

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.09/2025.27.12.T.01.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ВОТИНОВ КИРИЛЛ АЛЕКСЕЕВИЧ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**05.04.02 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и
телевидения. Мобильные, волоконно-оптические системы связи**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical science**

Вотинов Кирилл Алексеевич

Модели и алгоритмы повышения надежности цифровых устройств
радиотехнических систем..... 3

Votinov Kirill Alekseyevich

Radiotexnika tizimlarining raqamli qurilmalari ishonchliligini oshirish
modellari va algoritmlari 21

Votinov Kirill Alekseevich

Models and algorithms for improving the reliability of digital devices in
radio technical systems..... 39

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ
List of published works 43

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.09/2025.27.12.T.01.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ВОТИНОВ КИРИЛЛ АЛЕКСЕЕВИЧ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**05.04.02 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и
телевидения. Мобильные, волоконно-оптические системы связи**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.1.PhD/T5193.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Писецкий Юрий Валерьевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Сиддилов Илхомжон Хакимович
доктор технических наук, профессор

Джаббаров Шухрат Юлдашевич
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация:

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Защита диссертации состоится 31 января 2026 г. в 12:00 часов на заседании научного совета DSc.09/2025.27.12.T.01.02 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (регистрационный номер № 403). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-15).

Автореферат диссертации разослан 21 января 2026 года.

(протокол рассылки №2 от 21 января 2026 года).



Б.Ш. Махкамов
Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, доктор экономических наук, профессор

М.С. Саиткамоллов
Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, доктор экономических наук, доцент

Д.А. Давронбеков
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире наблюдается ускоренное развитие информационно-коммуникационных технологий, что приводит к постепенному усложнению архитектуры и принципов функционирования современных телекоммуникационных систем, а применение методов оценки параметров надежности радиотехнических систем является одним из ведущих направлений. В мировом масштабе рост уровня интеграции и расширение объема передаваемой информации требуют обеспечения стабильной работы систем, повышения устойчивости к внешним и внутренним воздействиям, а также совершенствования процессов своевременной диагностики и восстановления, что требует внедрения в практику. В этом отношении анализ исследований, проводимых в США, Канаде, Германии, Южной Корее, Китае, Индии и Российской Федерации, показывает, что примерно 35%¹ научных разработок по радиотехническим системам направлены на совершенствование по критериям оптимизации их надежностных показателей, и их применение считается имеющим важное значение.

В мире в последние годы стремительно растёт технологическая сложность, усиливается необходимость углублённого анализа взаимодействия различных типов радиотехнических систем, а также возрастают дополнительные требования к моделированию и прогнозированию процессов тестирования, что усиливает внимание к созданию эффективных алгоритмов тестирования и методов диагностики, а также к изучению критериев оптимального размещения узлов с позиции их надёжности и алгоритмов оптимизации; в этом направлении ведутся научно-исследовательские работы. В этом отношении разрабатываются комплексные подходы к выявлению и оценке многофакторных неисправностей, возникающих в реальных условиях эксплуатации радиотехнических систем, а также проводятся дополнительные эксперименты по повышению практической эффективности алгоритмов с использованием современных средств моделирования, и в современных радиотехнических системах применение указанных подходов рассматривается как один из важнейших факторов повышения их надёжности, что привлекает особое внимание.

В Республике Узбекистан, по данным ГУП «ЦЭМС»², к концу 2024 года функционируют 962 единицы телевизионного и радиовещательного оборудования, в том числе 458 единиц приемо-передающего радиотехнического оборудования, в которых используются различные радиотехнические системы, и в этом направлении реализуются масштабные мероприятия, обеспечивающие достижение конкретных результатов. В Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022–2026 годы» определены следующие важные задачи: «...внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу и систему управления,

¹ <https://link.lens.org/suWLGOUCSMj>

² <https://cemc.uz/uz/emmm-dukda-2024-yil-natijalari-va-2025-yil-vazifalari-yigilishi-bolib-otdi>

стимулирование научно-исследовательской и инновационной деятельности, создание эффективных механизмов внедрения научных и инновационных достижений в практику...»³. В реализации указанных задач важное значение имеет разработка моделей, направленных на повышение надежности радиотехнических систем, а также алгоритмов тестирования, предназначенных для выявления предотказного состояния их функциональных узлов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, предусмотренных Законом Республики Узбекистан от 27 декабря 2024 года №ЗРУ-1015 «О телекоммуникациях», Указом Президента Республики Узбекистан от 5 октября 2020 года №УП-6079 «Об утверждении Стратегии “Цифровой Узбекистан-2030” и мерах по ее эффективной реализации», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 21 ноября 2018 года №ПП-4024 «О мерах по совершенствованию системы контроля за внедрением информационных технологий и коммуникаций и организации их защиты», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 22 мая 2019 года №ПП-4329 «О мерах по ускорению развития телекоммуникационной инфраструктуры в населенных пунктах Республики Узбекистан», Обращением Президента Республики Узбекистан к парламенту и народу от 20 декабря 2022 года, Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 7 марта 2018 года №185 «О мерах по дальнейшему улучшению качества услуг связи, информатизации и телекоммуникаций» и другими нормативно-правовыми документами, касающимися данной сферы.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. В настоящее время вопросы обеспечения высокой надежности радиотехнических систем приобретают особую актуальность, что обусловлено их сложностью и широким спектром применения. Проведен анализ статей, опубликованных в журналах, входящих в базы данных Springer, IEEE Xplore, Cyberlink, Scopus, Web of Science, Elsevier, ProQuest, в которых рассматриваются вопросы и решения, направленные на создание методов и алгоритмов повышения надежности цифровых устройств радиотехнических систем.

Этому направлению исследования посвящены труды таких известных зарубежных ученых, как E.L. Pugh, И.Е. Сафонова, Louis E. Frenzel Jr., L.R. Pendrill, Melin J., Stavelin A., Nordin G., S.K. Yoo, Sofotasios P.C., Cotton S.L., Muhaidat S.H., Badarneh O.S., Karagiannidis G.K. На территории стран СНГ в вопросы оптимизации аппаратурной надежности значительный вклад внесли К.А. Ибүду, К.А. Поляков, И.Е. Сафонова, Я.М. Голдовский и

³ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

Р.А. Жамсаранова. В Республике Узбекистан значительный вклад в изучение методов диагностики цифровых устройств и анализа неисправностей аппаратных компонентов внесли Т.Д. Раджабов, М.Г. Васильева, А.А. Хаитов, Р.И. Исаев, Д.А. Давронбеков и Ш.У. Пулатов.

Проведенный анализ исследований показал, что в ряде работ недостаточно рассмотрены вопросы интеграции моделей тестирования и диагностирования в общую методику оценки надежности радиотехнических систем. А также, недостаточно проработан вопрос комплексной диагностики сложных радиотехнических систем.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий в рамках проектов: MRB-2021-519 “Смарт-система персонального мониторинга состояния здоровья человека” (2021-2023) и FL-7923051857 “Методы, методики и программное обеспечение для моделирования характеристик каналов спутниковой связи” (2024-2026).

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов повышения надежности функционирования отдельных блоков и узлов цифровых устройств радиотехнических систем.

Задачи исследования:

анализ существующих способов обнаружения предотказного состояния цифровых устройств, входящих в состав радиотехнических систем, а также методов и средств, используемых для расчета надежности радиотехнических систем;

разработка математической модели повышения надежности радиотехнической системы, основанная на выявлении предотказного состояния цифровых устройств радиотехнических систем и учитывающая их схемотехнические и статистические особенности;

разработка комплексной модели оценки схемной надежности функционального блока радиотехнической системы;

разработка алгоритмов тестирования радиотехнической системы с целью выявления предотказного состояния её функциональных узлов;

разработка физической модели устройства для определения неполадок путём измерения электрических параметров в контрольных точках схем различных радиотехнических систем.

Объектом исследования являются цифровые устройства радиотехнических систем, а также их структурные элементы и узлы, оказывающие значительное влияние на показатели надежности функционирования.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы повышения надежности цифровых устройств радиотехнических систем.

Методы исследования. В диссертации при решении поставленных задач использовались методы математического и численного моделирования,

системного анализа, теории вероятностей, теории надежности, а также проведение экспериментов и методы статистической обработки результатов исследований.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствован способ обнаружения предотказного состояния цифровых устройств, входящих в состав радиотехнических систем, на основе последовательного применения методов декомпозиции, расчета математического ожидания и формирования контрольных точек;

разработана математическая модель повышения надежности радиотехнической системы, основанная на выявлении предотказного состояния цифровых устройств радиотехнических систем и учитывающая их схемотехнические и статистические особенности;

разработана комплексная модель оценки схемной надежности функционального блока радиотехнической системы, учитывающая вероятностные параметры и изменения в характеристиках ее компонентов для определения наиболее отказоопасных элементов схемы;

разработаны алгоритмы тестирования радиотехнической системы с целью выявления предотказного состояния её функциональных узлов на основе сопоставления измеряемых электрических параметров с вероятностными признаками неисправностей элементов схемы.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

созданная модель повышения надёжности радиотехнической системы с учётом сравнительного анализа уязвимостей цифровых устройств радиочастотных систем, в процессе реализации позволила увеличить точность прогнозирования отказов и сократить время диагностики радиостанции, что повысило пропускную способность диагностических центров и упростило работу технического персонала, что подтверждается актами внедрения;

разработанные алгоритмы тестирования для выявления предотказного состояния на примере возимой радиостанции, обеспечили высокую оперативность диагностики и планирования профилактических мероприятий, что подтверждается актами внедрения;

разработана физическая модель устройства определения неполадок путём измерения электрических параметров в контрольных точках схемы, применение которой позволило повысить эффективность обслуживания, сократить объём внеплановых ремонтов и повысить восстанавливаемость радиотехнических систем.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных результатов по моделям и алгоритмам, направленным на повышение надежности цифровых устройств разработанных радиотехнических систем:

модель повышения надежности радиотехнической системы, основанная на выявлении предотказного состояния цифровых устройств, входящих в состав радиочастотных систем, внедрена в ООО «Центр научно-технических и маркетинговых исследований «UNICON.UZ», а также в Военный институт информационно-коммуникационных технологий и связи Министерства обороны и войсковую часть 41564 (справка Министерства обороны Республики

Узбекистан №10/1291 от 24 июня 2025 г.) в процессы разработки требований и проведения научно-исследовательских работ по планированию профилактических мероприятий. В результате появилась возможность увеличить точность прогнозирования отказов на 1,2–1,5%;

комплексная модель оценки схемной надежности функционального блока радиотехнической системы внедрена в ООО «Центр научно-технических и маркетинговых исследований «UNICON.UZ», а также в Военный институт информационно-коммуникационных технологий и связи Министерства обороны и войсковую часть 41564 (справка Министерства обороны Республики Узбекистан №10/1291 от 24 июня 2025 г.) в процессы исследования, диагностики и эксплуатации радиотехнических систем. В результате научного исследования процессы прогнозирования, диагностики и оценки соответствия стали более эффективными, быстрыми и точными. Уменьшение числа несоответствий при проведении оценки соответствия привело к сокращению времени на повторные проверки оборудования, что повысило пропускную способность диагностических центров и упростило работу технического персонала;

алгоритмы тестирования возимых радиостанций для выявления предотказного состояния на радиостанциях Р-183 внедрена в ООО «Центр научно-технических и маркетинговых исследований «UNICON.UZ», а также в Военный институт информационно-коммуникационных технологий и связи Министерства обороны и войсковую часть 41564 (справка Министерства обороны Республики Узбекистан №10/1291 от 24 июня 2025 г.) в практику технического обслуживания. В результате появилась возможность повысить эффективность выявления предотказных состояний и планирования профилактических мероприятий. В частности, благодаря внедрению, время диагностики одной радиостанции сократилось с 2 минут до 25 секунд;

физическая модель устройства тестирования, основанная на измерении электрических параметров в контрольных точках схемы возимых радиостанций, внедрена в ООО «Центр научно-технических и маркетинговых исследований «UNICON.UZ», а также в Военный институт информационно-коммуникационных технологий и связи Министерства обороны и войсковую часть 41564 (справка Министерства обороны Республики Узбекистан №10/1291 от 24 июня 2025 г.) в практику эксплуатации. Использование предложенной физической модели, основанной на применении комплексной модели расчёта надежности, позволило сократить время проверки с 3 дней (~70 часов) до 2 дней (~49 часов).

Достоверность результатов исследования обусловлена разработкой комплексной модели оценки схемной надежности функционального блока радиотехнической системы, корректной постановкой проблемы и подтверждением экспериментальных исследований, использование моделей и алгоритмов в расчетах поясняется сравнительным анализом результатов теоретических и прикладных исследований на основе общепринятых критериев.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость работы заключается в разработке алгоритмов тестирования, аналитических моделей и комплексной модели расчета надежности элементов РТС, направленных на повышение точности диагностики и предотвращение отказов.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в создании алгоритмов для анализа узлов возимых радиостанций, наиболее подверженных отказам, а также физической модели устройства для измерения электрических параметров в контрольных точках РТС, что позволяет повысить надёжность РТС за счёт увеличения их восстанавливаемости.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждены на 7 международных и 3 Республиканских научно-практических конференциях, а также на научных семинарах.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 20 научных работ, из них 8 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 8 в республиканских журналах, получено 2 свидетельства регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, выявлены цель и задачи, определены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их научная и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования, апробации опубликованных работ и структура диссертации.

В первой главе диссертации **«Современные подходы к оценке надежности цифровых устройств в радиотехнических системах»** проведен обзор ключевых понятий и методов обеспечения надежности цифровых устройств РТС. Рассмотрены графоаналитический метод определения схемной надежности, метод распределения математического ожидания случайных состояний и метод построения отказоустойчивых кластеров. Показано, что экспоненциальный закон распределения адекватно описывает надежность восстанавливаемых РТС, для которых интенсивность отказов остается практически постоянной между восстановительными мероприятиями. Отмечено, что выбор модели распределения должен подтверждаться экспериментальными данными, а при их отсутствии целесообразно использовать априорные предположения с последующей статистической проверкой.

Для оценки надежности сложных РТС подчеркнута необходимость системного подхода. Одним из направлений повышения надежности выделена оценка надежности на уровне электрической схемы устройства (схемная надежность). Надежность сложной РТС предложено рассматривать иерархически: на системном уровне (надежность системы определяется надежностью её основных блоков – приемо-передающего, питания и др.), уровне узлов (надежность определяется надежностью узлов, таких как приемник, синтезатор, усилитель мощности, модулятор и пр.) и уровне элементов (надежность определяется надежностью отдельных цифровых компонентов, обеспечивающих работу узлов, например контроллеров, детекторов, регуляторов и т.д.).

Для расчета надежности по многоуровневой модели применяется подход «снизу-вверх»: вычисляются показатели надежности отдельных элементов, затем на их основе – надежность узлов, блоков и в итоге всей системы. В частности, для последовательно соединенных компонентов вероятность безотказной работы системы равна произведению вероятностей безотказной работы всех компонентов. Также приведен обзор основных законов распределения времени безотказной работы электронных устройств (экспоненциального, Вейбулла, нормального) и обсуждены условия их применения в зависимости от характера отказов.

Рассмотрен подход к учету случайного характера возникновения отказов, основанный на разбиении работы устройства на чередующиеся состояния «работы» и «простоя/ремонта» и вычислении математического ожидания времени бесперебойной работы с учетом вероятности возникновения отказа во время простоя. Проведенный анализ современных подходов показал отсутствие единой методики, интегрирующей диагностику и тестирование в общую оценку надежности, что подтверждает необходимость разработки комплексных моделей и алгоритмов для повышения надежности РТС.

Приводится описание процесса сравнительного анализа эффективности трёх методов расчёта надежности РТС, а также комбинированного подхода, в котором объединяются их ключевые принципы. Проведенный сравнительный анализ направлен на выявление особенностей применения каждого метода по отдельности и определение преимуществ их совместного использования.

Сравнительная симуляция проводилась с использованием разработанного приложения, где в автоматизированном режиме рассчитывались показатели надежности по каждому из трёх методов и их комбинированной реализации.

Итоговые результаты представлены в форме процентного распределения, демонстрирующего соотношение эффективности каждого метода и их комбинации (рис. 1).

Такой формат позволяет проследить, каким образом интеграция нескольких подходов обеспечивает более стабильные и точные показатели по сравнению с их отдельным использованием.

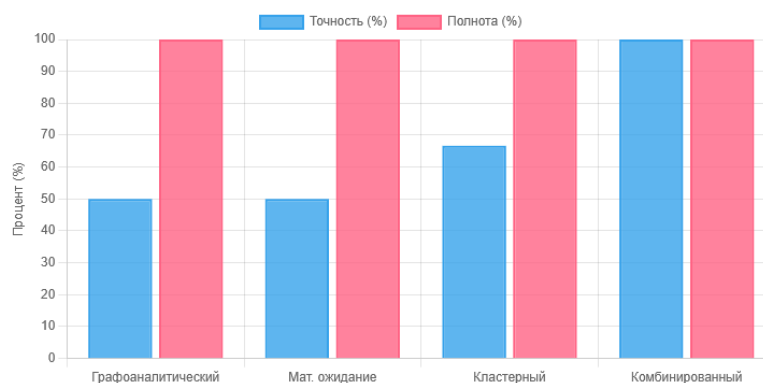


Рис. 1: Результаты точности и полноты выявления отказоопасных элементов тестовой радиотехнической системы

А также представлена блок-схема, отображающая последовательность исследования, необходимую для решения поставленных задач (рис. 2).

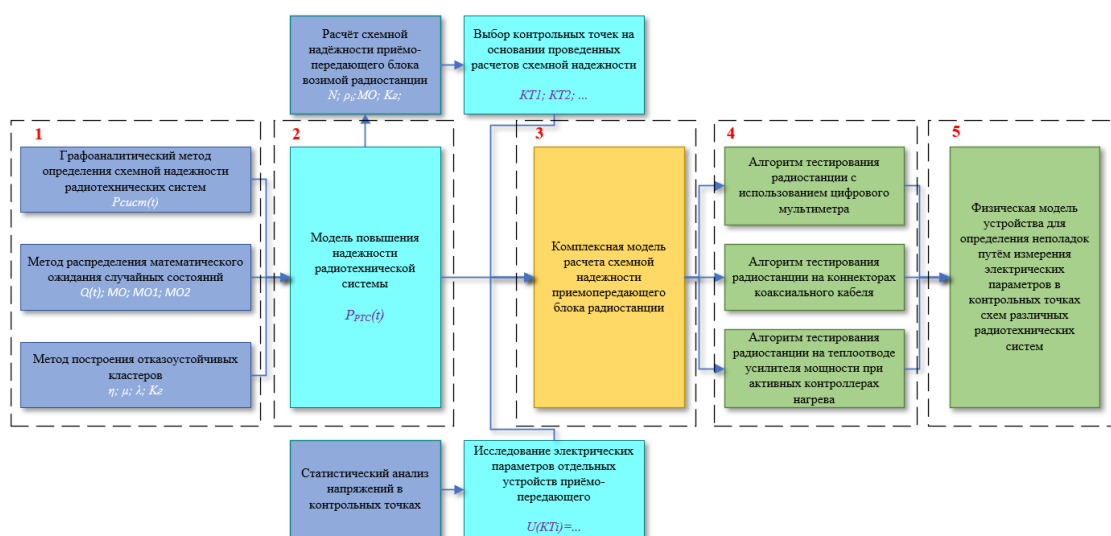


Рис. 2: Блок-схема, отображающая последовательность исследования, необходимого для решения поставленных задач

Показано, что надежность цифровых устройств является комплексным свойством, зависящим от множества внутренних и внешних факторов. Для количественной оценки надежности определены показатели (математическое ожидание времени бесперебойной работы, коэффициент готовности и др.) и указаны методы их расчета.

Во второй главе диссертации «Разработка комплексной модели расчета схемной надежности приемопередающего блока радиостанции и алгоритма ее реализации» представлен системный анализ узлов и элементов радиотехнических систем с выявлением ключевых факторов отказов (перегрев, электромагнитные помехи, механические повреждения, деградация элементов). Обосновано использование схемной надежности как базового подхода при построении математической модели повышения надежности РТС. В результате усовершенствован способ обнаружения предотказного состояния цифровых

устройств, входящих в состав радиочастотных систем, путем последовательного применения методов расчета надежности радиотехнических систем.

Математическая модель повышения надежности радиотехнической системы построена на использовании вероятности безотказной работы, зависящей от того, является ли система восстанавливаемой или нет. Для восстанавливаемых РТС (например, радиостанция Р-183) оценка проводится с помощью структурных схем надежности.

В случае системы без резервирования, отказ любого элемента, узла или блока системы приводит к отказу всей РТС. С предположением того, что отказы элементов, узлов или блоков исследуемой РТС являются независимыми и подчиняются экспоненциальному закону распределения, то общая вероятность безотказной работы РТС определяется произведением вероятностей безотказной работы всех n элементов:

$$P_{РТС}(t) = P_{МТГ}(t) \cdot P_{ААСУ}(t) \cdot P_{БП}(t) \cdot P_{УМ}(t) \cdot P_{ППД}(t) \quad (1)$$

где $P_{МТГ}(t)$ – вероятность безотказной работы узла микрофонно-телефонной гарнитуры.

$P_{ААСУ}(t)$ – вероятность безотказной работы узла автоматического антенного согласующего устройства.

$P_{БП}(t)$ – вероятность безотказной работы узла блока питания.

$P_{УМ}(t)$ – вероятность безотказной работы узла усилителя мощности.

$P_{ППД}(t)$ – вероятность безотказной работы узла приемо-передатчика.

Если обратиться к выражению, описывающему экспоненциальный закон распределения, тогда можно преобразовать выражение (1) в следующий вид:

$$P_{РТС}(t) = e^{-\lambda_{МТГ}(t)} \cdot e^{-\lambda_{ААСУ}(t)} \cdot e^{-\lambda_{БП}(t)} \cdot e^{-\lambda_{УМ}(t)} \cdot e^{-\lambda_{ППД}(t)} = e^{-(\lambda_{МТГ} + \lambda_{ААСУ} + \lambda_{БП} + \lambda_{УМ} + \lambda_{ППД})t} \quad (2)$$

В радиостанции соседство усилительных модулей и антенно-фидерных устройств создает дополнительный риск взаимного влияния, особенно в условиях значительных температурных и механических нагрузок.

Поэтому, с учетом результатов исследований наиболее часто встречающихся отказов РТС, а также возможностей способов оценки надежности цифровых устройств:

$$P_{РТС}(t) \propto \lambda_{ППД}(t) \quad (3)$$

При разработке комплексной модели расчета схемной надежности приемопередающего блока принимаем допущения:

- 1) РТС работает в нормальном периоде эксплуатации;
- 2) отказы и сбои в РТС подчиняются экспоненциальному закону распределения;
- 3) отказ любой из составляющей РТС приводит к отказу всей системы;
- 4) все элементы приемопередающего блока работают непрерывно в течение сеанса связи

Для оценки надежности определяется, отказы каких узлов критичны для выполнения функций РТС. При этом, первым шагом служит построение графа структурной схемы приемопередающего блока с декомпозицией элементов.

Нагрузка элемента определяется как отношение числа соединений этого элемента к общему числу соединений в функциональной схеме:

$$\rho_i = \frac{n_i}{N} \quad (4)$$

где ρ_i — это нагрузка на i -й элемент;

n_i — это количество соединений i -го элемента с другими элементами;

N — это суммарное количество соединений всех элементов друг с другом.

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \quad (5)$$

где m — количество элементов входящих в состав РТС

Следующим шагом будет определение математического ожидания отказа. С учетом принятого начального условия 3, математическое ожидание периода занятости рассчитывается с использованием MO_i для каждого отдельного элемента с учетом данных о нагрузке и времени активной работы в следующем виде:

$$\begin{aligned} MO &= \int_0^{t+\Delta t} e^{-t} [1 - P_0(t)] dt \cdot MO_1 = \\ &= MO_1 \cdot \left[-e^{-(t+\Delta t)} + 1 - P_0(t) \cdot (t + \Delta t + 2) \cdot e^{-(t+\Delta t)} + 2 \cdot P_0(t) \right] \end{aligned} \quad (6)$$

Следующим шагом в расчете схемной надежности является определение, по схеме последовательно соединенных кластерных структур, параметров случайного времени переключения η ; времени включения после ремонта μ и времени исправной работы λ . После этого вычисляется коэффициент готовности каждого элемента K_{ci} и общий коэффициент готовности $K_{\Sigma c}$.

На рисунке 3 приведено графическое представление комплексной модели расчета схемной надежности приемопередающего блока радиостанции.

Завершающим шагом расчета является анализ текущего и прогнозируемого технического состояния всех элементов приемопередающего блока возимой радиостанции на основании полученных данных о коэффициенте готовности каждого из них с целью выявления наименее надежных из них.

В третьей главе диссертации «Исследование параметров надёжности приёмопередающего блока РТС на примере реальной радиостанции» проведён расчёт схемной надёжности на примере приёмо-передающего блока возимой радиостанции Р-183, показавший, что наиболее критическими элементами, влияющими на надёжность системы, являются кейс (корпус) усилителя мощности, теплоотвод усилителя мощности и контроллер декодера; применена разработанная комплексная модель расчета схемной надежности для выбора контрольных точек в наиболее нагруженных узлах, что улучшило

существующие способы оценки коэффициента готовности РТС; заданы допустимые диапазоны изменений сигналов для нормального режима работы, что повышает достоверность диагностики; показано, что измерения напряжений в выбранных контрольных точках позволяют оперативно диагностировать неисправности и предотказное состояние узлов приёмопередающего блока.

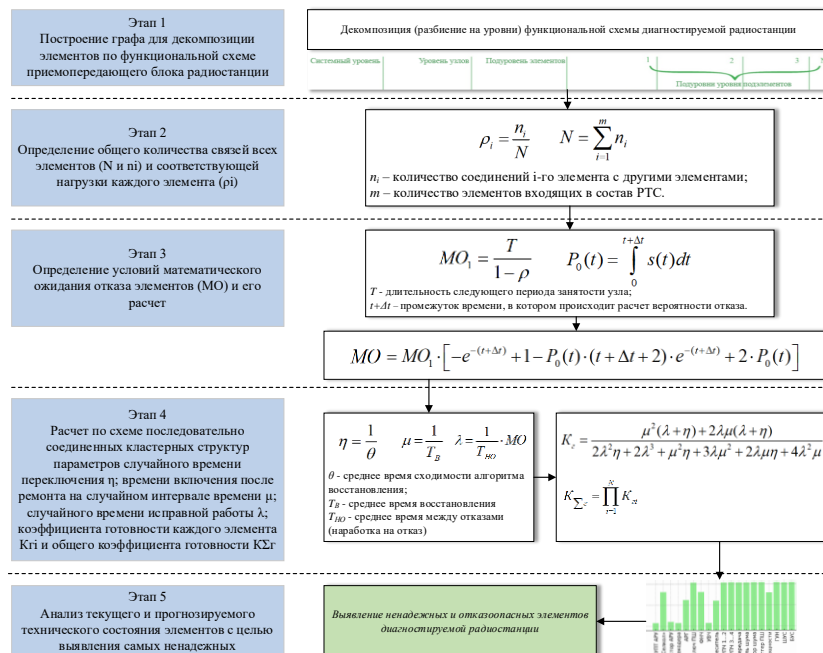


Рис.3. Графическое представление комплексной модели расчета схемной надежности приёмопередающего блока радиостанции

Применение комплексной модели расчета схемной надежности на конкретном примере – приёмо-передающем блоке возимой радиостанции Р-183 – позволило продемонстрировать её применимость для задач диагностики, локализации отказов и построения системы технического контроля.

Согласно проведённому анализу K_{gi} различных цифровых устройств, входящих в состав приёмо-передающего блока Р-183, выявлено несколько элементов с наихудшими показателями надёжности (наименьшим K_{gi}):

1. УПТ АРУ
2. Детектор сигнала и детектор АРУ
3. Контроллер декодера
4. УВЧ
5. Антенный коммутатор
6. Предварительный каскад

Перечисленные наименее надёжные элементы функционально и конструктивно сгруппированы вокруг трёх ключевых узлов приёмопередающего блока: усилителя мощности, системы теплоотвода и системы управления и декодирования.

В соответствии с одной из целей данного исследования (создание алгоритма повышения надёжности возимых радиостанций) после анализа

результатов предыдущих глав и проведённых надёжных расчётов была разработана схема размещения контрольных точек в приёмно-передающем блоке радиостанции Р-183 (рис. 4). На этой функциональной схеме отмечены выбранные контрольные точки (КТ) с привязкой к соответствующим узлам.

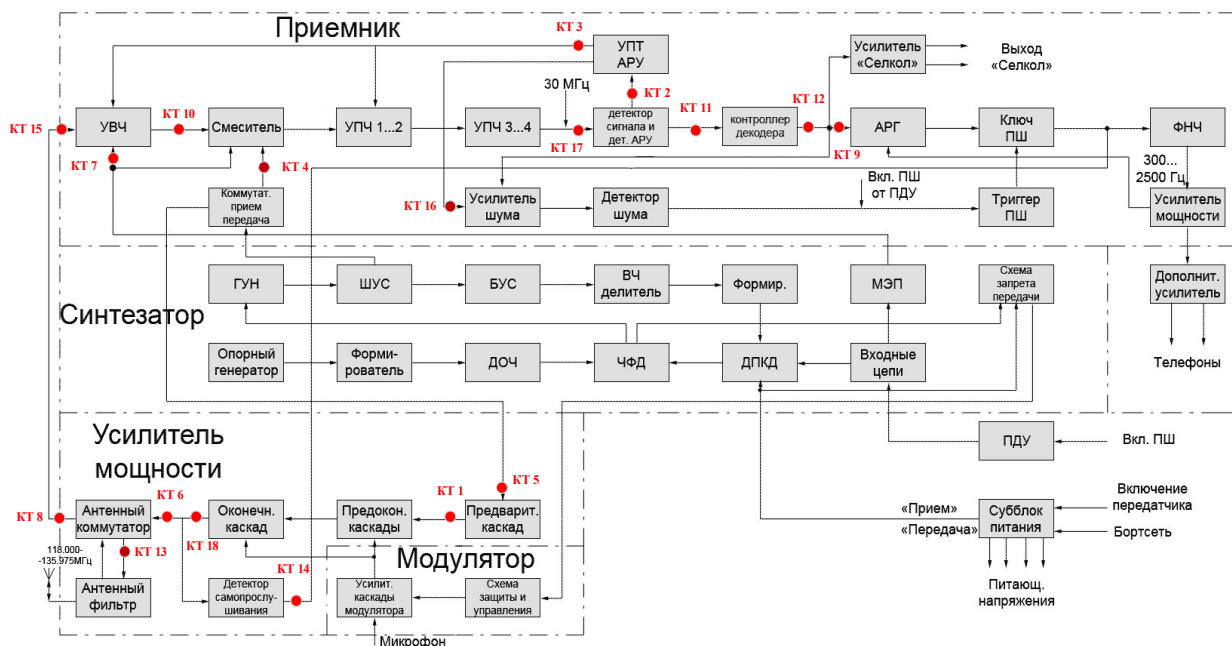


Рис.4 Схема расположения контрольных точек в приемопередающем блоке возимой радиостанции Р-183

Для обоснования выбора номинальных напряжений и диапазонов отклонений в контрольных точках был проведён статистический анализ результатов измерений. Каждая контрольная точка исследовалась путём многократного измерения напряжения на ней при различных экземплярах оборудования и условиях эксплуатации, но в исправном состоянии системы.

В четвертой главе диссертации «**Разработка алгоритмов тестирования возимой радиостанции с целью выявления предотказного состояния**» разработаны алгоритмы для своевременного обнаружения признаков приближающегося отказа в функциональных узлах радиостанции. Разработанные алгоритмы позволяют на ранней стадии диагностировать соответствующие узлы и выявлять их предотказное состояние. Кроме того, создана физическая модель диагностического устройства, реализующего предложенные алгоритмы на практике. Эта модель объединяет все разработанные алгоритмы тестирования и предназначена для оперативного поиска неисправностей путём измерения электрических параметров в контрольных точках схем различных радиотехнических систем.

Алгоритм тестирования радиостанции с использованием цифрового мультиметра (рис. 5) предназначен для диагностики внутренних узлов приёмно-передающего блока. Его суть заключается в последовательной проверке диагностических сигналов в контрольных точках схемы возимой радиостанции, относящихся к внутренним узлам, посредством измерений цифровым мультиметром в режиме модульной системы приема телеметрии (МСПТ).

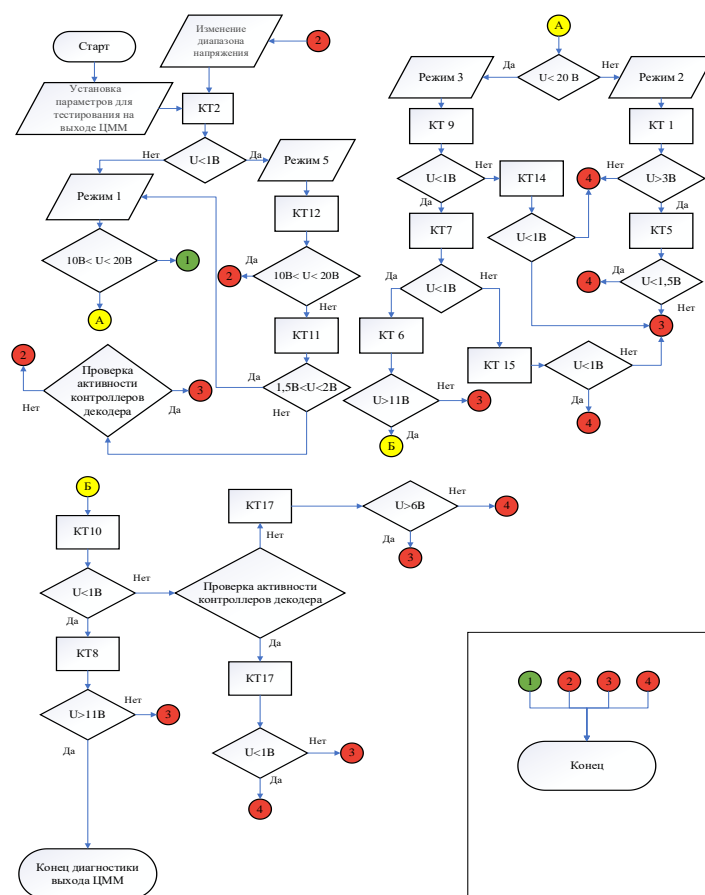


Рис.5. Алгоритм тестирования радиостанции с использованием цифрового мультиметра

Алгоритм, представленный на рисунке 5, фокусируется на диагностике внутренних узлов и контрольных точек приемопередающего блока. Однако для комплексной оценки технического состояния радиостанции недостаточно ограничиваться измерениями только внутри устройства. На следующем этапе разработан алгоритм тестирования на коннекторах коаксиального кабеля (рис. 6), который позволяет оценить параметры тракта передачи высокочастотного сигнала и выявить возможные неисправности, связанные с внешними соединениями и выходными каскадами усилителя.

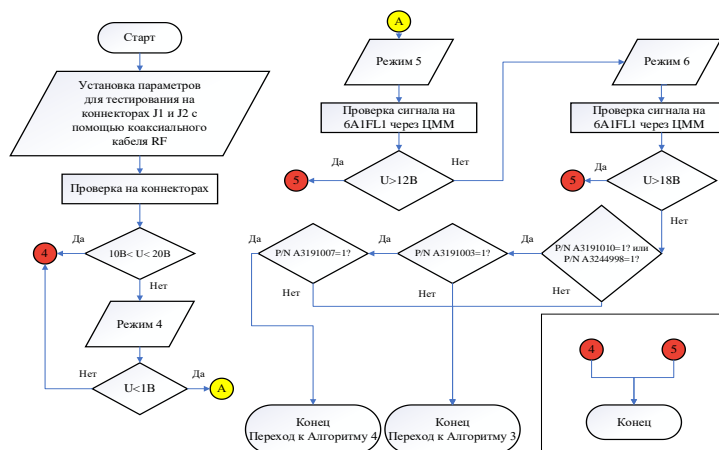


Рис.6. Алгоритм тестирования радиостанции на коннекторах коаксиального кабеля

В случаях, когда результаты тестирования на коаксиальных коннекторах указывают на возможные проблемы с теплоотводом (например, обнаружено срабатывание хотя бы одного контроллера нагрева), необходимо провести углублённую проверку системы охлаждения выходного каскада.

Разработанный алгоритм тестирования на теплоотводе усилителя мощности охватывает две ситуации эксплуатации:

1. наличие аномального теплового режима (перегрева), свидетельством которого служит отключение хотя бы одного контроллера нагрева (рис. 7);

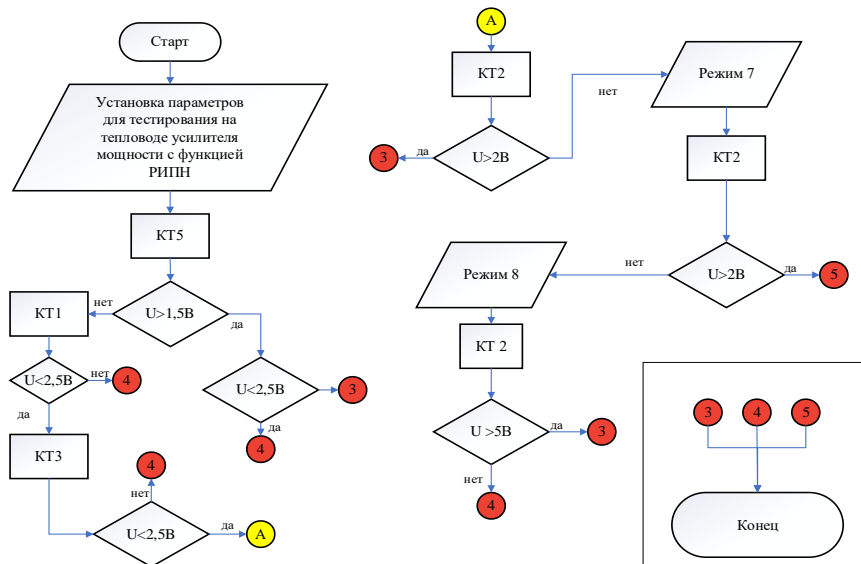


Рис.7. Алгоритм тестирования радиостанции на теплоотводе усилителя мощности при активных контроллерах нагрева

2. нормальный тепловой режим (все контроллеры активны), когда проверка проводится превентивно, без явных признаков перегрузки по температуре (рис. 8).

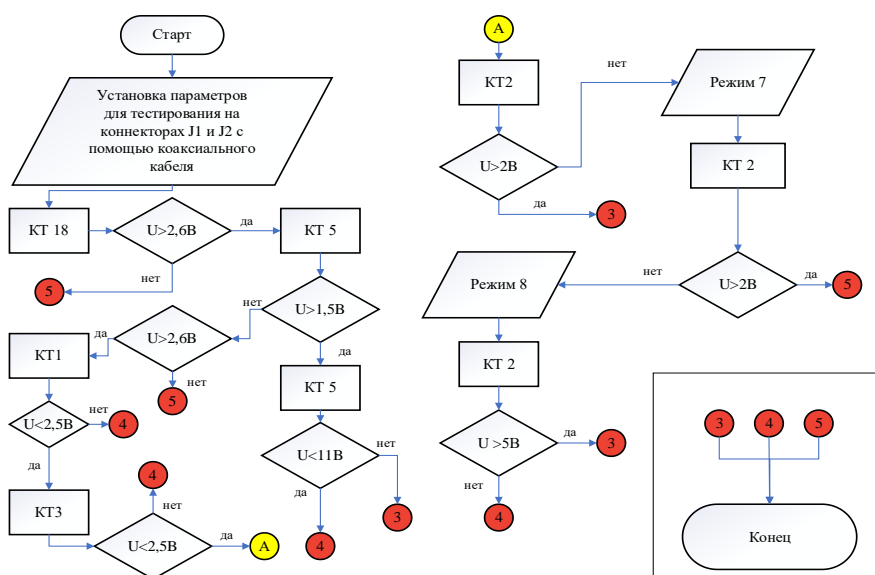


Рис.8. Алгоритм тестирования радиостанции на теплоотводе усилителя мощности при неактивных контроллерах нагрева

Во всех разработанных алгоритмах тестирования определены пять основных возможных исхода проверки:

1. Устройство функционирует в штатном режиме (предотказного состояния не выявлено).
2. Выявлено предотказное состояние теплоотвода усилителя мощности.
3. Выявлено предотказное состояние кейса усилителя мощности.
4. Выявлено предотказное состояние одного из контроллеров декодера (6A2).
5. Выявлено предотказное состояние одного из контроллеров декодера (6A1A3).

Кроме того, создана физическая модель диагностического устройства, реализующего предложенные алгоритмы на практике. Эта модель объединяет все разработанные алгоритмы тестирования и предназначена для оперативного поиска неисправностей путём измерения электрических параметров в контрольных точках схем различных радиотехнических систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований в диссертации доктора философии (PhD) на тему «Модели и алгоритмы повышения надежности цифровых устройств радиотехнических систем» представлены следующие выводы:

1. Исследование было сосредоточено на моделях и алгоритмах повышения их надежности цифровых устройствах радиотехнических систем. В результате выполненной работы поставленная цель была полностью достигнута. Все четыре задачи исследования, сформулированные во введении, успешно решены.

2. Усовершенствован способ обнаружения предотказного состояния цифровых устройств, входящих в состав радиочастотных систем, на основе последовательного применения методов расчета надежности радиотехнических систем. Предложенный способ объединяет преимущества графоаналитического метода, метода распределения математического ожидания случайных состояний и метода построения отказоустойчивых кластеров, что позволило повысить точность оценки предотказных состояний и обеспечить более полное учёт взаимодействий между элементами радиотехнических систем.

3. Создана математическая модель повышения надежности радиотехнической системы, опирающаяся на структурную модель расчета надежности модулей рассматриваемой возимой радиостанции и учитывающая особенности конструкции и условий эксплуатации оборудования. Модель основана на ранее усовершенствованном способе обнаружения предотказного состояния цифровых устройств и использует результаты последовательного применения методов расчета надежности радиотехнических систем, что позволило выявить критические компоненты, в наибольшей степени влияющие на надежность радиоэлектронного оборудования.

4. Разработана комплексная модель оценки схемной надежности функционального блока радиотехнической системы (на примере

приемопередающего блока возимой радиостанции). В основе модели лежит метод декомпозиции с применением кластерного и графового представления структуры функционального блока, учитывающий влияние вероятности возникновения отказов отдельных компонентов на надежность узла в целом. Использование предлагаемой модели обеспечивает высокую точность прогнозирования надежности в различных условиях эксплуатации и при разной интенсивности восстановления элементов, что позволило повысить точность прогноза на 1,2–1,5% (согласно актам внедрения, приведенным в Приложении 1).

5. На основе предложенной комплексной модели разработаны алгоритмы тестирования радиотехнической системы (на примере возимой радиостанции) для своевременного выявления предотказного состояния ее ключевых узлов. Алгоритмы охватывают различные аспекты диагностики: проверку на перегрев компонентов (например, узла теплоотвода усилителя мощности), контроль параметров на коаксиальных соединениях и оперативное измерение напряжений в контрольных точках схемы с использованием цифрового мультиметра. Применение разработанных алгоритмов позволяет заблаговременно обнаруживать отклонения от нормы в работе системы, тем самым предотвращая отказ и повышая общую надежность оборудования.

6. Создана физическая модель устройства диагностики радиотехнических систем для оперативного обнаружения неисправностей путем измерения электрических параметров в контрольных точках схем различных радиотехнических систем. Применение данного устройства позволяет быстро выявлять отклонения от нормальных режимов работы узлов, существенно сокращая время диагностики и повышая эффективность эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры.

7. Разработанные модели, алгоритмы и устройство внедрены в практику, что позволило существенно улучшить ключевые показатели надежности. В частности, время диагностики отказов сокращено с 2 минут до 25 секунд, точность прогнозирования технического состояния аппаратуры повышена на 1,2–1,5%. Полученные результаты подтверждают эффективность усовершенствованных методов оценки надежности цифровых устройств радиотехнических систем, разработанных в ходе исследования. Указанные результаты подтверждены актами внедрения и свидетельствуют о высокой эффективности и прикладной ценности предложенных решений.

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.09/2025.27.12.T.01.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

VOTINOV KIRILL ALEKSEYEVICH

RADIOTEXNIKA TIZIMLARINING RAQAMLI QURILMALARI
ISHONCHLILIGINI OSHIRISH MODELLARI VA ALGORITMLARI

05.04.02 – Radiotexnika, radionavigatsiya, radiolokatsiya va televideniye tizimlari va qurilmalari. Mobil, tolaoptik aloqa tizimlari

TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/T5193 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tuit.uz) va "ZiyoNet" axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Pisetskiy Yuriy Valerevich
texnika fanlar doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Siddikov Ilxomjon Xakimovich
texnika fanlari doktori, professor

Djabbarov Shuxrat Yuldashevich
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.09/2025.27.12.T.01.02 raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil 31-yanvar soat 12:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (403-raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (+99871) 238-64-15).

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil 21-yanvarda tarqatildi.

(2026-yil 21-yanvardagi 2-raqamli reestr bayonnomasi).



B.Sh. Maxkamov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi,
iqtisodiyot fanlari doktori, professor

M.S. Saitkamolov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy
kotibi, iqtisodiyot fanlari doktori, dotsent

D.A. Davronbekov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari
doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi kuzatilmoqda, bu esa zamonaviy telekommunikatsiya tizimlarining arxitekturasini va ishlash tamoyillarining tobora murakkablashib borishiga sabab bo'lmoqda hamda radio texnika tizimlarining ishonchlilik parametrlarini baholash usullarini qo'llash etakchi o'rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida integratsiya darajasining ortishi va uzatilayotgan ma'lumotlar hajmining kengayishi, tizimlarning barqaror ishlashini ta'minlash, tashqi va ichki ta'sirlarga bardoshlilikini oshirish, shuningdek, o'z vaqtida diagnostika va tiklash jarayonlarini takomillashtirishni amaliyotga joriy etishni taqozo etadi. Shu jihatdan AQSh, Kanada, Germaniya, Janubiy Koreya, Xitoy, Hindiston va Rossiya Federatsiyasida olib borilayotgan tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, radio texnika tizimlariga oid ilmiy ishlanmalarning taxminan 35%¹ ularning ishonchlilik ko'rsatkichlarini optimallashtirish mezonlari bo'yicha takomillashtirishga yo'naltirilgan bo'lib, foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda so'nggi yillarda texnologik murakkablik keskin ortib borayotgani, turli tipdagi radiotexnik tizimlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirni chuqur tahlil qilish zarurati kuchayayotgani, sinov jarayonlarini modellashtirish va prognozlashga doir qo'shimcha talablar paydo bo'layotgani testlashning samarali algoritmlarini va diagnostika usullarini yaratishga, shuningdek, uzellarni ishonchliligi nuqtai nazaridan optimal joylashtirish mezonlari hamda optimallashtirish algoritmlarini o'rganishga katta e'tibor qaratilmoqda va mazkur yo'nalishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, radiotexnik tizimlarning real ekspluatatsiya sharoitlarida uchraydigan ko'p omilli nosozliklarni aniqlash va baholash uchun keng qamrovli yondashuvlar ishlab chiqilayotgani, shuningdek, zamonaviy modellashtirish vositalari yordamida algoritmlarning amaliy samaradorligini oshirish bo'yicha qo'shimcha tajribalar olib borilayotgani zamonaviy radio texnika tizimlarida ushbu yondashuvlarni amaliy qo'llash ularning ishonchlilik darajasini oshirishning muhim omillaridan biri sifatida qaralib, alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda "EMMM" DUK² ma'lumotlariga ko'ra, 2024 yil oxiriga kelib 962 dona televideniye va radiouzatish uskunalari faoliyat yuritmoqda, jumladan, 458 dona qabul-uzatish radio texnika uskunalari bo'lib, ularda turli xil radio texnika tizimlari qo'llanilmoqda va ushbu yo'nalish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi 2022–2026 yillar uchun" №PQ-60-sonli Farmonida quyidagi vazifalar belgilangan: "...axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini iqtisodiyot, ijtimoiy soha va boshqaruv tizimiga joriy etish, ilmiy-tadqiqot va innovatsion faoliyatni rag'batlantirish, ilmiy va innovatsion yutuqlarni amaliyotga joriy etishning samarali mexanizmlarini yaratish..."³, bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu

¹ <https://link.lens.org/suWLGOUCSMj>

² <https://cemc.uz/uz/emmm-dukda-2024-yil-natijalari-va-2025-yil-vazifalari-yigilishi-bolib-otdi>

³ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi 2022–2026 yillar uchun" №PQ-60-sonli Farmoni

vazifalarini amalga oshirishda, jumladan, radio texnika tizimlarining ishonchliligini oshirishga qaratilgan modellarni ishlab chiqish, shuningdek, funksional uzellarning oldindan nosoz holatini aniqlashga mo'ljallangan testlash algoritmlarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

Mazkur dissertatsion tadqiqot ma'lum darajada O'zbekiston Respublikasining 2024-yil 27-dekabrda "Telekommunikatsiyalar to'g'risida"gi Qonuni №URQ-1015, O'zbekiston Respublikasi Prezidentning 2020-yil 5-oktabrdagi "“Raqamli O'zbekiston-2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi №PF-6079-sonli Farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentning 2018-yil 21-noyabrdagi "Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalarni joriy etish ustidan nazorat tizimini takomillashtirish, ularni himoya qilishni tashkil etish chora-tadbirlari to'g'risida”gi №PQ-4024-sonli Qarori, O'zbekiston Respublikasi Prezidentning 2019-yil 22-maydagi "O'zbekiston Respublikasi aholi punktlarida telekommunikatsiya infratuzilmasini rivojlantirishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi №PQ-4329-sonli Qarori, O'zbekiston Respublikasi Prezidentning 2022-yil 20-dekabrda parlament va xalqqa murojaati, hamda O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2018-yil 7-martda "Aloqa, axborotlashtirish va telekommunikatsiya xizmatlari sifatini yanada oshirish chora-tadbirlari to'g'risida”gi №185-sonli Qarori, hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. "Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. So'ngi yillarda radiotexnik tizimlarning murakkabligi va keng qo'llanilishi bilan bog'liq bo'lganligi sababli yuqori ishonchliligini ta'minlash masalalari alohida dolzarblik kasb etmoqda. Radiotexnik tizimlarning raqamli qurilmalari ishonchliligini oshirish usullari va algoritmlarini yaratishga qaratilgan masalalar va yechimlar Springer, IEEE Xplore, Cyberlink, Scopus, Web of Science, Elsevier, ProQuest nashriyotlarining ma'lumotlar bazalariga kiritilgan jurnallarda chop etilgan maqolalar tahlil qilindi

Tadqiqotning ushbu yo'nalishda taniqli xorijiy olimlarning, жумладан E.L. Pugh, I.YE Safonova, Loui E. Frenze Jr., L.R. Pendrill, Melin J., Stavelin A., Nordin G., S.K. Yoo, Sofotasios P.C., Cotton S.L., Muhaidat S.H., Badarneh O.S., Karagiannidis G.K. va boshqa taniqli olimlarning ilmiy ishlarida yoritilgan. MDH mamlakatlarida apparat ishonchlilikni optimallashtirish masalalariga K.A Iiudu, K.A Polyakov, I.YE Safonova, Y.M Goldovskiy i R.A Jamsaranova kabi olimlarning ilmiy ishlari bag'ishlangan. O'zbekiston Respublikasida raqamli qurilmalarni diagnostika qilish va apparat qismlarining nosozliklarini tahlil qilish usullarini tadqiq etishda T.D Radjabov, M.G. Vasilyeva, A.A Xaitov, R.I. Isayev, D.A. Davronbekov, Sh.U. Pulatov va boshqa olimlar ishlarini e'tirof etish lozim.

Olib borilgan tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, bir qator ishlarda sinov va diagnostika modellarini radiotexnik tizimlar ishonchliligini baholashning umumiy metodikasiga integratsiyalash masalalari yetarlicha ko'rib chiqilmagan. Shuningdek,

murakkab radiotexnik tizimlarni kompleks diagnostika qilish masalalari bo'yicha yetarlicha tadqiqot olib borilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.

Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy tadqiqot ishlari rejasining MRB-2021-519 "Inson salomatligi holatini shaxsiy monitoring qilish smart-tizimi" (2021-2023) va FL-7923051857 sonli "Sun'iy yo'ldosh aloqa kanallarining xususiyatlarini modellashtirish usullari, texnikasi va dasturiy ta'minoti (2024-2026)" mavzusidagi ilmiy loyihalar doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi radiotexnik tizimlar raqamli qurilmalarining alohida bloklari va uzellarini ishlash ishonchliligini oshirish model va algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

radiotexnik tizimlardagi raqamli qurilmalarning ishonchliligini baholashning mavjud usullarini, shuningdek radiotexnik tizimlarning ishonchliligini hisoblashda foydalaniladigan usullar va vositalarni tahlil qilish;

radiotexnik tizimlar tarkibiga kiruvchi raqamli qurilmalarning rad etishdan oldingi holatini aniqlashga asoslangan radiotexnik tizimning ishonchliligini oshirishning matematik modelini ishlab chiqish;

radiotexnik tizim funksional blokining tuzilmaviy ishonchliligini baholashning kompleks modelini ishlab chiqish;

radiotexnik tizimning funksional tugunlarining rad etishdan oldingi holatini aniqlash maqsadida uni testlash algoritmlarini ishlab chiqish;

turli radiotexnik tizimlar tuzilmalarining nazorat nuqtalarida elektr parametrlarini o'lchash orqali nosozliklarni aniqlash uchun qurilmaning fizik modelini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obykti sifatida radiotexnik tizimlarning raqamli qurilmalari, shuningdek, ularning ishlash ishonchliligi ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir ko'rsatuvchi tarkibiy elementlari va tugunlari olingan.

Tadqiqotning predmetini radiotexnik tizimlarning raqamli qurilmalari ishonchliligini oshirish modellari va algoritmlari tashkil etadi.

Tadqiqot usullari. Dissertatsiyada qo'yilgan masalalarni yechishda matematik va sonli modellashtirish, tizimli tahlil, ehtimollar nazariyasi, ishonchlik nazariyasi usullaridan, shuningdek, tajribalar o'tkazish va tadqiqot natijalarini statistik qayta ishlash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

radiotexnik tizimlar tarkibiga kiruvchi raqamli qurilmalarning rad etishdan oldingi holatini aniqlash usuli dekompozitsiya, matematik kutilmani hisoblash va nazorat nuqtalarini shakllantirish usullarini ketma-ket qo'llash asosida takomillashtirilgan;

radiotexnik tizimlar raqamli qurilmalarining rad etishdan oldingi holatini aniqlashga asoslangan va ularning sxemotexnik va statistik xususiyatlarini hisobga olgan holda tizim ishonchliligini oshirishning matematik modeli ishlab chiqilgan;

radiotexnik tizim funksional blokining sxematik ishonchliligini baholashning, uning komponentlari parametrlarining ehtimollik tavsiflari va ularning o'zgarishlarini inobatga olgan holda, rad etishga moyil elementlarni aniqlashga imkon beruvchi kompleks modeli yaratilgan;

radiotexnik tizimning funksional tugunlarining rad etishdan oldingi holatini aniqlash maqsadida, o'lchanayotgan elektr parametrlari bilan sxema elementlari nosozliklarining ehtimollik belgilarini taqqoslash asosida testlash algoritmlari ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

radiochastota tizimlari raqamli qurilmalarining zaifliklarini qiyosiy tahlil qilishni hisobga olgan holda radiotexnik tizimning ishonchliligini oshirishning ishlab chiqilgan matematik modelini tadbiq etish jarayonida rad etishlarni bashorat qilish aniqligini orttirilishi va radiostansiyaning diagnostika qilish vaqtini qisqartirilishi tufayli diagnostika markazlarining o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish va texnik xodimlarning ishini soddalashtirishi imkonini berganligi joriy etish dalolatnomalari bilan tasdiqlanadi;

diagnostika radiostansiya sinigining rad etishdan oldingi holatini aniqlash uchun ishlab chiqilgan testlash algoritmlari diagnostika va profilaktika tadbirlarini rejalashtirishning yuqori tezkorligini ta'minladi, bu joriy etish dalolatnomalari bilan tasdiqlanadi;

elektr parametrlarini o'lchash orqali sxemaning nazorat nuqtalarida nosozliklarni aniqlash qurilmasining fizik modeli ishlab chiqilgan bo'lib, uni qo'llash xizmat ko'rsatish samaradorligini oshirish, rejadan tashqari ta'mirlash hajmini kamaytirish va radiotexnik tizimlarning tiklanuvchanligini oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi radiotexnik tizim funksional blokining tuzilmaviy ishonchliligini baholashning kompleks modeli ishlab chiqilganligi, muammoning to'g'ri qo'yilganligi va eksperimental tadqiqotlarning tasdiqlanganligi, hisoblashlarda model va algoritmlardan foydalanilganligi, nazariy va amaliy tadqiqotlar natijalarining qilingan mezonlar asosida qiyosiy tahlil qilinganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati diagnostika aniqligini oshirish va rad etishlarning oldini olishga qaratilgan RTT elementlari ishonchliligini hisoblashning analitik modellari va kompleks modelini ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati harakatdagi radiostansiyalarning rad etish ehtimoli yuqori bo'lgan tugunlarini tahlil qilish algoritmlarini, shuningdek, tiklanuvchanligini oshirish orqali RTT ishonchliligini oshirish imkonini beradigan RTT nazorat nuqtalarida elektr parametrlarini o'lchash qurilmasining fizik modelini yaratilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarini joriy etish. Ishlab chiqilgan radio texnika tizimlarining raqamli qurilmalar ishonchliligini oshirishga qaratilgan modellar va algoritmlar bo'yicha olingan natijalar asosida:

raqamli qurilmalarning oldindan nosoz holatini aniqlashga asoslangan radio texnika tizimi ishonchliligini oshirish modeli "UNICON.UZ" ilmiy-texnik va marketing tadqiqotlari markazi MChJ, Mudofaa vazirligi Axborot-kommunikatsiya

texnologiyalari va aloqa harbiy instituti hamda 41564-harbiy qismga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Mudofaa vazirligining 2025-yil 24-iyungi №10/1291-sonli ma'lumotnomasi). Profilaktik tadbirlarni rejalashtirish bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlarida qo'llanilgan bo'lib, natijada nosozliklarni bashorat qilish aniqligi 1,2–1,5 foizga oshgan;

radio texnika tizimi funksional blokining sxemaviy ishonchliligini baholashning kompleks modeli, shu jumladan "UNICON.UZ" ilmiy-texnik va marketing tadqiqotlari markazi MChJ, Mudofaa vazirligi Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va aloqa harbiy instituti hamda 41564-harbiy qismga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Mudofaa vazirligining 2025-yil 24-iyungi №10/1291-sonli ma'lumotnomasi). Natijada bashoratlash, diagnostika va muvofiqlikni baholash jarayonlari yanada samarali, tezkor va aniq bo'ldi. Muvofiqlikni baholashdagi nomuvofiqliklar sonining kamayishi tekshirish vaqtini qisqartirib, diagnostika markazlarining o'tkazuvchanligini oshirdi va texnik xodimlar ishini yengillashtirgan;

R-183 rusumli ko'chma radiostansiyalarda oldindan nosoz holatni aniqlash uchun testlash algoritmlari "UNICON.UZ" ilmiy-texnik va marketing tadqiqotlari markazi MChJ, Mudofaa vazirligi Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va aloqa harbiy instituti hamda 41564-harbiy qismga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Mudofaa vazirligining 2025-yil 24-iyungi №10/1291-sonli ma'lumotnomasi). Natijada bitta radiostansiya diagnostika qilish vaqti 2 daqiqadan 25 soniyagacha qisqargan;

sxemaning nazorat nuqtalarida elektr parametrlarini o'lchash orqali testlash qurilmasining fizik modeli, shu jumladan "UNICON.UZ" ilmiy-texnik va marketing tadqiqotlari markazi MChJ, Mudofaa vazirligi Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va aloqa harbiy instituti hamda 41564-harbiy qismga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Mudofaa vazirligining 2025-yil 24-iyungi №10/1291-sonli ma'lumotnomasi). Kompleks ishonchlilik modeli hisob-kitobiga asoslangan ushbu yechim yordamida tekshirish muddati 3 kundan (~70 soat) 2 kungacha (~49 soat) qisqargan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqotlar natijalari 7 ta xalqaro, 3 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalar hamda ilmiy seminarlarda muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo'yicha jami 20 ta ilmiy ishlar, ulardan 8 ta maqolalar O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan jurnallarda chop etilgan, 2 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarga O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi tomonidan rasman ro'yxatdan o'kazilganlik guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi o'zbek tilida yozilgan bo'lib, uning hajmi 119 bet, jumladan, kirish, to'rtta bob, xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat.

DISSERTATSIYA ISHINING ASOSIY MAZMUNI

Kirishda dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi ilm-fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi aniqlashtirilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilgan, olingan natijalarining ishonchliligi asoslangan, olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, amaliyotga joriy etilgan tadqiqot natijalari, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya ishining tuzilmasi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Radiotexnik tizimlarda raqamli qurilmalarning ishonchliligini baholashga zamonaviy yondashuvlar”** deb nomlangan birinchi bobida RTT raqamli qurilmalarining ishonchliligini ta'minlashning asosiy tushunchalari va usullari sharhi keltirilgan. Sxematik ishonchlilikni aniqlashning grafoanalitik usuli, tasodifiy holatlarning matematik kutilishini taqsimlash usuli va buzilishga chidamli klasterlarni qurish usuli ko'rib chiqilgan. Eksponensial taqsimot qonuni rad etishlar intensivligi qayta tiklanadigan RTTlar jarayonlari oralig'ida deyarli o'zgarmas bo'lib qolishi tufayli ularning ishonchliligini yetarli darajada tavsiflashi ko'rsatilgan. Taqsimot modelini tanlash eksperimental ma'lumotlar bilan tasdiqlanishi kerakligi, ular mavjud bo'lmaganda esa statistik tekshiruv bilan aprior farazlardan foydalanish maqsadga muvofiqligi ta'kidlangan.

Murakkab RTTlarning ishonchliligini baholash uchun tizimli yondashuv zarurligi ta'kidlangan. Ishonchlilikni oshirish yo'nalishlaridan biri sifatida qurilmaning elektr sxemasi darajasida ishonchlilikni baholash (sxemali ishonchlilik) belgilangan. Murakkab RTT ishonchliligini iyerarxik ko'rib chiqish taklif etilgan: tizim darajasida (tizimning ishonchliligi uning asosiy bloklari - qabul qilish-uzatish, ta'minlash va boshqalarning ishonchliligi bilan belgilanadi), tugunlar darajasida (ishonchlilik qabul qilgich, sintezator, quvvat kuchaytirgich, modulyator va boshqalar kabi tugunlarning ishonchliligi bilan belgilanadi) va elementlar darajasida (ishonchlilik tugunlarning ishlashini ta'minlaydigan alohida raqamli komponentlarning ishonchliligi bilan belgilanadi, masalan, kontrollerlar, detektorlar, regulyatorlar va boshqalar).

Ko'p sathli model bo'yicha ishonchlilikni hisoblash uchun "pastdan yuqoriga" yondashuvi qo'llaniladi: alohida elementlarning ishonchlilik ko'rsatkichlari hisoblanadi, so'ngra ular asosida tugunlar, bloklar va natijada butun tizimning ishonchliligi hisoblanadi. Xususan, ketma-ket ulangan komponentlar uchun tizimning rad etmasdan ishlash ehtimolligi barcha komponentlarning rad etmasdan ishlash ehtimolliklari ko'paytmasiga teng. Shuningdek, elektron qurilmalarning rad etmasdan ishlash vaqtini taqsimlashning asosiy qonunlari (eksponensial, Veybull, normal) ko'rib chiqilgan va buzilishlarning tabiatiga qarab ularni qo'llash shartlari muhokama qilingan.

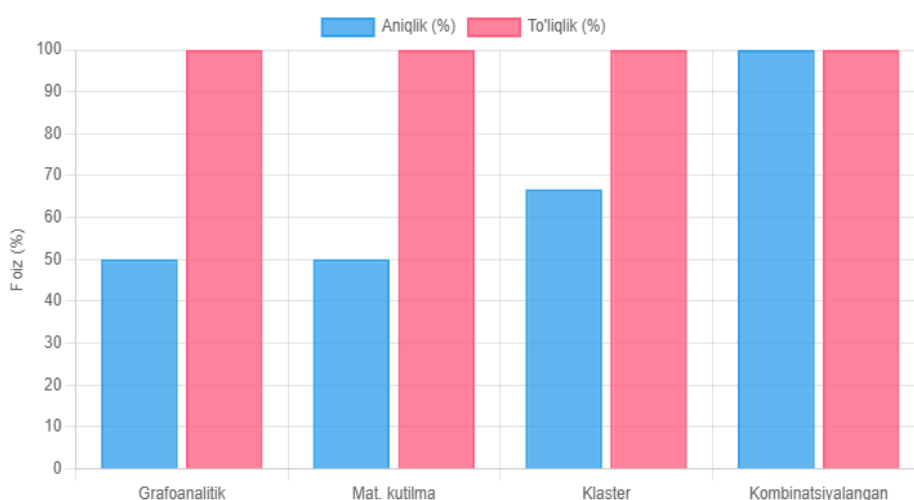
Qurilma ishini navbatma-navbat "ish" va "to'xtab turish/ta'mirlash" holatlariga bo'lish va to'xtab turish paytida rad etish ehtimolini hisobga olingan holda uzluksiz ishlash vaqtining matematik kutishni hisoblashga asoslangan rad etishlar paydo bo'lishining tasodifiy xususiyatini hisobga olish yondashuvi ko'rib chiqilgan.

Zamonaviy yondashuvlarning o'tkazilgan tahlili diagnostika va testlashni ishonchlilikni umumiy baholashga integratsiyalovchi yagona uslubiyot yo'qligini ko'rsatilgan, bu esa RTT ishonchliligini oshirish uchun kompleks modellar va algoritmlarni ishlab chiqish zarurligini tasdiqlaydi.

RTT ishonchliligini hisoblashning uchta usuli samaradorligini qiyosiy tahlil qilish jarayoni, shuningdek, ularning asosiy tamoyillari birlashtirilgan kombinatsiyalangan yondashuv tavsifi keltirilgan. O'tkazilgan qiyosiy tahlil har bir usulni alohida qo'llashning o'ziga xos xususiyatlarini aniqlash va ularni birgalikda qo'llashning afzalliklarini aniqlashga qaratilgan. Bunday baholash ishonchlilikni yanada obyektiv baholash va turli tahlil vositalarining imkoniyatlari to'g'risida to'liq tasavvur hosil qilish imkonini beradi.

Ishlab chiqilgan ilova yordamida qiyosiy simulyatsiya o'tkazilgan, unda avtomatlashtirilgan rejimda uchta usulning har biri va ularning kombinatsiyalangan amalga oshirilishi bo'yicha ishonchlilik ko'rsatkichlari hisoblab chiqilgan. Natijalarni tekshirish uchun bir vaqtning o'zida hisoblangan koeffitsiyentlarni ko'rsatish va ishdan chiqish xavfi bo'lgan elementlarni aniqlash imkonini beruvchi dasturiy interfeysdan foydalanilgan. Tajriba davomida ehtimoliy tavsiflar taqsimotining tasviri olingan, bu esa turli usullarning mos keladigan va farq qiladigan xulosalarini aniqlash imkonini bergan.

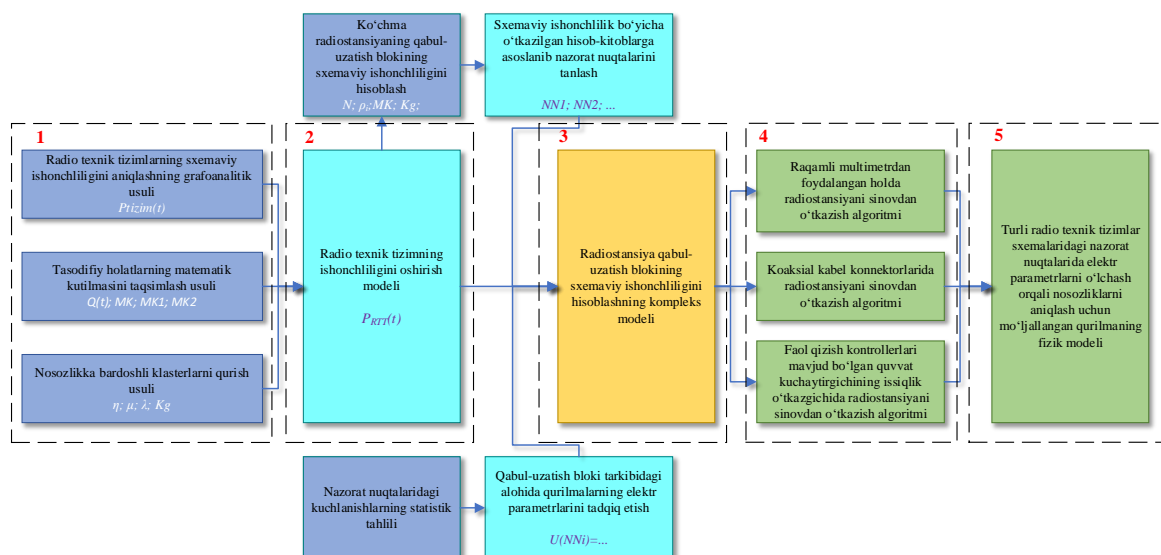
Yakuniy natijalar har bir usul va ularning kombinatsiyasi samaradorligi nisbatini ko'rsatuvchi foiz taqsimoti shaklida keltirilgan (1-rasm).



1-rasm. Sinov radiotexnik tizimining rad etishga xavfli elementlarini aniqlashning aniqligi va to'liqligi natijalari

Bunday ifodalash bir nechta yondashuvlarning integratsiyasi ulardan alohida foydalanishga nisbatan barqaror va aniq ko'rsatkichlarni qanday ta'minlashini kuzatish imkonini beradi. Olingan ma'lumotlar ishonchlilikni baholash usulini yuqoridagi uchta usulning kombinatsiyasidan foydalangan holda takomillashtirishning maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi.

Shuningdek, qo'yilgan vazifalarni hal qilish uchun zarur bo'lgan tadqiqot ketma-ketligini aks ettiruvchi blok-sxema keltirilgan (2-rasm).



2-rasm. Belgilangan vazifalarni hal qilish uchun zarur bo'lgan tadqiqot ketma-ketligini aks ettiruvchi blok-sxema

Raqamli qurilmalarning ishonchliligi ko'plab ichki va tashqi omillarga bog'liq bo'lgan kompleks xususiyat ekanligi ko'rsatilgan. Ishonchlilikni miqdoriy baholash uchun ko'rsatkichlar (uzluksiz ishlash vaqtining matematik kutilishi, tayyorgarlik koeffitsiyenti va boshqalar) aniqlangan va ularni hisoblash usullari ko'rsatilgan.

Dissertatsiyaning **“Radiostansiya qabul qiluvchi-uzatuvchi blokining sxematik ishonchligini hisoblashning kompleks modelini va uni amalga oshirish algoritmini ishlab chiqish”** deb nomlangan ikkinchi bobida rad etishlarning asosiy omillari (o'ta qizish, elektromagnit shovqinlar, mexanik shikastlanishlar, elementlarning degradatsiyasi)ni aniqlash bilan radiotexnik tizimlar tugunlari va elementlarining tizimli tahlili keltirilgan. RTT ishonchligini oshirish matematik modelini qurishda asosiy yondashuv sifatida sxemali ishonchlikdan foydalanish asoslangan. Natijada radiotexnik tizimlarning ishonchligini hisoblash usullarini ketma-ket qo'llash orqali radiochastota tizimlari tarkibiga kiruvchi raqamli qurilmalarning rad etishgacha holatini aniqlash usuli takomillashtirilgan.

Radiotexnik tizimning ishonchligini oshirish matematik modeli tizimning qayta tiklanishi yoki tiklanmasligiga bog'liq bo'lgan rad etmasdan ishlash ehtimolligidan foydalanishga asoslangan. Tiklanadigan RTT (masalan, R-183 radiostansiyasi) uchun baholash ishonchlilikning tuzimaviy sxemalari yordamida amalga oshiriladi.

Zaxira bo'lmagan tizim holatida tizimning istalgan elementi, tuguni yoki blokining rad etishi butun RTTning ishdan chiqishiga olib keladi. Tadqiq qilinayotgan RTT elementlari, tugunlari yoki bloklarining rad etishlari o'zaro bog'liq emas va eksponensial taqsimot qonuniga bo'ysunadi deb faraz qilinganda, RTTning rad etmasdan ishlashining umumiy ehtimolligi barcha n elementlarning rad etmasdan ishlash ehtimolliklari ko'paytmasi bilan aniqlanadi:

$$P_{PTC}(t) = P_{MTT}(t) \cdot P_{AACV}(t) \cdot P_{BP}(t) \cdot P_{YM}(t) \cdot P_{PPD}(t) \quad (1)$$

bu yerda $P_{MTG}(t)$ – mikrofon-telefon garniturası tugunining rad etmasdan ishlash ehtimolligi.

$P_{AAMQ}(t)$ – avtomatik antenna moslashtirish qurilmasi tugunining rad etmasdan ishlash ehtimolligi.

$P_{TB}(t)$ – ta'minot bloki qismining rad etmasdan ishlash ehtimolligi.

$P_{QK}(t)$ – quvvat kuchaytirgich qismining rad etmasdan ishlash ehtimolligi.

$P_{QQU}(t)$ – qabul qilish-uzatish qismining rad etmasdan ishlash ehtimolligi.

Agar eksponensial taqsimot qonunini tavsiflovchi ifoda inobatga olinsa, u holda (1) ifodani quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$P_{PTC}(t) = e^{-\lambda_{MTF}(t)} \cdot e^{-\lambda_{AACV}(t)} \cdot e^{-\lambda_{BP}(t)} \cdot e^{-\lambda_{YM}(t)} \cdot e^{-\lambda_{PPD}(t)} = e^{-(\lambda_{MTF} + \lambda_{AACV} + \lambda_{BP} + \lambda_{YM} + \lambda_{PPD})t} \quad (2)$$

Radiostansiyada kuchaytirish modullari va antenna-fider qurilmalarining yaqinligi, ayniqsa, sezilarli harorat va mexanik yuklamalar sharoitida o'zaro ta'sirning qo'shimcha xavfini keltirib chiqaradi.

Shuning uchun, RTTda eng ko'p uchraydigan nosozliklar bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar natijalari, shuningdek raqamli qurilmalar ishonchliligini baholash usullarining imkoniyatlarini inobatga olgan holda,

$$P_{PTC}(t) \propto \lambda_{PPD}(t) \quad (3)$$

Qabul qiluvchi-uzatuvchi blokning tuzilmaviy ishonchliligini hisoblashning kompleks modelini ishlab chiqishda quyidagi taxminlarni qabul qilingan:

1) RTT normal ekspluatatsiya davrida ishlaydi;

2) RTTdagi rad etishlar va uzilishlar eksponensial taqsimot qonuniga bo'ysunadi;

3) RTT tarkibiy qismlaridan birining ishdan chiqishi butun tizimning ishdan chiqishiga olib keladi;

4) qabul qilish-uzatish blokining barcha elementlari aloqa davomida uzluksiz ishlaydi.

Ishonchlilikni baholash uchun RTT funksiyalarini bajarishda qaysi tugunlarning ishdan chiqishi muhim ekanligi aniqlanadi. Bunda birinchi qadam sifatida elementlar dekompozitsiyasiga ega bo'lgan qabul qilish-uzatish blokining tuzilmaviy sxemasi grafini qurish zarur bo'ladi.

Elementning yuklamasi shu elementning ulanishlar sonini funksional sxemadagi ulanishlarning umumiy soniga nisbati sifatida aniqlanadi:

$$\rho_i = \frac{n_i}{N} \quad (4)$$

bu yerda ρ_i - I – elementga yuklama;

n_i – i -elementning boshqa elementlar bilan ulanishlar soni;

N – barcha elementlarning bir-biri bilan ulanishlarining umumiy soni.

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \quad (5)$$

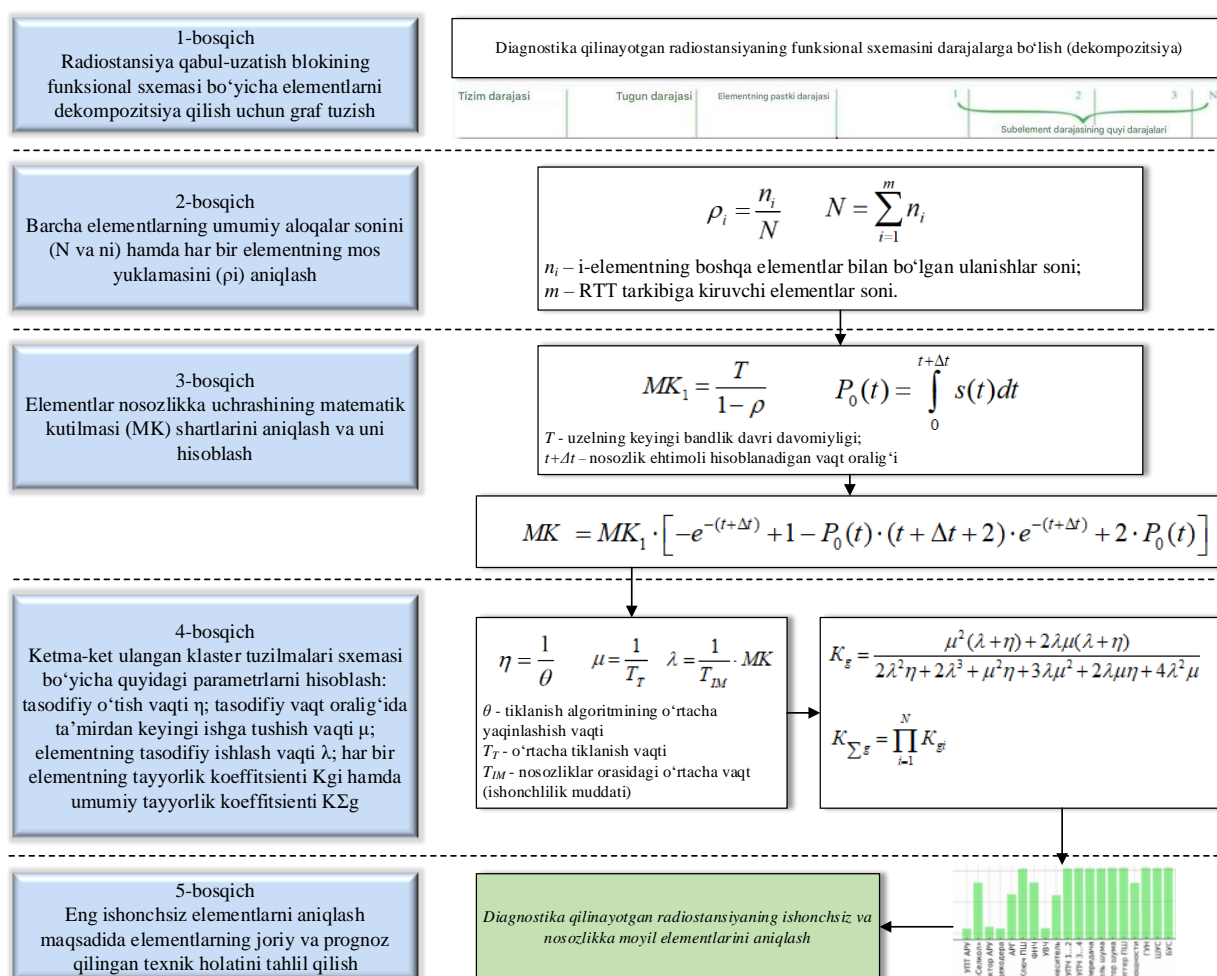
bu yerda m – RTS tarkibiga kiruvchi elementlar soni.

Keyingi qadam rad etishning matematik kutilmasini aniqlash bo'lad. Qabul
gan 3-boshlang'ich shartni hisobga olgan holda, band bo'lish davrining
matematik kutilmasi MK_I dan foydalangan holda har bir alohida element uchun
ama va faol ishlash vaqti haqidagi ma'lumotlarni hisobga olgan holda quyidagi
inishda hisoblanadi:

$$\begin{aligned}
MO &= \int_0^{t+\Delta t} e^{-t} [1 - P_0(t)] dt \cdot MO_1 = \\
&= MO_1 \cdot \left[-e^{-(t+\Delta t)} + 1 - P_0(t) \cdot (t + \Delta t + 2) \cdot e^{-(t+\Delta t)} + 2 \cdot P_0(t) \right]
\end{aligned} \tag{6}$$

Tuzilmaviy ishonchlilikni hisoblashning keyingi bosqichi ketma-ket ulangan klasterli tuzilmalar sxemasi bo'yicha tasodifiy ulanish vaqti η ; ta'mirlashdan keyingi ulanish vaqti μ va rad etmasdan ishlash vaqti λ parametrlarini aniqlashdan iborat. Shundan so'ng har bir elementning tayyorlik koeffitsiyenti K_{ei} va umumiy tayyorlik koeffitsiyenti K_{Σ} hisoblanadi.

3-rasmda radiostansiya qabul qilish-uzatish blokining tuzilmaviy ishonchliligini hisoblashni kompleks modelning grafik ko‘rinishi keltirilgan.



**3-rasm. Radiostansiya qabul qiluvchi-uzatuvchi blokining sxematik
ishonchliligini hisoblashni kompleks modelning grafik ko‘rinishi**

Hisoblashning yakuniy bosqichi harakatdagi radiostansiya qabul qilish-uzatish bloki barcha elementlarining joriy va bashorat qilinayotgan texnik holatini ularning har birining tayyorlik koeffitsiyenti to'g'risida olingan ma'lumotlar asosida eng kam ishonchlilarini aniqlash maqsadida tahlil qilishdan iborat.

Dissertatsiyaning **“Haqiqiy radiostansiya misolida RTS qabul qilish-uzatish blokining ishonchlilik ko'rsatkichlarini tadqiq etish”** deb nomlangan uchinchi bobida R-183 harakatdagi radiostansiyaning qabul qilish-uzatish bloki misolida tizimning ishonchliligiga ta'sir qiluvchi eng muhim elementlar- quvvat kuchaytirgichining korpusi, quvvat kuchaytirgichining issiqlik o'tkazuvchanligi va dekoder kontrolleri ekanligini ko'rsatgan tuzilmaviy ishonchliligini hisoblash amalga oshirilgan; eng yuklangan tugunlarda nazorat nuqtalarini tanlash uchun sxema ishonchliligini hisoblashning ishlab chiqilgan kompleks modeli qo'llanilgan, bu esa RTT tayyorgarlik koeffitsiyentini baholashning mavjud usullarini yaxshilagan; normal ish rejimi uchun diagnostika ishonchliligini oshiradigan signallar o'zgarishining ruxsat etilgan diapazonlari berilgan; tanlangan nazorat nuqtalarida kuchlanishlarni o'lchash qabul qilish-uzatish bloki tugunlarining nosozliklari va rad etishdan oldingi holatini tezkor diagnostika qilish imkonini berishi ko'rsatilgan.

Tuzilmaviy ishonchlilikni hisoblashning kompleks modelini aniq misol - R-183 harakatdagi radiostansiya qabul qilish-uzatish bloki misolida qo'llash diagnostika, rad etishlarga yo'l qo'ymaslik va texnik nazorat tizimini qurish vazifalari uchun qo'llanilishini ko'rsatish imkonini berdi.

R-183 qabul qilish-uzatish bloki tarkibiga kiruvchi turli xil raqamli qurilmalarning Kgi tahliliga ko'ra, ishonchlilik ko'rsatkichlari eng kam (eng past Kgi) bo'lgan bir nechta elementlar aniqlangan:

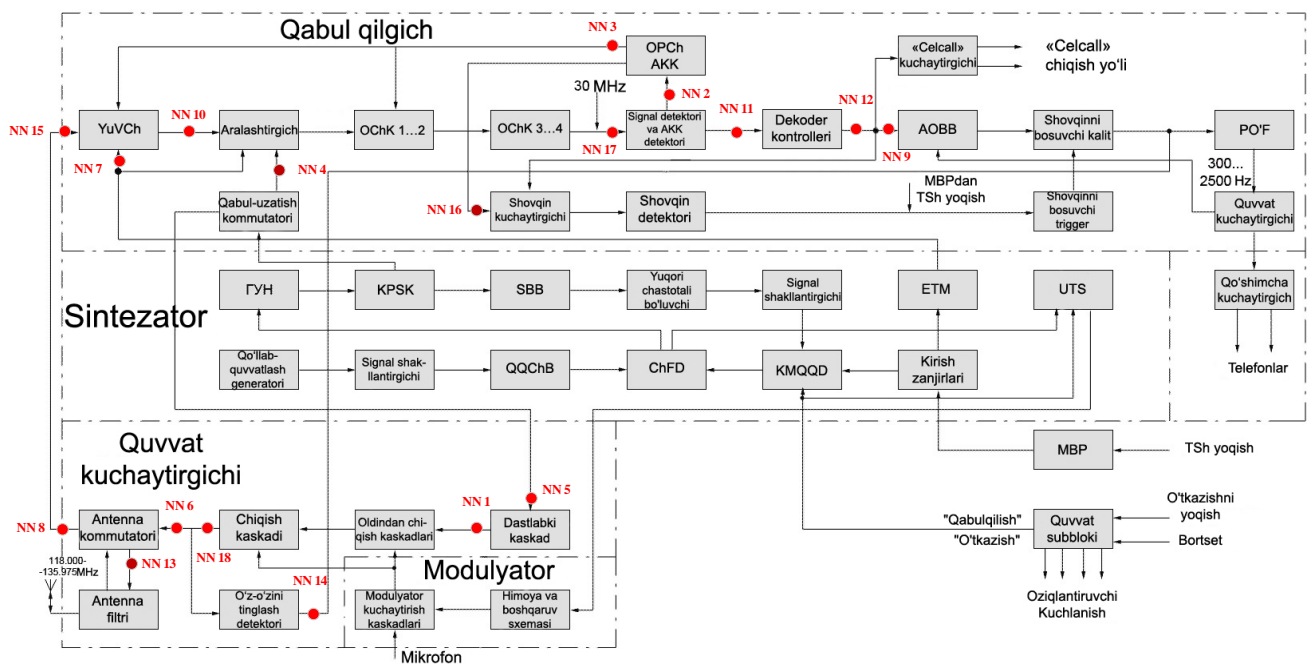
1. OPCh AKK
2. Signal detektori va AKK detektori
3. Dekoder kontrolleri
4. YuVCh
5. Antenna kommutatori
6. Dastlabki kaskad

Sanab o'tilgan ishonchligi eng kam elementlar funksional va konstruktiv jihatdan qabul qilish-uzatish blokining uchta asosiy tuguni atrofida guruhlangan: quvvat kuchaytirgichi, issiqlikni kamaytirish tizimi, boshqarish va dekoderlash tizimi.

Ushbu tadqiqotning maqsadlaridan biri (harakatdagi radiostansiyalarning ishonchliligini oshirish algoritmini yaratish) ga muvofiq, oldingi boblarning natijalarini tahlil qilish va ishonchliligini hisoblashdan so'ng R-183 radiostansiya qabul qilish-uzatish blokida nazorat nuqtalarini joylashtirish sxemasi ishlab chiqilgan (4-rasm). Ushbu funksional sxemada tanlangan nazorat nuqtalari (NN) tegishli tugunlarga bog'langan holda belgilangan.

Nazorat nuqtalarida nominal kuchlanishlar va og'ish oraliqlarini tanlashni asoslash uchun o'lchov natijalarining statistik tahlili o'tkazilgan. Har bir nazorat nuqtasi uskunaning turli nusxalarida va tizimning soz holatda ishlash sharoitlarida undagi kuchlanishni ko'p marta o'lchash orqali tadqiq qilingan.

Dissertatsiyaning “**Rad etishdan oldingi holatni aniqlash maqsadida harakatdagi radiostansiyaning testlash algoritmlarini ishlab chiqish**” deb nomlangan to‘rtinchi bobida radiostansiya funksional tugunlarida sodir bo‘lishi mumkin bo‘lgan rad etish alomatlarini o‘z vaqtida aniqlash algoritmlari ishlab chiqilgan. Ishlab chiqilgan algoritmlar tegishli tugunlarga erta tashxis qo‘yish va ularning rad etishdan oldingi holatini aniqlash imkonini beradi. Shuningdek, taklif etilgan algoritmlarni amaliyotga joriy etuvchi diagnostika qurilmasining fizik modeli yaratilgan. Ushbu model barcha ishlab chiqilgan testlash algoritmlarini birlashtiradi va turli radiotexnik tizimlar sxemalarining nazorat nuqtalarida elektr parametrlarini o‘lchash orqali nosozliklarni tezkor aniqlash uchun mo‘ljallangan.



4-rasm. R-183 harakatdagi radiostansiyaning qabul qilish-uzatish blokida nazorat nuqtalarining joylashish sxemasi

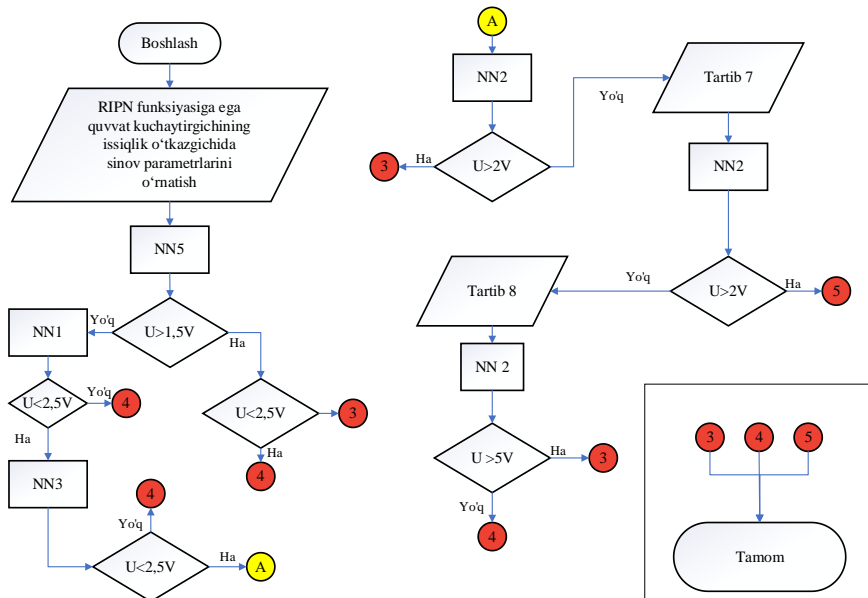
Raqamli multimetr yordamida radiostansiyaning testlash algoritmi (5-rasm) qabul qilish-uzatish blokining ichki tugunlarini diagnostika qilish uchun mo‘ljallangan. Uning mohiyati tashiluvchi radiostansiya sxemasining ichki tugunlariga tegishli nazorat nuqtalaridagi diagnostik signallarni telemetriyani qabul qilish modul (STQM) tizimi rejimida raqamli multimetr bilan o‘lchash orqali ketma-ket tekshirishdan iborat.

5-rasmda keltirilgan algoritmi qabul qilish-uzatish blokining ichki tugunlari va nazorat nuqtalarini diagnostika qilishga qaratilgan. Biroq radiostansiyaning texnik holatini kompleks baholash uchun faqat qurilma ichidagi o‘lchashlar bilan cheklanib qolish yetarli emas.

Koaksial konnektorlarda sinov natijalari issiqlikni kamaytirish tizimi bilan bog'liq muammolar mavjudligini ko'rsatgan hollarda (masalan, hech bo'lmaganda bitta isitish kontrollerining ishlashi aniqlangan bo'lsa), chiqish kaskadining sovutish tizimini to'liq tekshirish zarur.

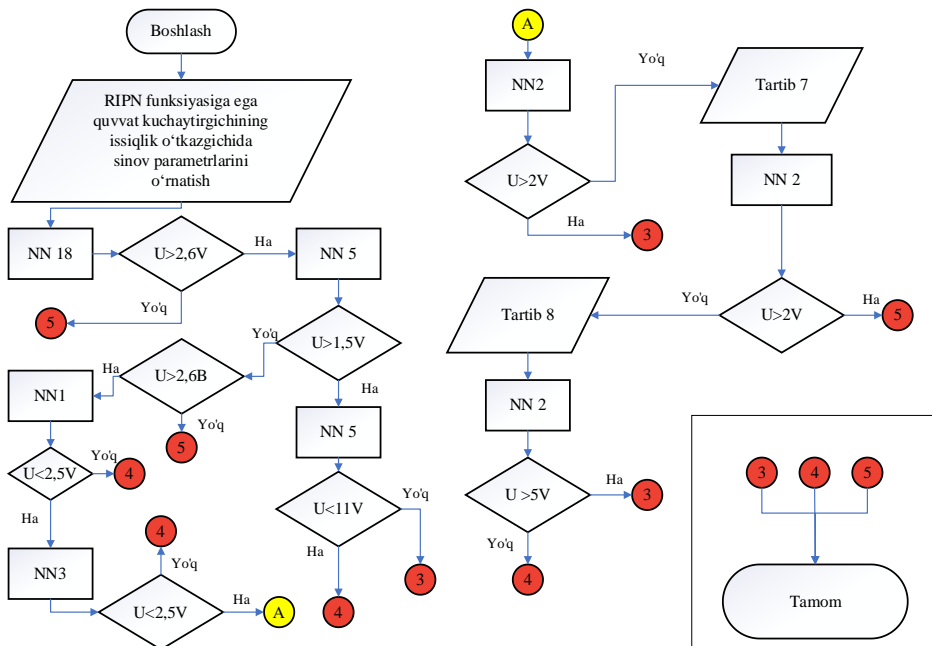
Ishlab chiqilgan quvvat kuchaytirgichining issiqlik kamaytirg'ichni sinovdan o'tkazish algoritmi ikkita foydalanish holatini qamrab oladi:

1. anomal issiqlik rejimi (o'ta qizish) mavjudligi, bundan hech bo'lmaganda bitta isitish kontrollerining o'chganidan dalolat beradi (7-rasm);



7-rasm. Aktiv isitish kontrollerlarida quvvat kuchaytirgichining issiqlik uzatgichida radiostansiyaning sinovdan o'tkazish algoritmi

2. normal issiqlik rejimi (barcha kontrollerlar faol), tekshiruv harorat bo'yicha ortiqcha yuklanishning aniq belgilarisiz profilaktik tarzda o'tkaziladi (8-rasm).



8-rasm. Faol bo'lmagan isitish kontrollerlarida quvvat kuchaytirgichining issiqlik uzatgichida radiostansiyaning sinovdan o'tkazish algoritmi

Barcha ishlab chiqilgan testlash algoritmlarida tekshirishning beshta asosiy mumkin bo'lgan natijalari aniqlangan:

1. Qurilma odatiy rejimda ishlamoqda (oldindan rad etish holati aniqlanmadi).
2. Quvvat kuchaytirgichi issiqlik tarqalishining rad etishdan oldingi holati aniqlandi.
3. Quvvat kuchaytirgichi keysining rad etishdan oldingi holati aniqlandi.
4. Dekoder (6A2) kontrollerlaridan birining rad etishdan oldingi holati aniqlandi.
5. Dekoder (6A1A3) kontrollerlaridan birining rad etishdan oldingi holati aniqlandi.

Shuningdek, taklif etilgan algoritmlarni amaliyotga joriy etuvchi diagnostika qurilmasining fizik modeli yaratilgan. Ushbu model barcha ishlab chiqilgan testlash algoritmlarini birlashtiradi va turli radiotexnik tizimlar sxemalarining nazorat nuqtalarida elektr parametrlarini o'lchash orqali nosozliklarni tezkor aniqlash uchun mo'ljallangan.

XULOSA

“Radiotexnik tizimlarning raqamli qurilmalari ishonchliligini oshirish modellari va algoritmlari” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Tadqiqotda radiotexnik tizimlarning raqamli qurilmalarida ishonchlilikni oshirishga qaratilgan modellar va algoritmlar ishlab chiqishga e'tibor qaratilgan. Olib borilgan ilmiy ishlar natijasida belgilangan maqsadga to'liq erishilgan, kirish qismida keltirilgan tadqiqotning to'rtta vazifasi muvaffaqiyatli bajarilgan.

2. Radioto'liqlik tizim tarkibiga kiruvchi raqamli qurilmalarning rad etishdan oldingi holatini aniqlash usuli takomillashtirildi. Taklif etilgan usul radiotexnik tizimlarning ishonchliligini hisoblashning ketma-ket qo'llaniladigan uchta uslubini – grafoanalitik metodni, tasodifiy holatlarning matematik kutilmasini taqsimlash metodini va klasterli tuzilmalar qurish metodini birlashtiradi. Natijada, rad etishdan oldingi holatlarni aniqlash aniqligi oshirildi hamda tizim elementlari o'rtasidagi o'zaro ta'sirlar to'liqroq hisobga olindi.

3. Radiotexnik tizimning ishonchliligini oshirishning matematik modeli yaratildi. Model harakatdagi radiostansiya modullarining ishonchliligini hisoblashning tuzilmaviy modeliga asoslanadi va uskunaning konstruktiv xususiyatlari hamda ekspluatatsiya sharoitlarini inobatga oladi. Model ilgari takomillashtirilgan rad etishdan oldingi holatni aniqlash usuliga tayanadi hamda radiotexnik tizimlarning ishonchliligini hisoblash usullarini ketma-ket qo'llash natijalariga asoslanadi. Bu yondashuv radioelektron uskunalarning ishonchliligiga eng katta ta'sir ko'rsatadigan muhim komponentlarni aniqlash imkonini berdi.

4. Radiotexnik tizimning funksional blokining sxemaviy ishonchliligini baholashning kompleks modeli ishlab chiqildi (tashuvchi radiostansiyaning qabul qilish–uzatish bloki misolida). Modelning asosi dekompozitsiya usuliga, klasterli va grafoanalitik tuzilma qo'llanilishiga tayanadi. Ushbu yondashuv alohida

komponentlarning rad etish ehtimoli butun tugunning ishonchliligiga ta'sirini hisobga olish imkonini berdi. Modeldan foydalanish turli ekspluatatsiya sharoitlarida va elementlarni tiklash intensivligiga qarab ishonchlilikni yuqori aniqlik bilan baholash imkonini beradi, bu esa bashorat aniqligini 1,2–1,5 % gacha oshirish imkonini bergan (bu holat ilovadagi joriy etish dalolatnomalarida tasdiqlangan).

5. Taklif etilgan kompleks model asosida radiotexnik tizimni testlash algoritmlari ishlab chiqilgan (harakatdagi radiostansiya misolida). Ushbu algoritmlar tizimning muhim tugunlarining rad etishdan oldingi holatini o'z vaqtida aniqlashga imkon beradi. Algoritmlar diagnostikaning turli jihatlarini qamrab oladi: komponentlarning (masalan, quvvat kuchaytirgichining issiqlikni kamaytirish tuguni) qizib ketishini tekshirish, koaksial ulanishlardagi parametrlarni nazorat qilish va raqamli multimetr yordamida nazorat nuqtalarida kuchlanishlarni o'lchash. Ularni qo'llash tizim ishidagi me'yordan og'ishlarni erta aniqlash, rad etishlarning oldini olish va uskunaning umumiy ishonchliligini oshirish imkonini beradi.

6. Radiotexnik tizimlar sxemalaridagi nazorat nuqtalarida elektr parametrlarini o'lchash orqali nosozliklarni tezkor aniqlash uchun diagnostika qurilmasining fizik modeli yaratilgan. Qurilma yordamida tugunlarning normal ish rejimlaridan og'ishlari tezda aniqlanadi, diagnostika vaqti sezilarli darajada qisqaradi va radioelektron apparaturadan foydalanish samaradorligi oshadi.

7. Ishlab chiqilgan modellar, algoritmlar va qurilma amaliyotga joriy etilgan hamda ishonchlilikning asosiy ko'rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilash imkonini bergan. Xususan, rad etishlarni diagnostika qilish vaqti 2 daqiqadan 25 soniyagacha qisqargan, uskunalarining texnik holatini bashorat qilish aniqligi 1,2–1,5 % ga oshgan. Olingan natijalar joriy etish dalolatnomalari bilan tasdiqlangan bo'lib, taklif etilgan takomillashtirilgan metodlarning yuqori samaradorligi va amaliy ahamiyatini ko'rsatadi.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.09/2025.27.12.T.01.02 AT TASHKENT UNIVERSITY
OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

VOTINOV KIRILL ALEKSEEVICH

**MODELS AND ALGORITHMS FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF
DIGITAL DEVICES IN RADIO TECHNICAL SYSTEMS**

**05.04.02 – Radio engineering, radionavigation, radiolocation, television systems and devices.
Mobile, fiberoptic communication systems**

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR OF PHILOSOPHY DEGREE
(PhD) OF TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2026

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme attestation commission at the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2025.1.PhD/T5193.

The dissertation has been prepared at the Tashkent University of information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Scientific Council website www.tuit.uz and on the website of «ZiyoNet» Informaton and Educational portal www.ziynet.uz.

Scientific adviser:

Pisetsky Yuriy Valerevich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Siddikov Ilhomjon Khakimovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Jabbarov Shukhrat Yuldashevich
PhD (Candidate of Technical Sciences), Associate Professor

Leading organization:

Tashkent State Technical University named after Islom Karimov

The defence will take place on January 31, 2026 at 12:00 the meeting of Scientific Council DSc.09/2025.27.12.T.01.02 at Tashkent University of Information Technologies. (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur Street, 108. Tel.: (99871) 238-64-15; e-mail: info@tuit.uz).

The dissertation could be reviewed in the Information Resource Centre of Tashkent University of Information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi. (Registration number № 403). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur str., 108. Tel.: (99871) 238-64-15).

The abstract of dissertation is distributed on January 21, 2026.

(Protocol at the register № 2 on January 21, 2026)



B.Sh. Makhkamov

Chairman of the Scientific Council awarding scientific degrees, doctor of economical sciences, professor

M.S. Saitkamolov

Scientific secretary of Scientific Council awarding scientific degrees, doctor of economical sciences, docent

D.A. Davronbekov

Chairman of the academic Seminar under the Scientific Council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to develop models and algorithms for improving the reliability of the operation of individual modules and components of digital devices within radio engineering systems.

The object of the research comprises digital devices of radio engineering systems, as well as their structural elements and units that have a significant impact on operational reliability indicators.

The scientific novelty of the research work:

the method for detecting the pre-failure state of digital devices within radio engineering systems, based on the sequential application of decomposition methods, calculation of the mathematical expectation, and formation of control points, has been improved;

a mathematical model for enhancing the reliability of a radio engineering system, based on the identification of the pre-failure state of digital devices within radio engineering systems and taking into account their circuit-level and statistical features, has been developed;

a comprehensive model for assessing the circuit reliability of a functional unit of a radio engineering system, considering probabilistic parameters and variations in the characteristics of its components to determine the most failure-prone elements of the circuit, has been developed;

algorithms for testing a radio engineering system to detect the pre-failure state of its functional units by comparing the measured electrical parameters with probabilistic indicators of component faults, have been developed.

Implementation of research results. Based on the results obtained from models and algorithms aimed at enhancing the reliability of digital devices in developed radio engineering systems:

the reliability enhancement model for a radio engineering system, based on the identification of the pre-failure state of digital devices within radio-frequency systems, has been implemented at the LLC “Scientific, Technical and Marketing Research Center UNICON.UZ,” as well as at the Military Institute of Information and Communication Technologies and the 41564 military unit of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan (Ministry of Defense Certificate No. 10/1291, June 24, 2025) in the processes of developing requirements and conducting research for planning preventive measures. As a result, it became possible to increase failure prediction accuracy by 1.2–1.5%.

the comprehensive model for assessing the circuit reliability of a functional unit of a radio engineering system has been implemented at LLC “UNICON.UZ,” as well as at the Military Institute of Information and Communication Technologies and the 41564 military unit of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan (Certificate No. 10/1291, June 24, 2025) in the processes of research, diagnostics, and operation of radio engineering systems. As a result of the scientific study, the processes of prediction, diagnostics, and conformity assessment became more effective, faster, and more accurate. The reduction in the number of non-conformities during conformity assessment shortened the time required for repeated equipment

inspections, thereby increasing the throughput of diagnostic centers and simplifying the work of technical personnel.

the testing algorithms for portable radio stations to identify the pre-failure state in R-183 radios have been implemented at LLC “UNICON.UZ,” as well as at the Military Institute of Information and Communication Technologies and the 41564 military unit of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan (Certificate No. 10/1291, June 24, 2025) in maintenance practice. As a result, it became possible to enhance the efficiency of detecting pre-failure states and planning preventive measures. In particular, due to the implementation, the diagnostic time for a single radio station was reduced from 2 minutes to 25 seconds.

the physical model of the testing device, based on measuring electrical parameters at the control points of portable radio station circuits, has been implemented at LLC “UNICON.UZ,” as well as at the Military Institute of Information and Communication Technologies and the 41564 military unit of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan (Certificate No. 10/1291, June 24, 2025) in operational practice. The application of the proposed physical model, based on the use of the comprehensive reliability calculation model, reduced the inspection time from 3 days (~70 hours) to 2 days (~49 hours).

The structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume of the dissertation is 119 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Вотинов К.А. Перспективы использования цифрового мультиметра для обнаружения неполадок возимых радиостанций // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №1(27)2024. – С. 167-169. (05.00.00; №10)

2. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А. Методика расчета надежности устройств телекоммуникационных сетей // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №2(24)2023. –С.143-147. (05.00.00; №10)

3. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А. Точечные оценки надежности функционирования цифрового устройства // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №4(26)/2023. – С. 80-84. (05.00.00; №10)

4. Вотинов К.А. Алгоритм тестирования радиостанции на коннекторах коаксиального кабеля // Innovation technosystems ilmiy-texnik jurnali. №3(19)2025 – С. 232-235. (ОАК Rayosatining 2023 yil 31 yanvardagi 332/5-son qarori: №2)

5. Вотинов К.А., Писецкий Ю.В., Олимова О.С. Графоаналитический метод определения схемной надежности цифровых устройств // Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. №2(27)2023 –С. 238-241. (05.00.00; №20)

6. Вотинов К.А. Алгоритм тестирования радиостанции на теплоотводе усилителя мощности // Raqamli Transformatsiya va Sun'iy Intellect ilmiy jurnali. Vol.3, Is.3 2025. – С. 100-104. (ОАК Rayosatining 2023 yil 04 iyuldagi 363-son qarori)

7. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А., Олимова О.С. Оценка надежности функционирования цифровых устройств в различных условиях проверки // Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. №10 2023. –С. 96-100. (05.00.00; №20)

8. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А. Методика тестирования радиостанции на выходе цифрового мультиметра // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №1(27)/2024. – С. 132-134. (05.00.00; №10)

II bo'lim (II часть; II part)

9. Вотинов К.А., Писецкий Ю.В., Сохибов О.М. Применение ИКТ в разработке средств предупреждения отказов конструктивного характера // Сборник докладов Республиканской научно-практической конференции “Проблемы применения современных информационных, коммуникационных технологий и IT-образования” Том №1. Самарканд-2022. – С. 117-119.

10. Votinov K.A. “Procedure for calculating the circuit reliability of the transceiver unit of a mobile radio station” // Materials of International Scientific

Conference “Russia-UAE Conference on Applied and Interdisciplinary Research” Dubai-2025. – С. 124-128.

11. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А. “Расчет надежности сетей методом построения отказоустойчивых кластеров” // Труды Международной конференции “Recent advances in intelligent information and communication technologies”. Том №1. Ташкент-2022. – С. 413-418.

12. Вотинов К.А. “Метод диагностирования радиотехнических систем способом декомпозиции функциональной схемы со сравнительным анализом электрических параметров” // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума НАУЧНЫЙ ДИАЛОГ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА. Том №1. Москва-2025. – С. 192-198.

13. Вотинов К.А., Писецкий Ю.В. Повышение надежности лабораторных стендов для изучения электротехнических дисциплин // Yuqori malakali kadrlarni tayyorlashda o‘qitishning zamonaviy tizimlari va texnologiyalarini qo‘llash masalalari Respublika ilmiy-uslubiy konferensiyasiyning ma‘ruzalar to‘plami. Том №1. Ташкент-2022. –С. 136-137.

14. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А., Холиков А. Методы обеспечения функциональной живучести беспроводной сети // Труды Международной научно-технической конференции “Digital technologies: problems and solutions of practical implementation in the spheres”. Том №1 Ташкент-2023. – С. 434-435.

15. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А. Прогнозирование надежности бортовых радиоэлектронных средств // Сборник докладов Республиканской научно-практической конференции “Sun’iy intellektni boshqaruv tizimida qo‘llashning innovatsion yechimlari”. Том №1 Ташкент-2024. – С. 257-259.

16. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А., Методика тестирования радиостанции на выходе цифрового мультиметра с целью контроля качества энергоснабжения // Труды Международной научно-технической конференции “Digital technologies: modern problems and prospects of development of energy supply of digital technology facilities”. Том №1. Ташкент-2024. – С. 504-507.

17. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А., Перспективы повышения надежности энергоснабжения на объектах цифровых технологий путем обнаружения неполадок возимых радиостанций // Труды Международной научно-технической конференции “Digital technologies: modern problems and prospects of development of energy supply of digital technology facilities”. Том №1. Ташкент-2024. – С. 613-616.

18. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А. Использование цифрового мультиметра для обнаружения неполадок возимых радиостанций // Труды IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования в современном ВУЗе». Стерлитамак-2024. – С. 284-287

19. Писецкий Ю.В., Вотинов К.А. Radiochastota chiqishida tashiladigan radiostansiyalar bilan bog'liq muammolarni aniqlash uchun dasturiy mahsulot // АИС РУз. – Ташкент, 28.05.2024. № DGU 38905.

20. Вотинов К.А., Султонова М.О., Хатамов А.П. Radiotexnika tizimlarida raqamli qurilmalarning ishonchliligini hisoblash usullarining ishlashini simulyatsiya qilish uchun ilova // АИС РУз. – Ташкент, 04.09.2025. № DGU 54433.

Avtoreferat “_____” jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi.
(“___”_____2026-yil).

Bosishga ruxsat etildi: “___” _____2026-yil.
Bichimi 60x45 ¹/₈. “Times New Roman”
garnitura raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3. Adadi 100 nusxa. Buyurtma _____.

O‘zbekiston Respublikasi IIV Akademiyasi,
100197, Toshkent shahri, Intizor ko‘chasi, 68.

“AKADEMIYA NOSHIRLIK MARKAZI” DM