиях промышленной эксплуатации с применением сертифицированных методов и средств измерения параметров и подвергнутых первичной обработке в соответствии с нормативными методиками;

теория построена на апробированных методах математического моделирования и не противоречит опубликованным данным других авторов по теме диссертации;

идея базируется на критическом анализе опыта моделирования, расчета и оптимизации оборудования и технологических многопоточных многокомпонентных многоступенчатых систем ТЭС и обобщении существующих подходов к математическому моделированию теплоэнергетического оборудования, в том числе процессов теплообмена, расчету показателей тепловой экономичности оборудования ТЭС;

использованы сравнение данных, представленных в диссертации, и опубликованных данных, полученных другими авторами, работающими в области математического моделирования процессов теплообмена, проектирования и режимной наладки теплообменных установок и технологических систем ТЭС, анализа показателей тепловой экономичности теплоэнергетического оборудования;

установлено качественное и количественное в пределах погрешности соответствующих методов и технических средств измерения совпадение результатов, представленных в диссертации, с экспериментальными данными, а также с опубликованными данными других авторов для идентичных либо аналогичных объектов;

использованы современные методы проведения экспериментальных исследований, представительные выборочные совокупности экспериментальных данных с обоснованием подбора объектов наблюдения.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке цели и задач исследования разработке и развитии обобщенной методологии математического описания процессов формирования энерго- и массопотоков в многокомпонентных многопоточных многоступенчатых энергетических системах и установках; в разработке модели паротурбинной установки как многокомпонентной многопоточной многоступенчатой энергетической системы; в определении и анализе энергетических характеристик турбоагрегата; в разработке математической модели многопоточных, многоступенчатых теплообменных систем, каждая ступень которых может иметь произвольное число входных и выходных потоков; в разработке математического описания многопоточного контактного теплообменного аппарата с учетом возможного фазового перехода в теплоносителях; в постановке и решении матричным методом обратных задач теплопередачи; в предложении новой формулировки обратной задачи теплопередачи для случая скользящей границы начала фазового перехода при противоточном характере движения теплоносителей; в разработке модели фракционирования многокомпонентной смеси сыпучих материалов в многоступенчатой классифицирующей установке; в получении и анализе экспериментальных данных по разделению смеси разнородных сыпучих компонентов в классифицирующей системе; в выполнении структурной и параметрической идентификации предложенных моделей; в формулировке и решении оптимизационной задачи по

извлечению целевого компонента из смеси разнородных компонентов; в разработке математического описания тепломассообменных процессов при разделении компонентов с разной температурой кипения для определения степени разделения компонентов и качества готового продукта; в оптимизации процессов тепломассообмена в системе многоступенчатых теплообменных аппаратов; в совершенствовании расчетных алгоритмов для прикладных программных комплексов; в непосредственном участии и руководстве работами по всем направлениям практической реализации результатов диссертации; в подготовке публикаций по тематике исследования.

В ходе защиты диссертации критических замечаний, подвергающих сомнению научную новизну и практическую ценность результатов диссертационных исследований, не поступило.

На заседании 18 октября 2024 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические и технологические разработки по созданию подходов к формализованному построению математических моделей и методов расчета тепломассообменных многопоточных многокомпонентных многоступенчатых систем со сложной конфигурацией потоков теплоносителей, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, присудить Барочкину А. Е. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

На этом заседание диссертационного совета считается закрытым.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

Подписи Ледуховского Г.В. и Бушуева Е.Н.
заверяю, Ученый секретарь Совета ИГЭУ



 Ледуховский Григорий Васильевич

 Бушуев Евгений Николаевич

 Вылгина Юлия Вадимовна