

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и инновациям  
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный  
радиотехнический университет  
им. В.Ф. Уткина», д.т.н.

С.И. Гусев

2025 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Рязанский государственный радиотехнический университет  
имени В.Ф. Уткина»

Диссертация «Математическое моделирование в проектировании импульсного рефлектометрического уровнемера первого контура ядерной энергетической установки» выполнена на кафедре систем автоматизированного проектирования вычислительных средств.

В период подготовки диссертации соискатель Румянцев Сергей Сергеевич был прикреплен в качестве соискателя при ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» и работал в АО «Моринсис-Агат-КИП» в отделе ГОЗ в должности начальника отдела.

Окончил ФГБОУ ВО РГРТУ в 2020 году с присвоением квалификации «бакалавр» по направлению «Приборостроение». В 2022 году окончил с отличием магистратуру по направлению «Приборостроение».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» выдано в 2025 году.

Научный руководитель – Корячко Вячеслав Петрович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования вычислительных средств ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Конкретные результаты, полученные лично соискателем:

– Формализованное описание математической модели СВЧ-тракта импульсного рефлектометрического уровнемера, учитывающую его конструктивные особенности, применительно к условиям эксплуатации в первом контуре ЯЭУ.

- Результаты исследований возможности использования чувствительного элемента импульсного рефлектометрического уровнемера в качестве дополнительного датчика температуры внутри первого контура ядерного реактора. Используя численные методы и формализованную математическую модель провести анализ и дать рекомендации по градуировке датчика.

- Результаты исследований возможности модернизации процесса калибровки чувствительного элемента, с использованием полученной математической модели.

- Предложения по модификации конструкции реперных меток, позволяющие повысить энергетическую эффективность зондирующего импульса.

- Программы компьютерного моделирования для проведения численного анализа в рамках комплексного исследования свойств импульсного рефлектометрического уровнемера.

## 2. Достоверность полученных результатов подтверждается:

- Корректным применением математических моделей.
- Апробацией основных результатов диссертации на Международных и Всероссийских конференциях.

- Сходимостью результатов в частных случаях с известными из литературы.

- Актами внедрения результатов диссертационной работы на производстве.

- Публикациями по теме диссертационной работы.

## 3. Научная новизна результатов:

- Создано формализованное описание математической модели СВЧ-тракта импульсного рефлектометрического уровнемера, отличием которого является функционирование в условиях первого контура ЯЭУ, наличие чувствительного элемента, представляющего собой жесткую фазостабильную коаксиальную линию, которая позволяет выполнить математическое моделирование, с использованием сред динамического моделирования, таких как Matlab Simulink, LabView, SiminTech, VisSim и других, использующих запись процесса в виде блок-диаграмм.

- Проведено комплексное исследование процесса калибровки импульсного рефлектометрического уровнемера, позволившее разработать методику калибровки импульсного рефлектометрического уровнемера первого контура ЯЭУ отличающуюся видом реперных меток и обеспечивающую коррекцию погрешности в автоматическом режиме. Техническое решение обладает научной новизной и защищено патентом на изобретение №2810705 "Рефлектометрический уровнемер" от 03 октября 2023 года.

- Предложен способ использования импульсного рефлектометрического уровнемера для измерения температуры теплоносителя в первом контуре ЯЭУ с реактором типа ВВРД, который позволяет дать рекомендации по построению градуировочной кривой для различных поддиапазонов значений температуры.

- Разработан алгоритм получения оптимальной, по критерию минимума квадрата ошибки, аппроксимации экспериментальной зависимости температуры

от относительной диэлектрической проницаемости теплоносителя, с использованием численных методов, обеспечивающий построение градуированных зависимостей температуры от относительной диэлектрической проницаемости.

– На основе анализа математических моделей процессов формирования эхо-сигнала разработан комплекс программ для компьютерного моделирования, в интересах комплексного исследования процессов формирования эхо-сигналов импульсного рефлектометрического уровнемера. Структура программного комплекса включает программы: "Программа для имитации работы импульсного рефлектометрического уровнемера ЯЭУ" и "Оптимизация аппроксимирующей функции по минимуму квадрата ошибок ". Получены авторские свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

#### 4. Практическая значимость и научная ценность результатов:

– разработанные математические модели процессов формирования эхо-сигнала применимы к задачам динамического моделирования систем управления и безопасности ядерных энергетических установок применяются в проектировании уровнемеров ядерных энергетических установок;

– предложенный метод калибровки позволяет повысить энергетическую эффективность и обеспечить точность измерения, сопоставимую с точностью установки реперной метки;

– Полученные новые научные результаты имеют теоретическую и практическую ценность и используются в АО «Моринсис-Агат-КИП» и АО «ПСЗ «Янтарь», что подтверждено актами о внедрении результатов диссертации.

5. Диссертация Румянцева С.С. соответствует требованиям, установленным пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней: при использовании заимствованных материалов в диссертации сделаны ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе на научные работы, выполненные Румянцевым С.С. лично или в соавторстве.

6. Содержание работы соответствует специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

7. Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в следующих работах соискателя:

7.1. Корячко В.П. Математическая модель рефлектометрического уровнемера для измерения уровня воды в контуре ядерной энергетической установки / В.П.Корячко, С.С.Румянцев, Л.В.Аронов //Вестник РГРТУ. Рязань. РГРТУ. 2023. Вып. 2 (84). С. 157-165. DOI: 10.21667/1995-4565-2023-84-157-165 (Румянцев С.С. предложил формальное математическое описание процессов формирования эхо-сигнала в импульсном рефлектометрическом уровнемере)

7.2. Корячко В.П. Имитационное моделирование калибровки импульсного рефлектометрического уровнемера с помощью реперных меток [Текст] / В.П.Корячко, С.С.Румянцев, Л.В.Аронов // Цифровая обработка сигналов – 2023. – № 2. – с. 64-69. (Румянцев С.С. предложил конструкцию протяженных реперных меток и обосновал выбор варианта реализации с учётом технологии производства)

7.3. Корячко В.П. Измерение температуры воды методом импульсной рефлектометрии в первом контуре ядерной энергетической установки / В.П.Корячко, С.С.Румянцев, Л.В.Аронов // Вестник РГРТУ. Рязань. РГРТУ. 2024. Вып. 1 (87). С. 121-127. DOI: 10.21667/1995-4565-2024-87-121-127 *(Румянцев С.С. обосновал алгоритм построения градуировочной кривой)*

7.4. Румянцев С.С. Компьютерное моделирование в проектировании рефлектометрического уровнемера для измерения уровня воды в контуре ядерной энергетической установки / С.С.Румянцев // Вестник РГРТУ. Рязань. РГРТУ. 2025. Вып. 1 (91). С. 143-147. DOI: 10.21667/1995-4565-2025-91-143-147

7.5. Пат. RU2810705C1 Российская Федерация, G01F 23/284. Рефлектометрический уровнемер / Л.В. Аронов, А.М. Орлов, С.С. Румянцев.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Моринформсистема-Агат-КИП" (RU). – № 2810705C1; заявл. 03.10.2023 ; опубл. 28.12.2023, Бюл. № 1. *(Румянцев С.С. предложил конструкцию протяженных реперных меток и выполнил поиск прототипа)*

7.6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024668973 Программа для имитации работы импульсного рефлектометрического уровнемера ЯЭУ / Аронов Л. В., Румянцев С.С. ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет» . – Заявка № 2024663013, дата поступления. 06 июня 2024 г.; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 13 августа 2024 г. *(Румянцев С.С. выполнил сбор научной и технической информации, разработка на их основе алгоритма расчета)*

7.7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024668440 Оптимизация аппроксимирующей функции по минимуму квадрата ошибок / Аронов Л. В., Румянцев С.С.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет» . – Заявка № 2024666822, дата поступления. 22 июля 2024 г.; дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 07 августа 2024 г. *(Румянцев С.С. выполнил сбор научной и технической информации, разработка на их основе алгоритма расчета)*

7.8. Румянцев С.С. Измерение уровня воды в контуре ядерной энергетической установки рефлектометрическим методом [Текст] / С.С. Румянцев // Информационные технологии в прикладных исследованиях, межвузовский сборник научных трудов. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2023. – с. 201-206

7.9. Румянцев С.С. Термометрия в первом контуре ядерной энергетической установки рефлектометрическим методом [Текст] / С.С. Румянцев // Информационные технологии в конструировании ЭС, межвузовский сборник научных трудов. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2024. – с. 193-197

7.10. Румянцев С.С. Особенности применения технологии TDR в первом контуре ядерной энергетической установки / С.С. Румянцев // XIII семинар вузов

по теплофизике и энергетике: тезисы докладов Всероссийской научной конференции [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2023.

7.11. Румянцев С.С. Измерение уровня теплоносителя в компенсаторе объема судовой ядерной энергетической установки методом импульсной рефлектометрии / С.С. Румянцев // Состояние, проблемы и перспективы разработки корабельных информационно-управляющих комплексов. Сборник докладов научно-технической конференции АО «Концерн «Моринсис-Агат». – М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат», 2023, 136 с.

7.12. Румянцев С.С. Математическая модель рефлектометра для измерения уровня воды в контуре ядерной энергетической установки / С.С. Румянцев // Состояние, проблемы и перспективы разработки корабельных информационно-управляющих комплексов. Сборник докладов научно-технической конференции АО «Концерн «Моринсис-Агат». – М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат», 2024, 136 с.

7.13. Румянцев С.С. Способ измерения температуры воды в первом контуре судовой ядерной энергетической установки методом импульсной рефлектометрии / С.С. Румянцев // Морской вестник, №1(17) – 2024. – с.60-61

7.14. Румянцев С.С. Измерение температуры воды методом импульсной рефлектометрии в диапазоне от 275 до 370 К / С.С. Румянцев // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2024 [текст]: сб. тр. VII междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2024. – с. 184-188

7.15. Румянцев С.С. Измерение температуры воды методом импульсной рефлектометрии / С.С. Румянцев // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, 2023 г. – с. 207-208

7.16. Румянцев С.С. Математическое моделирование в проектировании импульсного рефлектометрического уровнемера для ядерной энергетической установки / С.С. Румянцев // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. ИП Коняхин А.В., 2024 – 208 с.

Диссертация Румянцева С. С. отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям: является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научных задач по разработке формализованного описания математических моделей и численных методов анализа в интересах проведения комплексного исследования процессов формирования эхо-сигнала импульсного рефлектометрического уровнемера. Диссертация посвящена развитию актуального направления научных исследований, численным методам анализа математических моделей импульсного рефлектометрического уровнемера первого контура ЯЭУ и комплексный анализ на их основе в интересах

улучшения существующих измерительных систем, применительно к ядерной энергетике.

Диссертация «Математическое моделирование в проектировании импульсного рефлектометрического уровнемера первого контура ядерной энергетической установки» Румянцева Сергея Сергеевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Системы автоматизированного проектирования вычислительных средств». Присутствовало на заседании 20 человек. Результаты голосования: «за» – 20 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 6 от «04» февраля 2025 года.

Председатель заседания

декан ФВТ

д.т.н., профессор кафедры САПР ВС

Д.А. Перепелкин

Учёный секретарь кафедры САПР ВС

к.т.н., доцент

М.А. Бакулева

**Подписи Перепелкина Д.С. и Бакулевой М.А. заверяю.**

Учёный секретарь Учёного совета

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»

к.т.н., доцент



К.В. Бухенский