

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

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ЖУРАЕВА НАФИСА ИНОЯТОВНА

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

**Оглавление автореферата диссертации доктора (DSc)
по техническим наукам**

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

**Contents of dissertation abstract of the doctor (DSc)
on technical sciences**

Жураева Нафиса Иноятовна

Методы и алгоритмы повышения надёжности волоконно-
оптических систем передачи информации 3

Jurayeva Nafisa Inoyatovna

Optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchligini oshirish usullari
va algoritmlari 29

Jurayeva Nafisa Inoyatovna

Methods and algorithms for increasing the reliability of fiber-optic
information transmission systems 55

Список опубликованных работ

E'lon qilingan ishlar ro'yxati
List of published works 59

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

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ЖУРАЕВА НАФИСА ИНОЯТОВНА

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора технических наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.1.DSc/T920.

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 «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант:

Давронбеков Дилмурод Абдувалилович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Парсиев Сайдиахат Солиходжаевич
доктор технических наук, профессор

Усманова Наргиза Бахтиёрбековна
доктор технических наук, доцент

Хакимов Зафар Туляганович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Ташкентский государственный транспортный
университет

Защита диссертации состоится 31 января 2026 г. в 10⁰⁰ 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 № 402). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-15).

Автореферат диссертации разослан 21 января 2026 года.

(протокол рассылки № 1 от 21 января 2026 года).

Б.Ш. Махкамов

Председатель научного совета по присуждению учёных степеней, доктор экономических наук, профессор

М.С. Сайткамолов

Ученый секретарь научного совета по присуждению учёных степеней, доктор экономических наук, доцент

У.Б. Амирсаидов

Заместитель председателя научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире волоконно-оптические системы передачи информации занимают особое место в обеспечении высокоскоростной передачи данных на большие расстояния в современной инфраструктуре телекоммуникаций. Развитие цифровых технологий, среднегодовой рост числа пользователей Интернета в мире на 7,23%¹, услуг связи, объема передаваемой информации, увеличение нагрузки на каналы связи и скорости передачи данных приводят к увеличению вероятности отказов и требуют обеспечения и повышения их высокой надежности волоконно-оптических систем передачи информации. В связи с этим важное значение имеет разработка устройств диагностики и мероприятий направленных на определение отказов и предотказных состояний для повышения надежности волоконно-оптических систем передачи информации и входящих в их состав элементов.

В мире проводятся научные исследования, направленные на повышение надежности волоконно-оптических систем передачи информации с использованием теории вероятностей, логико-вероятностных методов и программно-аппаратных решений. Особое внимание уделяется разработке математических моделей надежности на основе закономерностей распределения отказов, методов резервирования элементов, созданию вычислительных алгоритмов для оценки параметров надежности, раннему выявлению процессов деградации в волоконно-оптических системах передачи информации, совершенствованию метода прогнозирования отказов, обеспечивающего прогнозирование отказов до их возникновения, а также разработке устройства диагностики элементов волоконно-оптических линий связи.

В нашей Республике проводятся широкомасштабные научно-исследовательские работы по разработке моделей оценки надёжности телекоммуникационных систем, методов, алгоритмов и устройств повышения надёжности волоконно-оптических систем передачи информации. В Стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030» и мерах по ее эффективной реализации определены такие задачи, как «...проведение фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям в сфере информационных технологий и коммуникаций...»². Важной задачей при решении поставленных задач по направлению развития цифровой инфраструктуры является разработка методов и алгоритмов, позволяющих повышение надежности волоконно-оптических систем передачи информации.

Данное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указом Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Указом Президента Республики Узбекистан от 5 октября 2020 года

¹ <https://www.statista.com/statistics/273018/number-of-internet-users-worldwide>

² Указ Президента Республики Узбекистан №УП-6079 от 5 октября 2020 года «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации»

№УП-6079 «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации», Указом Президента Республики Узбекистан от 19 февраля 2018 года №УП-5349 «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 14 октября 2024 года № ПП-358 «Об утверждении стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2022 года № ПП-357 «О мерах по поднятию на новый уровень сферы информационно-коммуникационных технологий», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 19 ноября 2021 года №699 «О мерах по дальнейшему развитию телекоммуникационной инфраструктуры Республики Узбекистан», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 7 марта 2018 года №185 «О мерах по дальнейшему улучшению качества услуг связи, информатизации и телекоммуникаций» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. Научные исследования, направленные на разработку методов и алгоритмов повышения надёжности волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ), исследованию свойств и характеристик оптических элементов ведутся в передовых научно-исследовательских центрах и высших учебных заведениях мира, в том числе в Cornell University, University of Wisconsin, University of Southern California, Nokia Bell Labs, Iona College, Ford Motor Company Limited, University of Rochester (США), University of Toronto (Канада), Sorbonne Université (Франция), Technical University of Denmark (Дания), Huazhong University of Science and Technology, Changchun Institute of Optics Fine Mechanics, компания Huawei, Northeastern University, Chinese Academy of Sciences (Китай), Tokyo Institute of Technology (Япония), Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича, Московском физико-техническом институте, Сибирском государственном университете телекоммуникаций и информатики, Государственном научно-исследовательском институте авиационных систем, Санкт-Петербургском государственном университете (Российская Федерация), Indian Institute of Technology, Motilal Nehru National Institute of Technology (Индия), National University of Singapore (Сингапур).

Исследования по применению методов машинного обучения для прогнозирования отказов и потерь в ВОСПИ проводятся в University College London (Великобритания), Prince Sultan University (Саудовская Аравия), Beijing University of Posts and Telecommunications (Китай), University of Pittsburgh (США), Петербургском государственном университете путей сообщения,

Новосибирском государственном университете (Российская Федерация), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Германия).

Научные исследования направленные на повышение надёжности телекоммуникационных систем, применению искусственного интеллекта в вопросах прогнозирования ведутся в среди которых Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова, Научно-исследовательском институте развития цифровых технологий и искусственного интеллекта и в других научно-исследовательских институтах, исследовательских центрах и университетах республики.

Степень изученности проблемы. Значительный вклад в разработку методов повышения надёжности ВОСПИ и элементной базы, а также исследование характеристик оптических компонентов внесли следующие исследователи и возглавляемые ими научные школы: Agrawal G.P., Willner A.E., A.C. Курков, A.M.Половко, С.В.Гуров, Б. В.Гнеденко, В.Г. Атапин, Е.С.Вентцель, Г.Н.Черкесов, Peter J. Winzer, G. Keiser, P.Chakrabarti, Winzer P.J., Zhang Chuan Hao, В.Н.Листвин, А.Б.Семенов и др. Применение различных методов машинного обучения с целью мониторинга и прогнозирования неисправностей и отказов в волоконно-оптических системах, уменьшения нелинейных эффектов, улучшения характеристик лазеров исследованы в работах Waddah S.Saif, Khouloud Abdelli, Xinyu Zhou, Danshi Wang, J. Zhong, Chunyu Zhang, Wenbin Chen и др.

В Республике Узбекистан вопросы повышения надёжности и эффективности телекоммуникационных систем рассмотрены в научных работах Н.Х.Гултураева, А.М.Назарова, Р.И.Исаева, С.С.Парсиева, Н.Б.Усмановой, У.Б.Амирсаидова, Б.Н.Рахимова, З.Т.Хакимова и др. Исследования, направленные на разработку и усовершенствование теоретических и практических задач модификации оптических волокон редкоземельными элементами применяемых в ВОСПИ, рассмотрены в работах ведущих ученых республики Т.Д.Раджабова, У.В.Валиева, А.А.Симонова, Ш.У.Пулатова, А.М.Иногамова и др.

Результаты проведенного анализа показали, что в недостаточной степени исследованы вопросы повышения надежности надежности ВОСПИ с учетом важности элементов, не уделено внимание разработке аналитических моделей оценки надежности с учетом аппаратного и программного обеспечения, методов и алгоритмов прогнозирования отказов, устройств для диагностики элементов с адаптивной обработкой информации.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационная работа выполнялась в рамках научно-исследовательских работ по плану научных исследований Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий №1/1-Ф «Разработка комплексной системы мониторинга состояния окружающей среды производственных объектов с применением

информационно-коммуникационных технологий» (2018-2020), №1506/21Ф «Модели и методы повышения надежности высокоскоростных сетей передачи данных» (2021-2022), FL-7923051857 «Методы, техника и программное обеспечение для моделирования характеристик каналов спутниковой связи» (2024-2026).

Целью исследования является разработка методов и алгоритмов резервирования элементов и прогнозирования отказов, модели и алгоритма работы устройства диагностирования элементов для повышения надежности волоконно-оптических систем передачи информации.

Задачи исследования:

исследование теоретических основ обеспечения надежности волоконно-оптических систем передачи информации и анализ влияющих на надежность системных факторов;

разработка аналитических моделей оценки надёжности волоконно-оптических систем передачи информации на основе законов распределения отказов;

разработка метода и алгоритма резервирования элементов системы, учитывающего степень важности каждого элемента;

разработка вычислительного алгоритма определения показателей надёжности телекоммуникационных систем;

разработка метода и алгоритма прогнозирования отказов с самоанализом в волоконно-оптических системах передачи информации;

разработка модели и алгоритма работы устройства для диагностики элементов волоконно-оптических линий связи с адаптивной обработкой информации.

Объектом исследования является волоконно-оптическая система передачи информации, её элементы, в том числе оптические волокна, трансиверы, усилители и программное обеспечение.

Предметом исследования являются методы прогнозирования отказов и резервирования ВОСПИ, аналитические модели, а также алгоритмы расчета показателей надежности, выбора резервирования элементов, прогнозирования отказов.

Методы исследования. В диссертации при решении поставленных задач использовались методы математического и численного моделирования, теории вероятностей и теории надежности, методы проведения вычислительных экспериментов, обработки статистических данных, методы машинного обучения, методы логико-структурного анализа и структурного моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны аналитические модели, позволяющие на основе законов распределения отказов элементов выполнить оценку надёжности волоконно-оптических систем передачи информации с учётом аппаратного и программного обеспечения;

разработан метод и создан алгоритм выбора способа резервирования на основе степени важности элементов, позволяющие посредством минимизации отказов наиболее критичных частей повысить общую надёжность системы;

создан вычислительный алгоритм, позволяющий на основе сравнения интенсивности отказов и среднего времени восстановления системы, а также выбора способа резервирования рассчитать показатели надежности телекоммуникационных систем;

предложен метод прогнозирования отказов, позволяющий на основе алгоритмов машинного обучения и самоанализа автоматически выбирать параметры и модели, обеспечивая повышение точности прогнозов и устойчивость системы к изменяющимся условиям;

создан алгоритм прогнозирования отказов элементов волоконно-оптической системы передачи информации с механизмом самоанализа, позволяющий на основе отклонений между статистическими данными и прогнозируемыми значениями обеспечить возможность превентивного выявления отказов и повышения надёжности системы;

разработаны усовершенствованная модель и алгоритм устройства для диагностики отказов элементов волоконно-оптической линии связи, имеющий в своём составе блок адаптивной обработки данных, позволяющий на основе анализа измеренных параметров и машинного обучения прогнозировать вероятность отказов элементов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны программы расчёта показателей надёжности восстанавливаемых систем при поэлементном резервировании с постоянно активным резервом и показателей надёжности восстанавливаемых систем при поэлементном резервировании с замещением, которые на основе определения значений вероятности безотказной работы, среднего времени наработки на отказ и коэффициента готовности для систем, позволяют оценить эффективность типов резервирования и осуществлять выбор при проектировании отказоустойчивых телекоммуникационных систем;

реализован программный инструмент для выбора наиболее эффективного типа резервирования по уровню важности каждого элемента в телекоммуникационных системах, который позволяет выявлять наиболее критичные компоненты системы и способствует рациональному распределению ресурсов, повышая общую надёжность системы при минимальных затратах на ресурсы;

создан вычислительный модуль для анализа потерь в оптическом волокне, который обеспечивает расчёт линейного затухания, потерь на соединениях, изгибах и стыках, который может быть использован на стадии проектирования волоконно-оптических линий связи, при технической диагностике и модернизации существующих участков сетей;

Достоверность результатов исследования обоснована корректной постановкой задач при проведении анализа и разработки методов по расчету и обеспечению надежности элементов и компонентов ВОСПИ, при которых выполнена проверка полученных результатов с реальными данными, а также их качественной и количественной оценкой.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке метода прогнозирования отказов с самоанализом в ВОСПИ, метода выбора способа резервирования на основе степени важности элемента в системе, модели устройства диагностики отказов элементов волоконно-оптической линии связи, аналитических моделей оценки надёжности на основе законов распределения, учитывающих вероятность отказа различных компонентов системы и возникновения ошибок в программном обеспечении, в создании вычислительного алгоритма показателей надежности телекоммуникационных систем с учетом различных схем резервирования, алгоритма выбора резервирования по степени важности элемента, а также алгоритма прогнозирования отказов элементов волоконно-оптической линии связи с применением алгоритмов машинного обучения.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке и внедрении программных средств и интеллектуальных модулей, предназначенных для расчёта надёжности показателей надёжности телекоммуникационных систем при различных схемах резервирования, выбора способа резервирования с учётом важности элементов, анализа потерь в оптическом волокне, а также прогнозирования отказов с использованием методов машинного обучения, что позволило автоматизировать процессы расчёта показателей надёжности, повысить точность и оперативность диагностики и прогнозирования отказов.

Внедрение результатов исследования. По результатам методов и алгоритмов повышения надёжности волоконно-оптических систем передачи информации:

аналитические модели, позволяющие на основе законов распределения отказов элементов выполнить оценку надёжности волоконно-оптических систем передачи информации с учётом аппаратного и программного обеспечения внедрены в АК «Узбектелеком», ООО «FALCON TELECOM EXPERT», ООО «UNICON.UZ» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 34-8/4812 от 10 июля 2025 г.). В результате дало возможность с высокой точностью рассчитать показатели надежности телекоммуникационных систем с учетом резервирования;

вычислительный алгоритм, позволяющий на основе сравнения интенсивности отказов и среднего времени восстановления системы, а также выбора способа резервирования рассчитать показатели надежности телекоммуникационных систем, метод и алгоритм выбора способа резервирования на основе степени важности элементов, позволяющие посредством минимизации отказов наиболее критичных частей повысить общую надёжность системы внедрены в ООО «UNICON.UZ» и в ООО «FALCON TELECOM EXPERT» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 34-8/4812 от 10 июля 2025 г.). В результате позволило обеспечить оперативную оценку видов резервирования и повысить эффективность проектных решений на 1,6-2%, избирательный

подход к резервированию, повысить эффективность использования ресурсов на резервирование для обеспечения высокой устойчивости ВОСПИ;

метод прогнозирования отказов, позволяющий на основе алгоритмов машинного обучения и самоанализа автоматически выбирать параметры и модели, обеспечивая повышение точности прогнозов и устойчивость системы к изменяющимся условиям; алгоритм прогнозирования отказов элементов волоконно-оптической системы передачи информации с механизмом самоанализа, позволяющий на основе отклонений между статистическими данными и прогнозируемыми значениями обеспечить возможность превентивного выявления отказов и повышения надёжности системы внедрены в АК «Узбектелеком», ООО «UNICON.UZ», ООО «NETKA TELECOM» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 34-8/4812 от 10 июля 2025 г.). В результате периодического анализа расхождений между реальными данными об отказах и прогнозируемыми результатами, корректировке параметров модели, среднеквадратичная ошибка снизилась по сравнению с исходным уровнем и точность прогнозирования увеличилась на 10%;

усовершенствованная модель и алгоритм устройства для диагностики отказов элементов волоконно-оптической линии связи, имеющий в своём составе блок адаптивной обработки данных, позволяющий на основе анализа измеренных параметров и машинного обучения прогнозировать вероятность отказов элементов внедрены в АК «Узбектелеком», ООО «UNICON.UZ» и в ООО «FALCON TELECOM EXPERT» (справка Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан № 34-8/4812 от 10 июля 2025 г.). В результате обеспечена возможность автоматизированного мониторинга, непрерывного сбора и передачи параметров состояния компонентов ВОСПИ, что позволило повысить оперативность обнаружения неисправностей на 10-12% и расширило возможности для централизованного анализа и хранения информации о потенциальных отказах;

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 9 международных и 7 республиканских научно-технических и научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 37 научных работ, из них 14 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе в 6 зарубежных журналах, 1 монография. Получен 1 патент на изобретение и 1 патент на полезную модель Министерства юстиции Республики Узбекистан, получены 4 свидетельства регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит 197 страниц и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы 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, аprobации опубликованных работ и структура диссертации.

В первой главе диссертации «**Аналитический обзор методов повышения надежности волоконно-оптических систем передачи информации**» описаны структура, основные элементы и компоненты ВОСПИ, рассмотрены показатели надежности систем телекоммуникаций, проведён анализ факторов, определяющих надёжность ВОСПИ, сравнительный анализ методов повышения и прогнозирования надежности ВОСПИ. Анализ показал, что имеются потребности в методах повышении надёжности, в том числе внедрения эффективных методов прогнозирования отказов в ВОСПИ, что выявляет актуальность разработки аналитических моделей оценки надёжности, метода выбора способа резервирования элементов по их степени важности в системе, алгоритма расчёта показателей надёжности, метода и алгоритма прогнозирования отказов, устройства диагностики отказов элементов волоконно-оптической линии связи.

Волоконно-оптическая система передачи информации представляет собой комплекс технических средств, обеспечивающих формирование типовых каналов и трактов передачи с использованием в качестве направляющей среды оптического кабеля и передачей по нему оптических сигналов. ВОСПИ отражает совокупность элементов и устройств, предназначенных для передачи, приёма, преобразования оптических сигналов, задачей которой является обеспечение надежной и высокоскоростной передачи данных на дальние расстояния (рис.1).

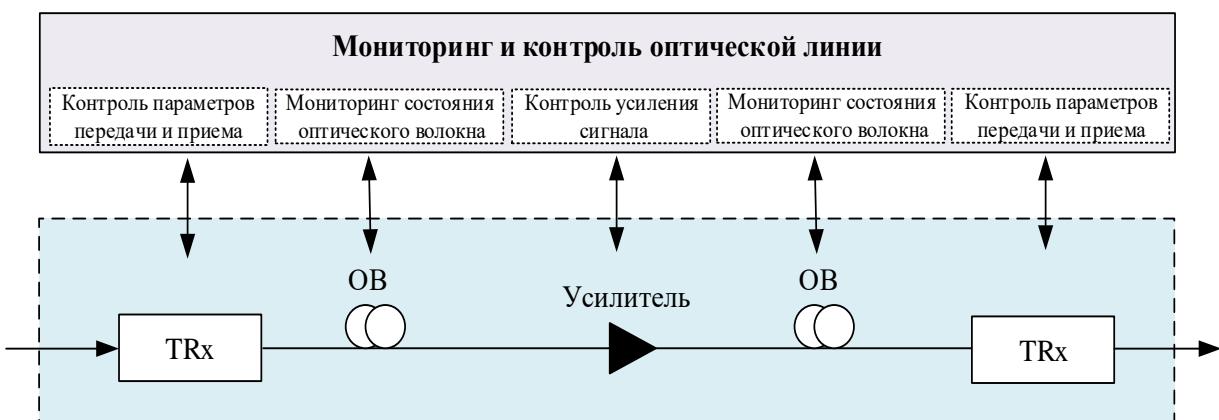


Рис.1. Схема волоконно- оптической системы передачи информации

Схема взаимодействия программного обеспечения (ПО) с элементами волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) отражает логическое соединение

функциональных модулей системы мониторинга с элементами аппаратной части – трансиверами, усилителями и оптическими волокнами, обеспечивающими передачу и приём оптического сигнала (рис.1). Каждый элемент системы выполняет свои функциональные задачи: ОВ – оптическое волокно, выполняет функцию среды распространения оптического сигнала между узлами системы; TRx – оптический трансивер, предназначен для передачи и приёма сигнала, преобразования электрических сигналов в оптические и наоборот; усилитель – устройство для компенсации потерь мощности оптического сигнала на длинных участках линии связи, обеспечивает необходимый уровень оптической мощности на входе приёмного оборудования.

В состав системы также входит аппаратно-программный комплекс «Мониторинг и контроль оптической линии», предназначенный для контроля технического состояния и параметров передачи данных. Блок мониторинга выполняет следующие функции: контроль параметров передачи и приёма сигнала в трансиверах; мониторинг состояния оптического волокна по затуханию, отражению и целостности линии; контроль усиления сигнала в оптических усилителях и др.

Установлено, что факторы, влияющие на надёжность ВОСПИ имеют разную природу возникновения и по-разному сказываются на надёжность системы, поэтому для повышения необходимо учитывать совокупность всех возможных факторов, их взаимосвязь и влияние на показатели надёжности системы. Аппаратная и программная надёжность ВОСПИ являются одними из важных факторов для обеспечения стабильной и эффективной работы телекоммуникационных сетей.

Во второй главе диссертации **«Методы и модели оценки надежности волоконно-оптических систем передачи информации»** представлены методы расчёта и модели оценки надёжности ВОСПИ обеспечивающие количественную оценку отказоустойчивости и функционирования системы, обоснована применимость в ВОСПИ методов, основанных на применении теорем теории вероятностей и логико-вероятностных методов, показано, что выбор схемы резервирования зависит от характеристик надёжности элементов, интенсивности отказов, среднего времени восстановления и значимости элементов для функционирования системы, учитывая специфику резервирования элементов, представлены модели оценки надёжности волоконно-оптических систем передачи информации с резервированными линиями связи.

Выявлено, что применение методов, основанных на применении теорем теории вероятностей и логико-вероятностных методов позволяет учитывать индивидуальные характеристики элементов ВОСПИ и их системные взаимосвязи. Показано, что комбинированный подход, объединяющий указанные методы, обеспечивает более точное и полное представление об отказоустойчивости системы к применению на всех стадиях жизненного цикла ВОСПИ, который обеспечивает возможность количественной надёжности системы и формирования обоснованных мероприятий по её повышению.

На основе исследования надёжности аппаратных и программных элементов ВОСПИ показано, что наиболее эффективными для их описания являются вероятностные модели, отражающие особенности возникновения отказов во времени. В частности, отказам трансивера наиболее применимо экспоненциальное распределение, так как после первоначального этапа «выгорания» элементов, отказы происходят случайным образом с постоянной интенсивностью:

$$P(t)_{\text{tp}} = e^{-\lambda_{\text{tp}} t}, \quad (1)$$

где λ_{tp} – интенсивность отказов трансивера.

Для волоконно-оптического кабеля и усилителей наиболее применимо использование распределения Вейбулла, учитывающее возрастающую интенсивность отказов со временем, ввиду того, что эти элементы подвержены износу, старению и деградации:

$$P(t)_{\text{k}} = e^{-\left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}}}, \quad (2)$$

$$P(t)_{\text{yc}} = e^{-\left(\frac{t}{\beta_{\text{yc}}}\right)^{\alpha_{\text{yc}}}}, \quad (3)$$

где α – параметр формы; β – параметр масштаба.

Установлено, что модель надёжности программного обеспечения Мусы-Окумoto наиболее применим для описания отказоустойчивости программного обеспечения в ВОСПИ, которая допускает, что некоторые ошибки имеют большую вероятность проявления в виде отказов, снижают интенсивность отказов с каждой устраниенной ошибкой и дают экспоненциальное распределение. Среднее значение числа отказов на момент времени t определяется следующей формулой:

$$m(t) = \frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1), \quad (4)$$

где $m(t)$ – среднее значение числа отказов; λ_0 – начальная интенсивность отказов; θ – скорость снижения интенсивности отказов на момент времени.

Функция надёжности программного обеспечения:

$$P_{\text{ПО}}(t) = e^{-\frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1)}. \quad (5)$$

Проведён анализ логико-вероятностной модели надёжности ВОСПИ с резервированными линиями связи, рассмотрены возможные состояния элементов, а также их влияние на общее функционирование системы. Для каждого элемента определены вероятности безотказной работы, на основе которых получены вероятностные распределения всех возможных состояний системы.

В третьей главе диссертации «Разработка метода выбора способа резервирования и алгоритмов повышения надёжности ВОСПИ» разработаны аналитические модели оценки надёжности волоконно-оптических систем передачи информации, разработан метод и создан алгоритм резервирования элементов системы, учитывающий степень важности каждого элемента в системе, вычислительный алгоритм расчёта показателей надёжности телекоммуникационных систем с учетом различных схем резервирования.

Выявлено, что построение моделей надёжности ВОСПИ требует учёта различных законов распределения, отражающих специфику отказов аппаратных и программных элементов. В ВОСПИ используется предположение о взаимной независимости длительностей безотказной работы элементов аппаратного и программного обеспечения.

Вероятность того, что определенные события произойдут одновременно в различных элементах системы, равна произведению вероятностей этих событий в каждом отдельном элементе. Функция надёжности системы имеет следующий вид:

$$P_{\text{сис}}(t) = P_{\text{tp}}(t) \cdot P_{\text{k}}(t) \cdot P_{\text{yc}}(t) \cdot P_{\text{PO}}(t). \quad (6)$$

Подставив функции надёжности элементов из формул (1), (2), (3), (5) в выражение (6) и упростив можно получить следующее аналитическое выражение функции надёжности ВОСПИ:

$$P_{\text{сис}}(t) = e^{-\left[\lambda_{\text{tp}}t + \left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}} + \left(\frac{t}{\beta_{\text{yc}}}\right)^{\alpha_{\text{yc}}} + \frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1)\right]}. \quad (7)$$

На основе формул (6) и (7) выведено выражение функции плотности распределения отказов для ВОСПИ:

$$f(t) = -\frac{dP_{\text{сис}}(t)}{dt} = -\frac{d}{dt} e^{-\left[\lambda_{\text{tp}}t + \left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}} + \left(\frac{t}{\beta_{\text{yc}}}\right)^{\alpha_{\text{yc}}} + \frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1)\right]} = \\ = \left[\lambda_{\text{tp}} + \frac{\alpha_{\text{k}}}{\beta_{\text{k}}} \left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}-1} + \frac{\alpha_{\text{yc}}}{\beta_{\text{yc}}} \left(\frac{t}{\beta_{\text{yc}}}\right)^{\alpha_{\text{yc}}-1} + \frac{\lambda_0}{\lambda_0 \theta t + 1} \right] \cdot e^{-\left[\lambda_{\text{tp}}t + \left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}} + \left(\frac{t}{\beta_{\text{yc}}}\right)^{\alpha_{\text{yc}}} + \frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1)\right]}. \quad (8)$$

Корректность аналитических моделей надёжности и плотности распределения отказов подтверждена на основе граничных условий:

- при $t = 0$, вероятность безотказной работы системы $P(t) = 1$, плотность распределения отказов $f(t) > 0$, т.е.

$$P(t)|_{t=0} = 1, \quad f(t)|_{t=0} > 0, \quad (9)$$

- при $t \rightarrow \infty$, вероятность безотказной работы системы $P(t) \rightarrow 0$, плотность вероятности отказов $f(t) \rightarrow 0$, т.е.:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = 0. \quad (10)$$

График, построенный на основе формулы (7), показывает снижение вероятности безотказной работы системы в зависимости от времени, которое соответствует реальным условиям эксплуатации (рис.2).

График влияния начальной интенсивности отказов (λ_0) на вероятность безотказной работы системы показывает, что при более высокой λ_0 скорость снижения вероятности безотказной работы возрастает (рис.3).

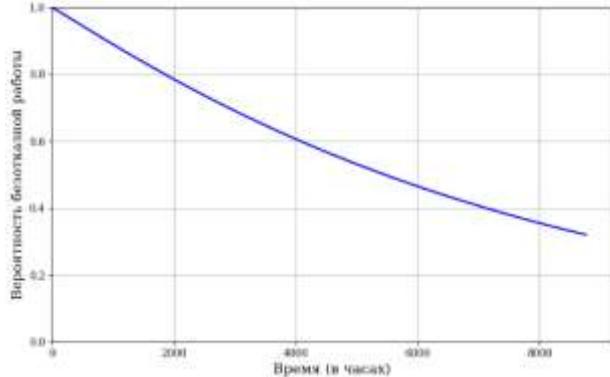


Рис.2. Зависимость вероятности безотказной работы ВОСПИ от времени

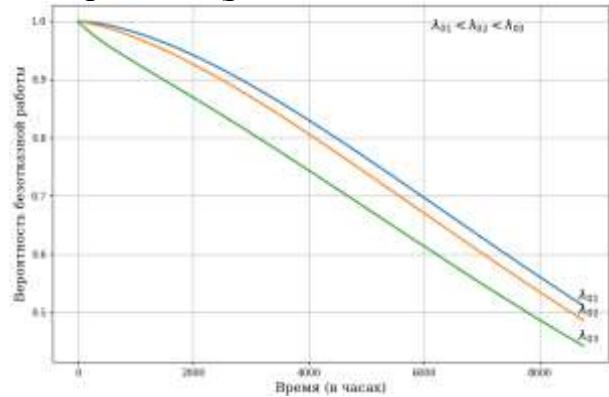
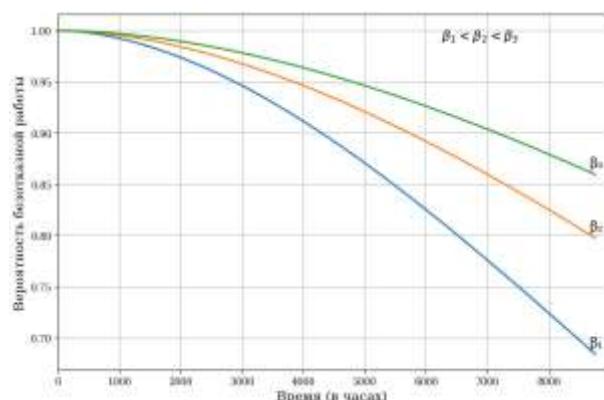
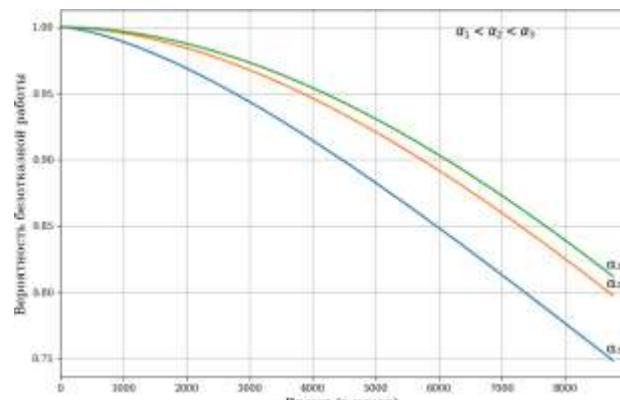


Рис.3. Влияние начальной интенсивности отказов ПО λ_0 на надежность системы

Сравнительный график зависимости вероятности безотказной работы от параметра формы α и параметра масштаба β распределения Вейбулла показал, что увеличение значений α и β способствует повышению надёжности, что выражается в более медленном снижении вероятности безотказной работы во времени (рис.4).



а)



б)

Рис.4. Вероятность безотказной работы при различных значениях параметров распределения Вейбулла; а) влияние параметра масштаба β , б) влияние параметра формы α

Границные условия, результаты, представленные на графиках, демонстрируют согласованность аналитических выражений с физическим поведением системы и адекватность их описания изменения надёжности и плотности вероятности отказов в условиях эксплуатации ВОСПИ.

Выявлено, что в ВОСПИ наиболее часто применяется резервирование по принципу полной избыточности, что приводит к дополнительным затратам и усложнению конфигурации системы. В распределённых системах, в том числе ВОСПИ, элементы характеризуются различной степенью важности, при этом существующие методы не содержат formalизованных механизмов оценки важности элементов и выбора способа резервирования.

Разработан метод выбора способа резервирования на основе степени важности элементов ВОСПИ (рис.5).

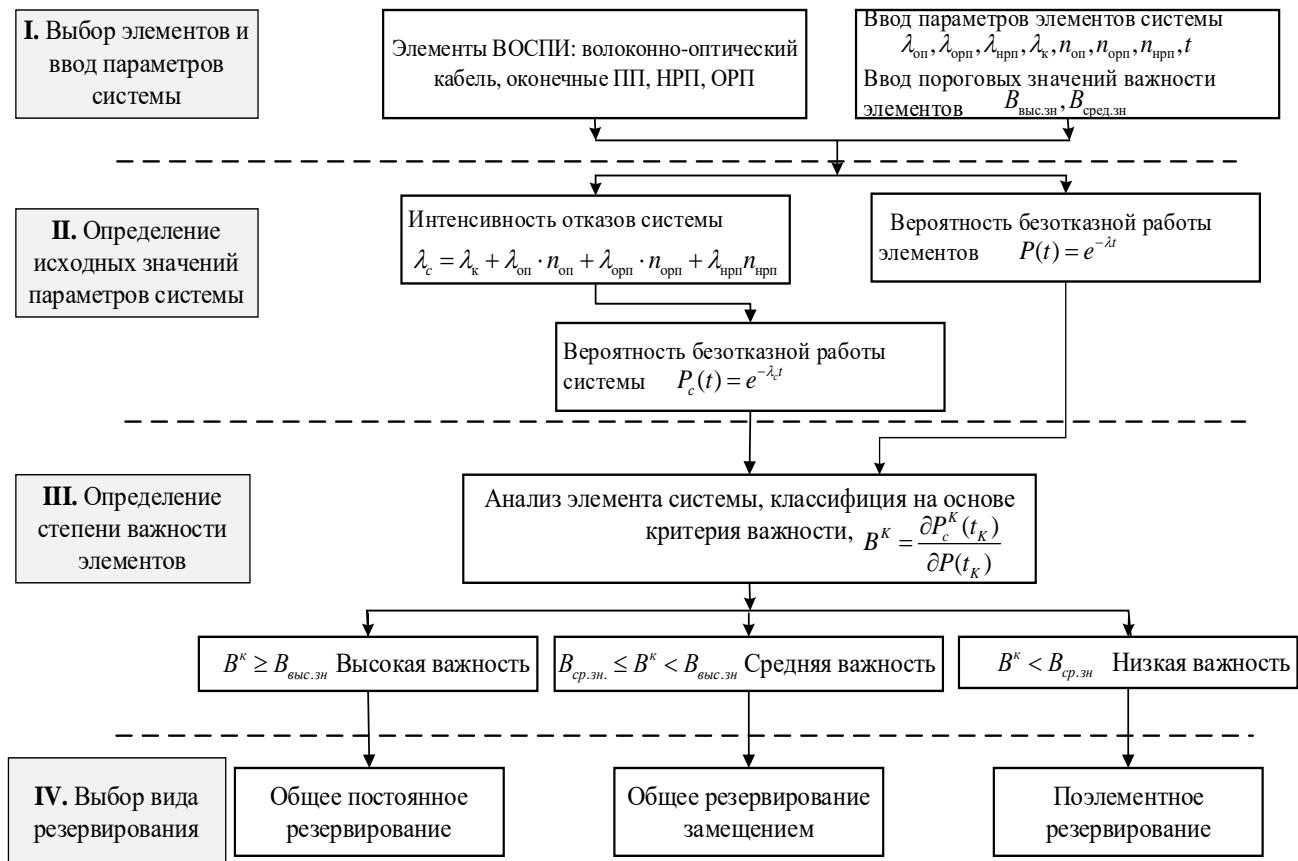


Рис.5. Блок-схема реализации метода выбора способа резервирования на основе степени важности элементов ВОСПИ

Разработан алгоритм работы метода выбора способа резервирования, который анализирует каждый элемент и выбирает способ резервирования исходя из его важности в системе(рис.6).

Важность в ВОСПИ определяется как мера влияния конкретного элемента на общую работоспособность и надёжность всей системы. Элемент считается высокозначимым, если его отказ нарушает работу всей ВОСПИ; такие элементы требуют приоритетного резервирования и контроля. Для классификации элементов по степени важности использован индекс важности по Бирнбауму. Пороговые значения выбраны на основе анализа распределения индексов важности, а также эмпирических данных, где элементы с наивысшими значениями индекса показывают наибольшее влияние на надёжность системы.

С целью оценки эффективности разработанного алгоритма выбора способа резервирования, основанного на степени важности элементов, выполнена оценка его работы на модельной конфигурации волоконно-оптической системы передачи информации. Метод обеспечивает рациональное распределение резервных ресурсов на основе количественной оценки влияния каждого элемента на надёжность системы в целом.

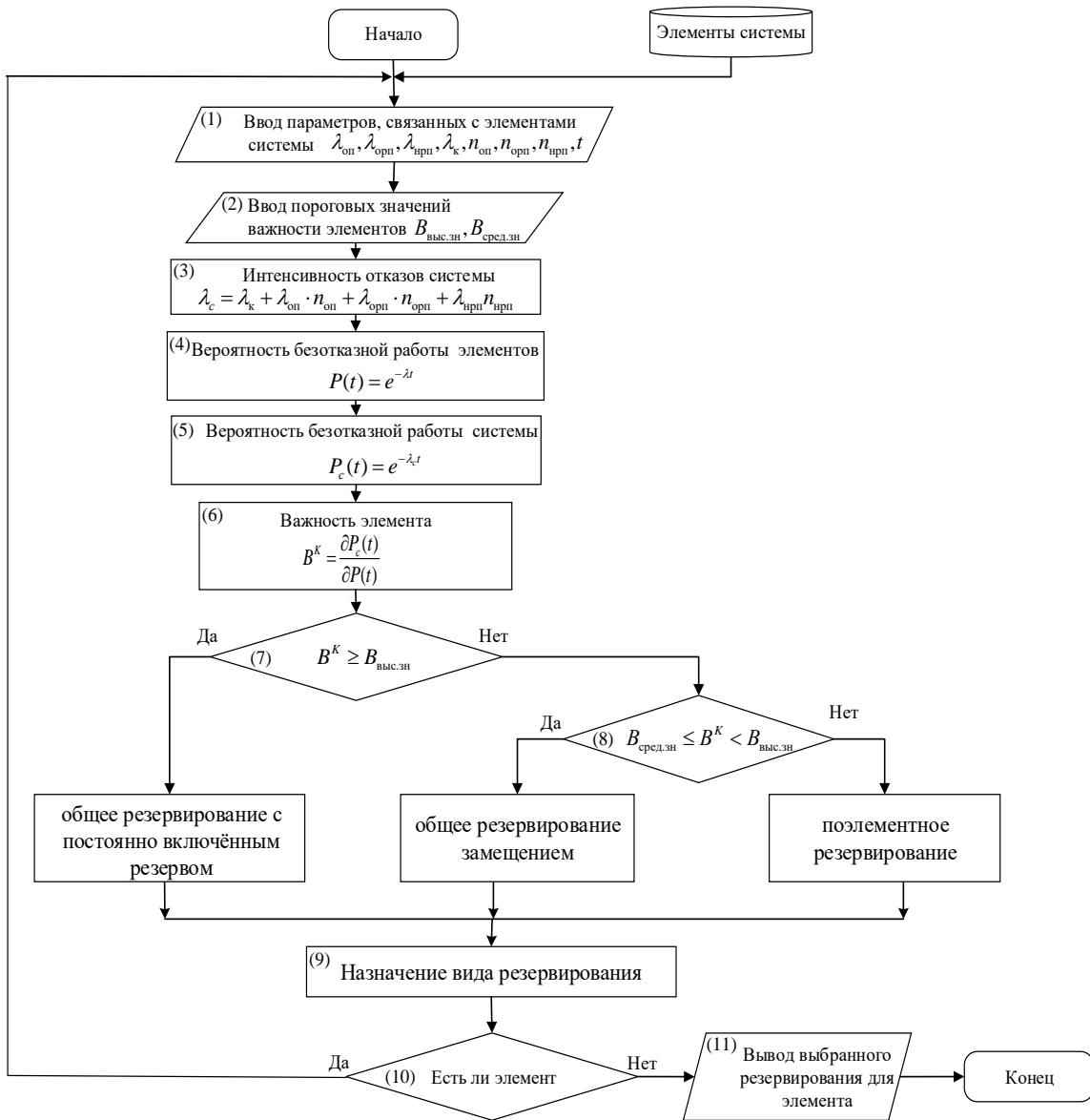


Рис.6. Алгоритм работы метода выбора способа резервирования на основе степени важности элементов ВОСПИ

Ввиду усложнения расчёта показателей надёжности с увеличением количества элементов и кратности резервирования, с целью уменьшения времени расчёта и увеличения точности результатов разработан вычислительный алгоритм. Алгоритм выбирает способ резервирования на основе сравнения параметров интенсивности отказов линии тракта и среднего времени восстановления, автоматизируя процесс расчёта показателей надёжности (рис.7).

Для подтверждения корректности разработанного вычислительного алгоритма проведена сравнительная оценка результатов с результатами ручного расчёта показателей надёжности при кратности резервирования $m=1$ и $m=2$.

Сравнение между ручными расчётами и значениями, полученными с использованием алгоритма, показывает минимальные отклонения, которые свидетельствуют о высокой точности.

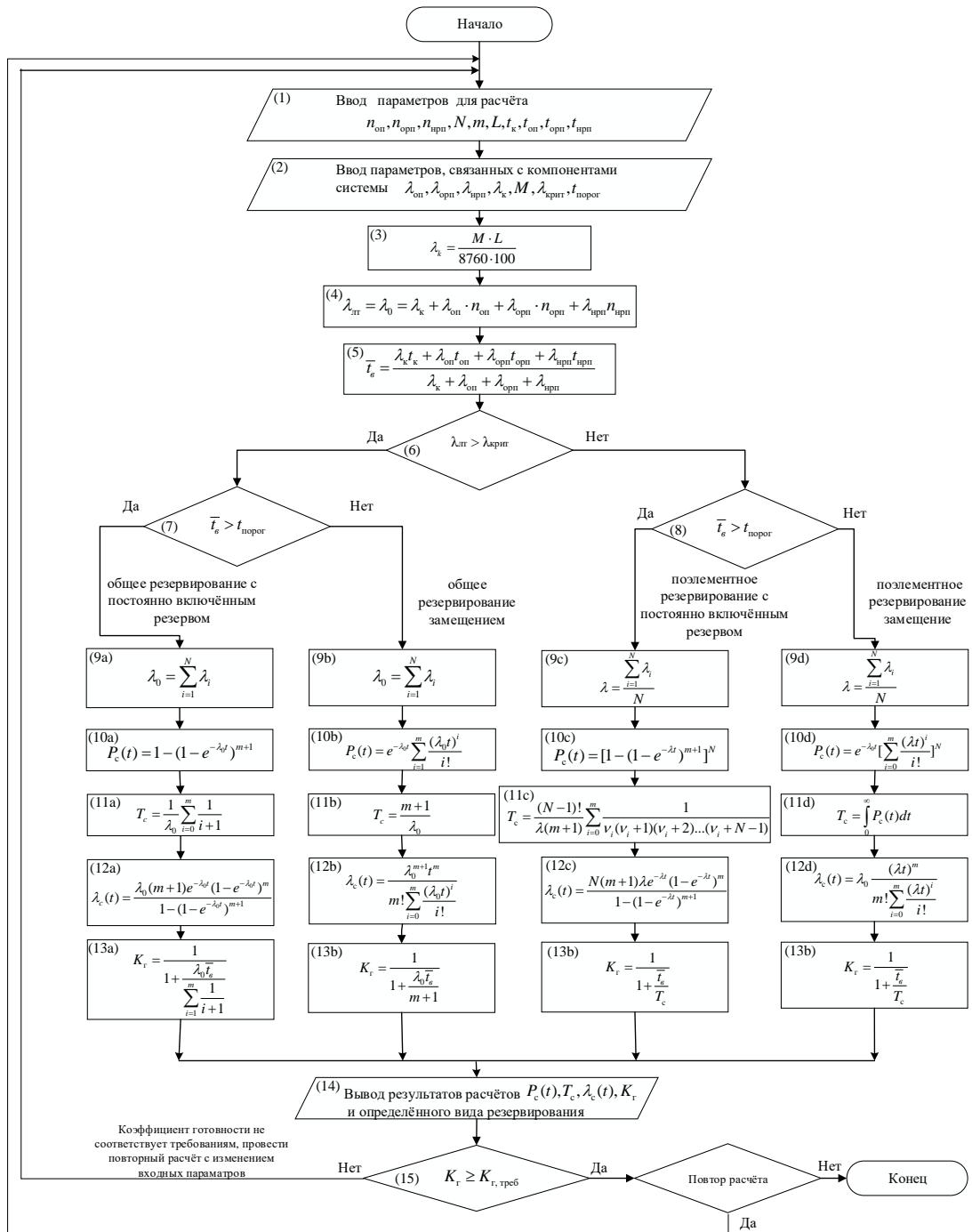


Рис.7. Вычислительный алгоритм показателей надёжности для различных типов резервирования

Алгоритм обеспечивает также сокращение времени вычислений при работе с большими объёмами входных данных и высокими значениями кратности резервирования

В четвертой главе диссертации «**Разработка метода прогнозирования отказов в телекоммуникационных сетях**» рассмотрены существующие методы прогнозирования отказов в ВОСПИ, разработан метод прогнозирования отказов на основе алгоритмов машинного обучения и самоанализа, создан алгоритм прогнозирования отказов элементов волоконно-оптической системы передачи информации с механизмом самоанализа, представлены результаты тестирования разработанного метода. На основании статистического анализа данных об отказах в телекоммуникационных сетях за рассматриваемый период установлена их линейная зависимость.

Разработан метод прогнозирования отказов с самоанализом в телекоммуникационных сетях, который при расхождении прогнозированных результатов с реальными данными на основе анализа результатов прогнозирования, производит изменение параметров ранее использованной модели машинного обучения или выбирает другую модель (рис.8).

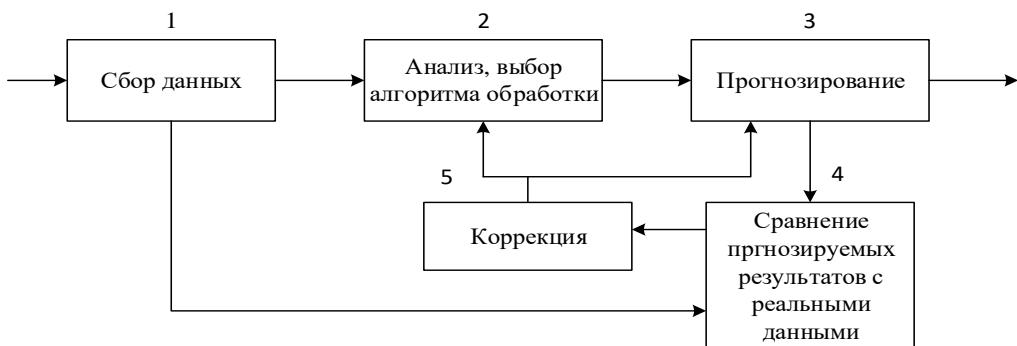


Рис.8. Реализация метода прогнозирования отказов с самоанализом в ВОСПИ

Метод прогнозирования отказов состоит из нескольких этапов. На первом этапе производится сбор и предварительная обработка данных об отказах, поступающих с телекоммуникационных сетей центра диагностического контроля. Выполняется фильтрация и очистка данных от ошибок и повторных данных, а также построение статистических и временных признаков. На втором этапе проводится анализ и выбор оптимального алгоритма обработки. Система обучает несколько регрессионных моделей и выбирает ту, которая демонстрирует наилучшие показатели точности при прогнозировании времени отказа. На третьем этапе обучается выбранная модель и выводятся прогнозные значения, отражающие предполагаемое время возникновения отказов на основе исторических данных. На четвёртом этапе осуществляется оценка точности прогнозов. На пятом этапе, при наличии отклонения от пороговых значений метрик, на этапе самоанализа и коррекции модели система корректирует параметры или выбирает другой алгоритм, обеспечивая адаптивность и актуальность прогнозов при обновлении данных об отказах.

Создан алгоритм работы метода прогнозирования отказов ВОСПИ, сущность которого заключается в механизме самоанализа с автоматической корректировкой параметров при обнаружении расхождений между прогнозируемыми и реальными данными об отказах (рис.9). Показано, что при

превышении ошибки прогнозирования пороговых значений качество модели считается неудовлетворительным, запускается алгоритм работы этапа самоанализа (блок 9), который реализует механизм принятия решений по улучшению модели в зависимости от природы ошибки.

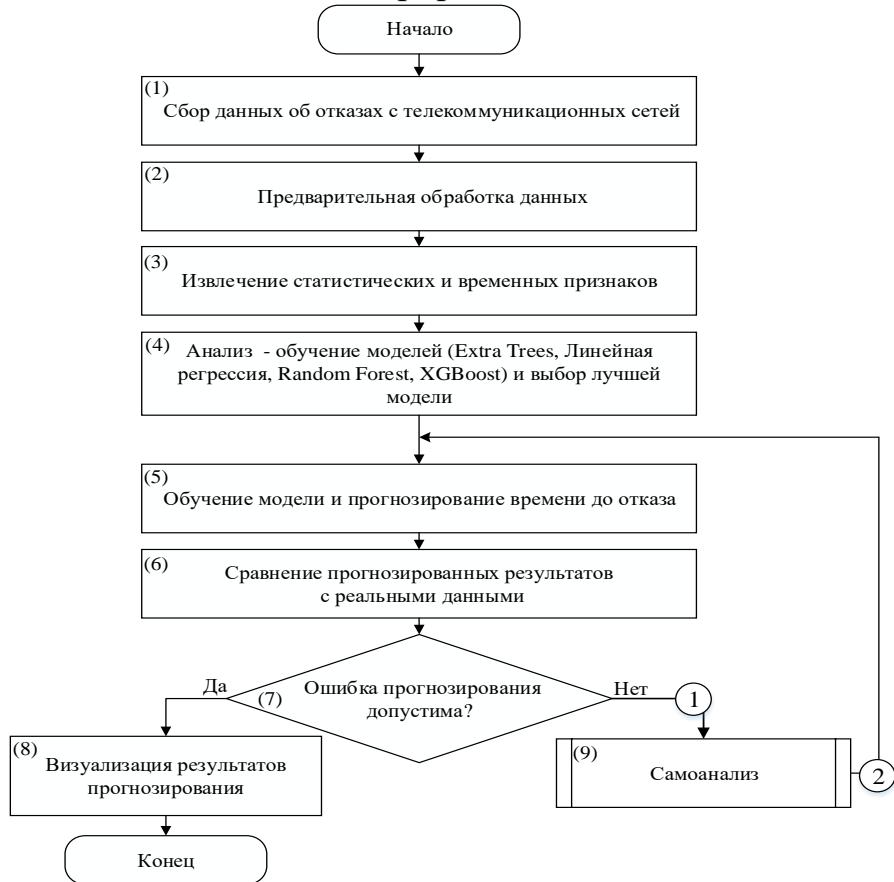


Рис.9. Алгоритм прогнозирования отказов элементов волоконно-оптической системы передачи информации с механизмом самоанализа

На этапе самоанализа определяется характер ошибки: систематическая корректируется настройкой гиперпараметров и, при необходимости, сменой алгоритма; случайная устраняется обновлением данных и переобучением модели. На каждом этапе оцениваются метрики, и при достижении требуемых значений модель сохраняется как рабочая (рис.10).

Для сравнения прогнозируемых значений с фактическими данными использованы метрики качества. При прогнозировании «времени до отказа» выбрана метрика $RMSE$ (среднеквадратическая ошибка) и для бинарной классификации «возникнет отказ в течение ближайших x часов» выбрана метрика $F1$ -score (интегральный показатель качества классификации, учитывающий точность и полноту). При моделировании установлено, что:

- при $RMSE < 0,3$ расхождение между фактическим и прогнозируемым временем отказов не превышает ± 250 минут и прогнозы сохраняют точность;
- при $F1 \geq 0,72$ достигается приемлемый баланс между полнотой и точностью классификации отказов;
- при ухудшении этих показателей система теряет устойчивость: ошибка растёт, а модель начинает переоценивать редкие отказы.

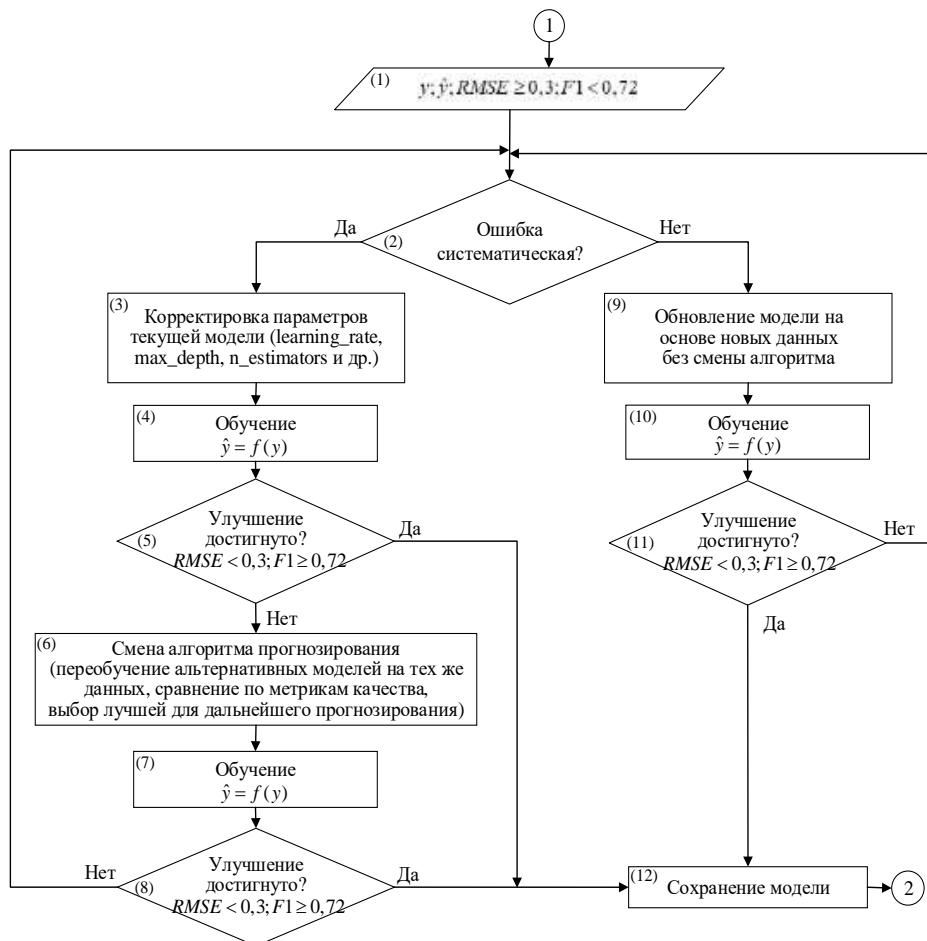


Рис.10. Алгоритм работы этапа самоанализа

Метод протестирован в программной среде Матлаб на основе статистических данных и показал высокую точность прогнозирования отказов. Результаты показывают, что до применения механизма самоанализа модель допускала значительные ошибки (рис.11,а), а после применения прогнозируемые значения стали ближе к фактическим данным (рис.11,б).

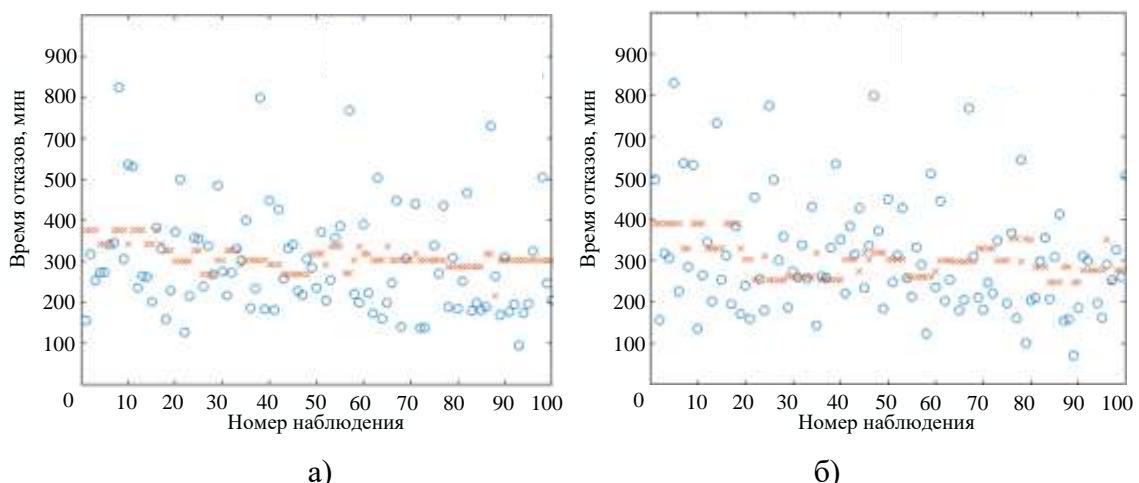


Рис.11. Сравнение фактических и прогнозируемых значений времени отказов, фактические данные отмечены синими кружками, прогнозируемые – красными крестиками: а) до применения механизма самоанализа, б) после применения механизма самоанализа

Распределение ошибок до применения механизма самоанализа характеризуется широким разбросом и переоценкой времени до отказа. После его реализации ошибки сместились к нулю, а крупные отклонения сократились (рис.12).

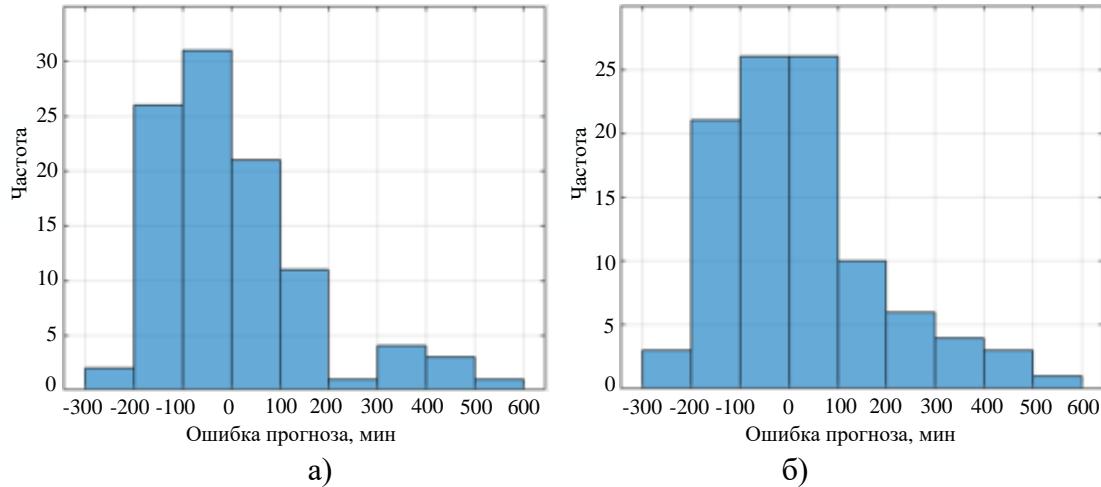


Рис.12. Гистограммы распределения ошибок прогноза времени до отказа:
а) до применения механизма самоанализа;
б) после применения механизма самоанализа

Благодаря периодическому анализу расхождений и механизма самоанализа, среднеквадратичная ошибка $RMSE$ снизилась по сравнению с исходным уровнем, а показатель сбалансированности точности и полноты $F1$ -score вырос с 0,75 до 0,81; в свою очередь, система реже «опаздывала» с сигналом о возможном отказе, при изменении условий модель быстро переобучалась и сохраняла высокую точность (рис.13).

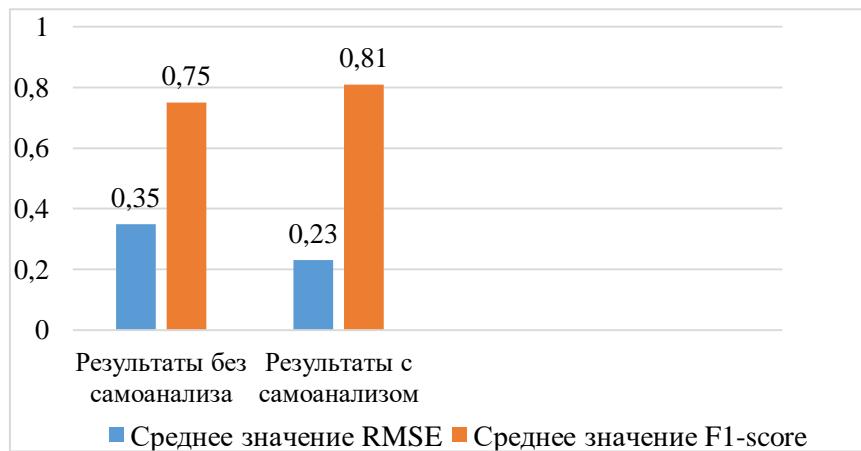


Рис.13. Показатели метрик до и после применения самоанализа

В результате применения разработанного метода система улучшила своевременность обнаружения отказов и обеспечила устойчивость к изменяющимся условиям и структурам телекоммуникационной сети, что делает её применимой для реальных эксплуатационных задач в отрасли.

В пятой главе диссертации «Разработка устройства диагностики элементов волоконно-оптических линий связи с адаптивной обработкой информации» разработаны модель и алгоритм работы устройства диагностики

элементов ВОСПИ, сочетающая аппаратную платформу с цифровым мониторингом и интеллектуальную систему обработки диагностической информации, представлены результаты работы алгоритма обучения модели для экспорта в микроконтроллер.

Принцип работы устройства заключается в последовательной обработке данных (рис.14). После включения питания активируется SFP-модуль с функцией цифрового мониторинга (1), который передаёт и принимает оптический сигнал. Микроконтроллер (2) считывает параметры: температура модуля (T), напряжение питания (U), ток смещения лазера (I), оптическая мощность передатчика (P_{Tx}), оптическая мощность приёмника (P_{Rx}); после чего информация поступает в модуль адаптивной обработки (3), где анализируется моделью машинного обучения, полученной из обучающей системы (12). Полученные результаты отображаются на экране (4), передаются по беспроводным каналам связи (6) и сохраняются в памяти устройства (11) и базе данных (7) для последующего мониторинга и отчётности. В процессе работы блок управления (5) координирует работу устройства, а система управления питанием (8) контролирует питание от источника (9) и аккумулятора (10), обеспечивая автономную работу устройства.

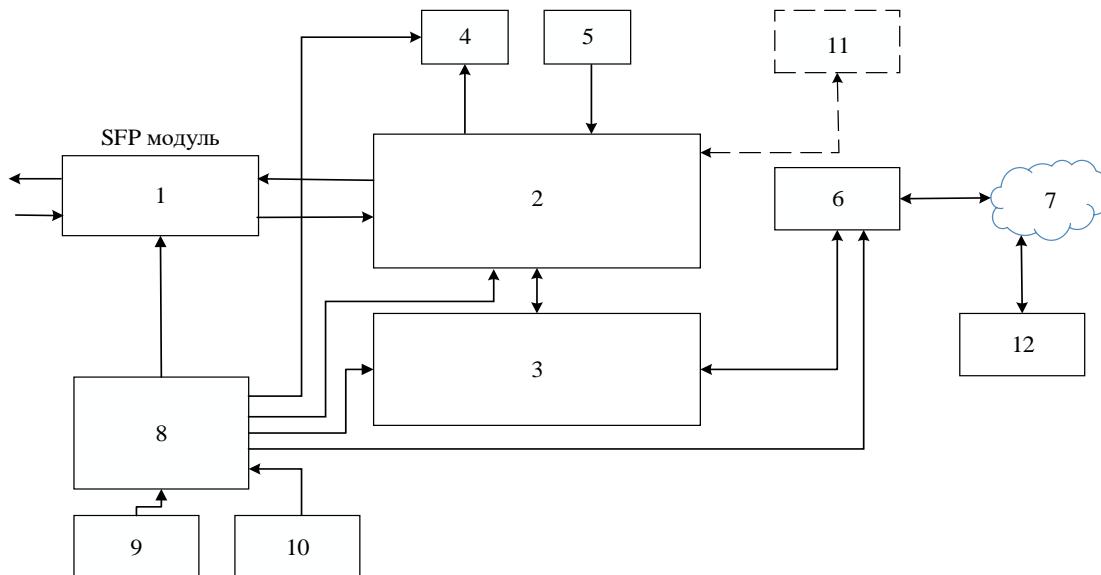


Рис. 14. Структурная схема устройства диагностики элементов волоконно-оптических линий связи

Разработан обобщённый алгоритм работы устройства, разделённый на функциональные модули (рис.15). В модуле *A* выполняется инициализация системы и запуск элементов к работе. Модуль *B* осуществляет сбор диагностических параметров SFP-модуля через систему цифрового мониторинга. Далее модуль *C* выполняет интеллектуальный анализ этих данных. Результаты оценки состояния отображаются и передаются по беспроводному каналу в модуле *D*, после чего модуль *E* сохраняет диагностические данные и итоги прогноза во встроенной памяти. Завершив цикл обработки, модуль *G* возвращает устройство к следующему циклу мониторинга.

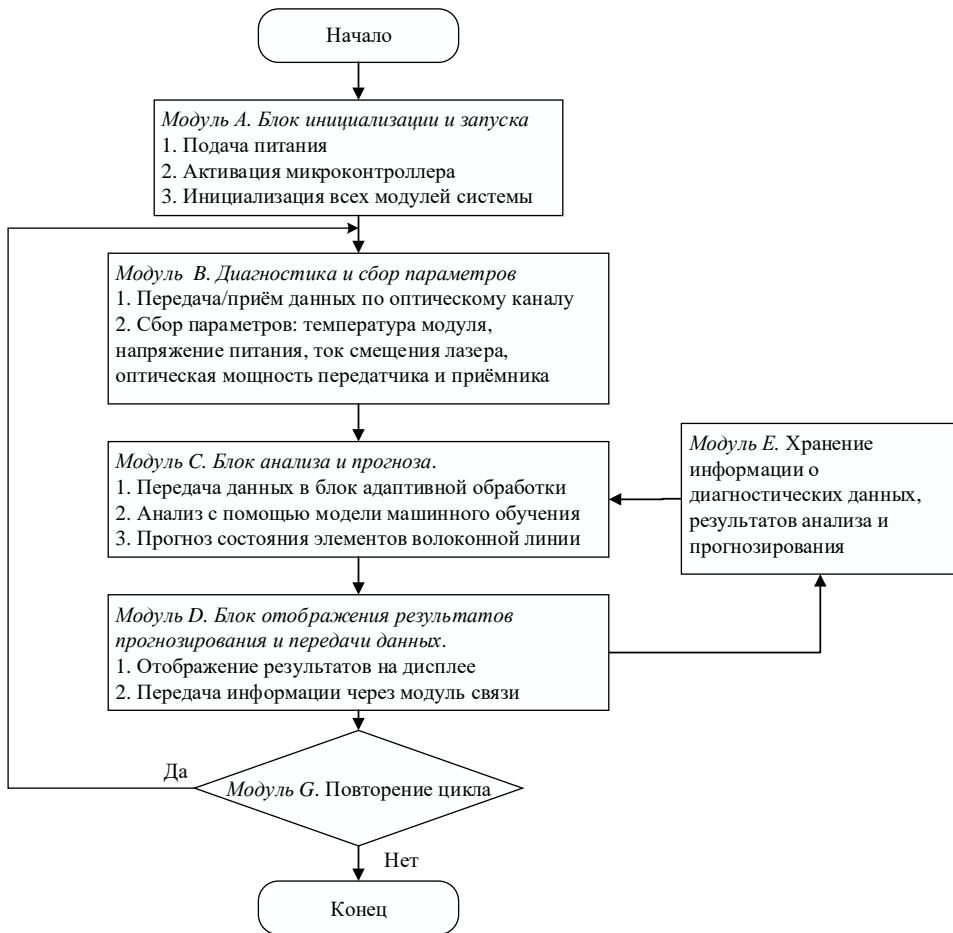


Рис.15. Обобщённый алгоритм работы устройства диагностики элементов волоконно-оптических линий связи

В блоке анализа и прогноза (*Модуль С*) производится анализ с применением модели машинного обучения и прогноз состояния элементов волоконной линии.

Целью обучения является формирование обучающей модели алгоритма машинного обучения, способной на основе диагностических параметров, получаемых от SFP-модуля через DDM (Digital Diagnostic Monitoring)-интерфейс, выполнение выше приведённых задач. Алгоритм обучения модели, включает сбор и предварительную обработку данных, обучение и тестирование модели, а также оценку качества по метрикам классификации и регрессии (рис.16).

Моделирование и обучение модели проведено в программной среде Матлаб, которое позволило реализовать полный цикл построения и верификации модели, т.е. подготовки данных и выбора архитектуры, визуализации сходимости обучения и анализа метрик качества.

В качестве обучаемой модели выбрана MLP (Multilayer Perceptron), обладающая достаточной обобщающей способностью при низких вычислительных требованиях, компактности и возможности внедрения в микроконтроллер. Архитектура разработанной нейронной сети MLP для бинарной классификации состояния модуля включает входной слой с пятью диагностическими величинами (P_{Tx} , P_{Rx} , T , U , I), скрытый слой из 10 нейронов с

функцией активации и выходной слой из двух нейронов (рис.17). На выходе формируется значение вероятностей принадлежности данных к одному из двух классов.

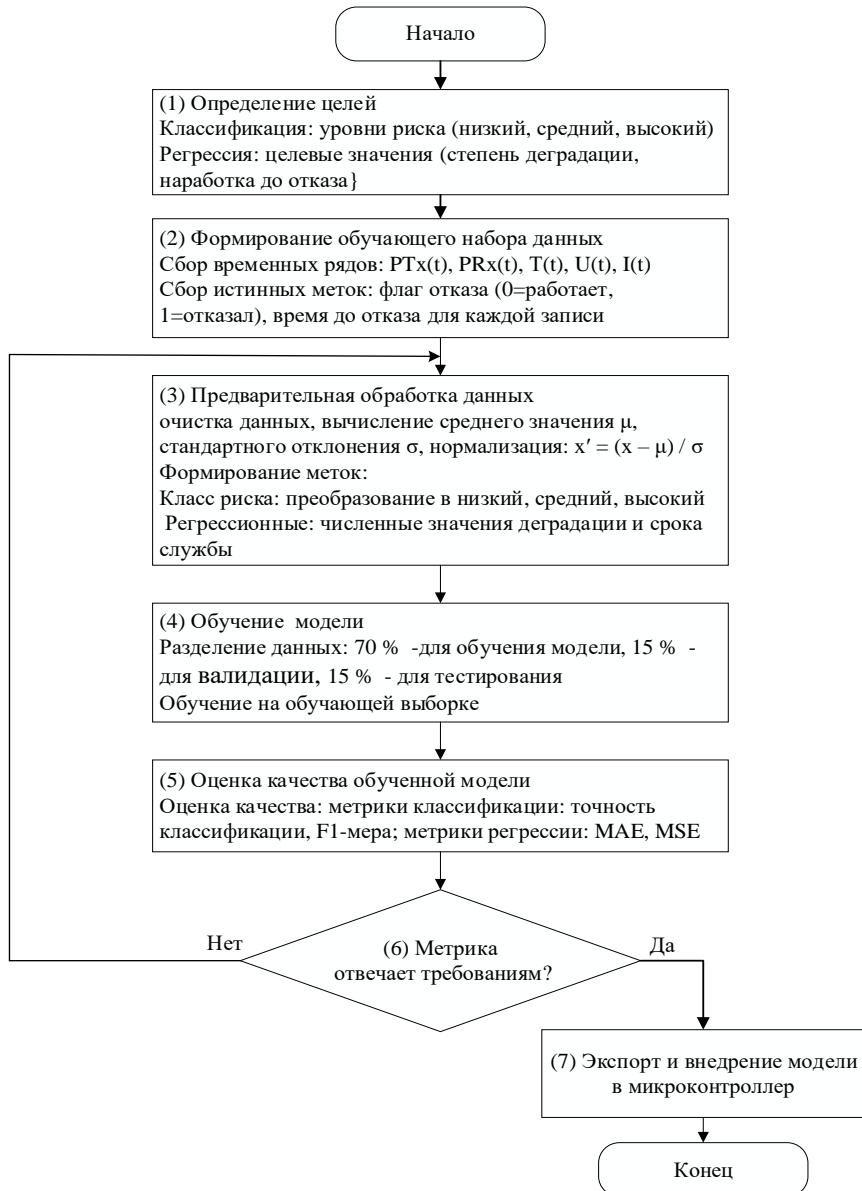


Рис.16. Алгоритм обучения модели машинного обучения для загрузки в микроконтроллер

Выявлено снижение ошибки на обучающей, валидационной и тестовой выборках. Минимальное значение ошибки на валидационной выборке достигнуто на 12-й эпохе. После этой точки наблюдался рост валидационной ошибки, указывающий на начало переобучения, поэтому механизм ранней остановки автоматически завершил обучение на 18-й эпохе (рис.18).

Разработан вариант реализации принципиальной схемы устройства диагностики элементов волоконно-оптических линий связи, которое представляет собой интегральное решение, сочетающее аппаратную платформу с цифровым мониторингом и интеллектуальную систему обработки диагностической информации.

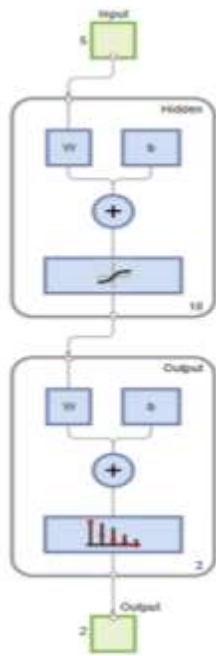


Рис.17. Схема архитектуры обученной нейронной сети MLP

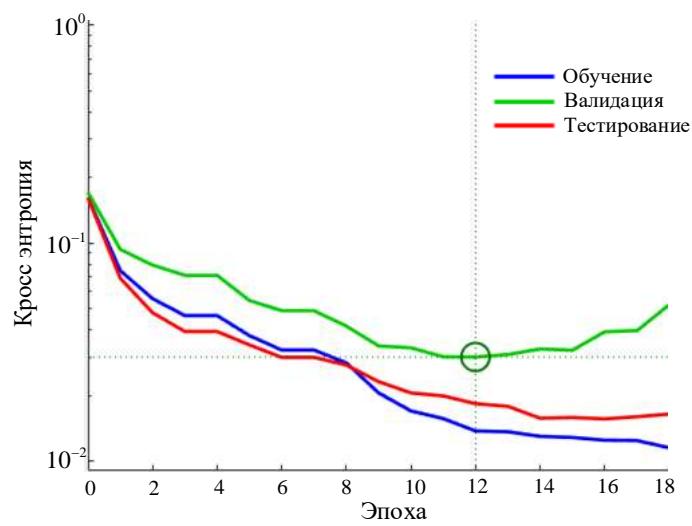


Рис.18. Снижение ошибки на обучающей, валидационной и тестовой выборках

Применение устройства для диагностики отказов элементов волоконно-оптической линии связи с адаптивной обработкой информации обеспечивает непрерывный сбор и передачу параметров состояния компонентов ВОСПИ, повышает эффективность мониторинга, ускорение обнаружения неисправностей, расширяет возможности для централизованного анализа и хранения информации о потенциальных отказах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований в диссертации доктора технических наук (DSc) на тему «Методы и алгоритмы повышения надёжности волоконно-оптических систем передачи информации» представлены следующие выводы:

1. Проведённый анализ структуры волоконно-оптических систем передачи информации (ВОСПИ) показал, что надёжность системы во многом определяется характеристиками её ключевых компонентов – трансиверов, оптических усилителей, волоконно-оптических кабелей и программного обеспечения. Установлена необходимость комплексного подхода к обеспечению надёжности, с учётом физических, эксплуатационных и программных факторов.

2. Установлено, что применение вероятностных, логико-структурных и имитационных методов позволяет моделировать надёжность ВОСПИ на всех этапах их жизненного цикла, в частности в периодах приработки, нормальной эксплуатации и старения. Использование распределения Вейбулла и экспоненциального распределения позволило учесть как случайные, так и деградационные отказы элементов системы.

3. Разработаны аналитические модели надёжности ВОСПИ, учитывающие особенности отказов аппаратных и программных элементов и позволяющие

выполнить оценку надёжности волоконно-оптических систем передачи информации. Установлено, что повышение параметра масштаба и уменьшение параметра формы у аппаратных компонентов, а также снижение начальной интенсивности отказов в программном обеспечении способствуют увеличению общей надёжности системы.

4. Разработаны метод и алгоритм выбора способа резервирования на основе оценки важности элементов системы, который учитывает вклад каждого элемента в общую надёжность ВОСПИ. В результате позволило обеспечить избирательный подход к резервированию, повысить эффективность проектных решений и использования ресурсов на резервирование для обеспечения высокой устойчивости ВОСПИ на 1,6-2 %.

5. Созданный алгоритм расчёта показателей надёжности телекоммуникационных систем обеспечил автоматизацию выбора способа резервирования системы, сокращение времени вычислений при работе с большими объёмами входных данных и высокими значениями кратности резервирования. В результате реализован формализованный выбор схем резервирования, что позволило повысить оперативность и точность инженерных расчётов при проектировании ВОСПИ.

6. Разработанные метод и алгоритм прогнозирования отказов с механизмом самоанализа позволяют поддерживать высокую точность прогнозирования отказов в телекоммуникационных сетях. В результате периодического анализа расхождений между реальными данными об отказах и прогнозируемыми результатами, корректировке параметров модели, среднеквадратичная ошибка снизилась сравнению с исходным уровнем и точность прогнозирования увеличилась на 10%.

7. Модель и алгоритм работы устройства диагностики отказов элементов волоконно-оптической линии связи и последующей передачей данных для хранения/обработки обеспечили возможность автоматизированного мониторинга, непрерывного сбора и передачу параметров состояния компонентов ВОСПИ, что повысило оперативность обнаружения неисправностей на 10-12% и расширило возможности для централизованного анализа и хранения информации о потенциальных отказах.

8. Разработанные методы и алгоритмы повышения надёжности волоконно-оптических систем передачи информации могут быть использованы при проектировании и моделировании телекоммуникационных сетей в соответствии с требованиями государственных стандартов О'з DSt 3183:2017 «Телекоммуникационные сети. Пассивное оптическое оборудование. Общие технические требования» и О'з DSt 2929:2015 «Оптические транспортные сети. Интерфейсы. Общие требования», а также при проектировании схем резервирования волоконно-оптических систем передачи информации.

9. Результаты исследования внедрены в АК «Узбектелеком», ООО «UNICON.UZ», ООО «FALCON TELECOM EXPERT», ООО «NETKA TELECOM». Получен патент на изобретение Министерства Юстиции Республики Узбекистан № IAP 7986 от 18.03.2025 «Метод прогнозирования отказов в телекоммуникационных сетях с применением самоанализа».

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

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

JURAYEVA NAFISA INOYATOVNA

**OPTIK TOLALI AXBOROT UZATISH TIZIMLARINING
ISHONCHLILIGINI OSHIRISH USULLARI VA ALGORITMLARI**

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

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lif, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestasiya komissiyasida B2025.1.DSc/T920 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'lif portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maskahatchi:

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich
texnika fanlar doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Parsiyev Saydixat Solixodjayevich
texnika fanlar doktori, professor

Usmanova Nargiza Baxtiyorbekovna
texnika fanlar doktori, dotsent

Xakimov Zafar Tulyaganovich
texnika fanlar doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Toshkent davlat transport universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.09/2025.27.12.T.01.02 raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil 31-yanvar soat 10⁰⁰ 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 (402-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 1-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

U.B. Amirsaidov

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

KIRISH (fan doktori (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbliji va zarurati. Jahonda optik tolali axborot uzatish tizimlari zamonaviy telekommunikatsiya infratuzilmasida ma'lumotlarni uzoq masofalarga yuqori tezlikda uzatishni ta'minlashda alohida o'rinni egallamoqda. Raqamli texnologiyalarning rivojlanishi, dunyo miqyosida internetdan foydalanuvchilar sonining o'rtacha yillik 7,23 foizga¹ o'sishi aloqa xizmatlari, uzatilayotgan axborot hajmining doimiy ravishda o'sib borishi, aloqa kanallariga yuklama va ma'lumotlarni uzatish tezligini oshishi rad etishlar ehtimolining ortishiga olib keladi hamda optik tolali axborot uzatish tizimlariga qo'yiladigan talablar orasida ularning yuqori ishonchlilagini ta'minlash va oshirishni taqozo etadi. Shu jihatdan, optik tolali axborot uzatish tizimlari va ular tarkibiga kiruvchi elementlarning ishonchlilagini oshirishda rad etishlarni aniqlashga qaratilgan diagnostika qurilmalari va chora-tadbirlarini ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda ehtimollar nazariyasi, mantiqiy-ehtimoliy usullar va dasturiy-apparat yechimlaridan foydalanib, optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini oshirishga yo'naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, rad etishlar taqsimot qonuniyatlari asosida ishonchlilikning matematik modellarini, elementlarni zaxiralash usullarini ishlab chiqish, ishonchlilik parametrlarini baholash uchun hisoblash algoritmlarini yaratish, optik tolali axborot uzatish tizimlaridagi degradatsiya jarayonlarini erta aniqlash, rad etishlarning yuzaga kelishidan oldin bashorat qilishni ta'minlaydigan rad etushlarni bashorat qilish usulini takomillashtirish va optik tolali aloqa liniyalari elementlarini diagnostika qilish qurilmasini ishlab chiqishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda telekommunikatsiya tizimlari ishonchlilagini baholash modellarini, optik tolali axborot uzatish tizimlari ishonchlilagini oshirish usullari, algoritmlari va qurilmalarini ishlab chiqish bo'yicha keng qamrovli ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasi va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlarida "...axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalari sohasining ustuvor yo'nalishlari bo'yicha fundamental va amaliy tadqiqotlar olib borish..." kabi vazifalar² belgilangan. Raqamli infratuzilmani rivojlantirish yo'nalishida qo'yilgan vazifalarni hal qilishda optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini oshirishga imkon beradigan usullar va algoritmlarni ishlab chiqish muhim vazifa hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022 - 2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-sonli farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 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 Prezidentining 2018-yil 19-fevraldagi "Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalari sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-5349-sonli farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil

¹ <https://www.statista.com/statistics/273018/number-of-internet-users-worldwide/>

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktyabrdagi PF-6079-son "Raqamli O'zbekiston – 2030" strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Farmoni

14-oktabrdagi “Sun’iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PQ-357-sonli qarori, O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2021-yil 19-noyabrdagi “O‘zbekiston Respublikasi telekommunikatsiya infratuzilmasini yanada rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi 699-sonli qarori, O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2018-yil 7-martdagi “Aloqa, axborotlashtirish va telekommunikatsiya xizmatlari sifatini yanada yaxshilashga doir chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi 185-sonli qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti 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‘nalishlari doirasida bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi. Optik tolali axborot uzatish tizimlarning ishonchlilagini oshirish usullari va algoritmlarini ishlab chiqish, optik elementlarning xossalari va xususiyatlarini o‘rganish qaratilgan ilmiy tadqiqotlar dunyoning yetakchi ilmiy-tadqiqot markazlari va oliv o‘quv yurtlarida, shu jumladan Cornell University, University of Wisconsin, University of Southern California, Nokia Bell Labs, Iona College, Ford Motor Company Limited, University of Rochester (AQSh), University of Toronto (Kanada), Sorbonne Université (Fransiya), Technical University of Denmark (Daniya), Huazhong University of Science and Technology, Changchun Institute of Optics Fine Mechanics, Huawei kompaniyasi, Northeastern University, Chinese Academy of Sciences (Xitoy), Tokyo Institute of Technology (Yaponiya), prof. M.A.Bonch-Bruyevich nomidagi Sankt-Peterburg davlat telekommunikatsiyalar universiteti, Moskva fizika-texnika instituti, Sibir davlat telekommunikatsiya va informatika universiteti, Aviatsiya tizimlari davlat ilmiy-tadqiqot instituti, Sankt-Peterburg davlat universiteti (Rossiya Federatsiyasi), Indian Institute of Technology, Motilal Nehru National Institute of Technology (Hindiston), National University of Singapore (Singapur) da olib borilmoqda.

Optik tolali axborot uzatish tizimlarida rad etishlarni va yo‘qotishlarni bashorat qilishda mashinali o‘qitish usullarini qo‘llash bo‘yicha jahon miqyosida, shu jumladan University College London (Buyuk Britaniya), Prince Sultan University (Saudiya Arabiston), Beijing University of Posts and Telecommunications (Xitoy), University of Pittsburgh (AQSh), Sankt-Peterburg davlat temir yo‘l muhandisligi universiteti, Novosibirsk davlat universiteti (Rossiya Federatsiyasi), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Germaniya)da ilmiy tadqiqotlar o‘tkazilmoqda.

Telekommunikatsiya tizimlarining ishonchlilagini oshirish, bashoratlash masalalarida sun’iy intellektni qo‘llashga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqotlar Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Raqamli texnologiyalar va sun’iy intellektni rivojlantirish ilmiy-tadqiqot institutida va boboshqa respublikamizning ilmiy-tadqiqot institutlari, ilmiy markazlari va universitetlarida olib borilmoqda.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. OTAUT ning ishonchlilagini oshirish usullarini ishlab chiqish, elementlar bazasini tahlil qilish, shuningdek optik komponentlarning xususiyatlarini tadqiq qilish sohasida Agrawal G.P., Willner A.E.,

A.S. Kurkov, A.M.Polovko, S.V.Gurov, B. V.Gnedenko, V.G.Atapin, YE.S.Ventsel, G.N.Cherkesov, Winzer P.J., G. Keiser, P.Chakrabarti, Winzer P. J., Zhang Ch., va boshqa olimlar ular rahbarligidagi ilmiy maktablar tomonidan davom ettirilmoqda. Optik tolali tizimlardagi rad etishlar va nosozliklarni monitoring va bashorat qilish, nochiziqli effektlarni kamaytirish uchun turli xil mashinani o‘rganish usullarini qo‘llash Waddah S.Saif, Khouloud Abdelli, Xinyu Zhou, Danshi Wang, J. Zhong, Chunyu Zhang, Wenbin Chen va boshqa olimlarning ilmiy ishlarida tadqiq qilingan.

O‘zbekistonda telekommunikatsiya tizimlarining ishonchliligi va samaradorligini oshirish masalalari N.X.Gulturayev, A.M.Nazarov, R.I.Isayev, S.S.Parsiyev, N.B.Usmanova, U.B.Amirsaidov, B.N.Raximov, Z.T.Xakimov va boshqa olimlarning ilmiy ishlarida ko‘rib chiqilgan. OTAUTda qo‘llaniladigan nodir yer elementlari bilan optik tolalarni modifikatsiyalashning nazariy va amaliy muammolarini ishlab chiqish va takomillashtirishga qaratilgan tadqiqotlar T.D.Radjabov, U.V.Valiev, A.A.Simonov, Sh.U.Pulatov, A.M.Inogamov va boshqa respublikamiz olimlari tomonidan olib borilgan.

Olib borilgan tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, elementlarning muhimligini hisobga olgan holda OTAUTning ishonchlilagini oshirish masalalari yetarli darajada o‘rganilmagan, apparat va dasturiy ta’minotni hisobga olgan holda ishonchlilikni baholashning analitik modellarini, rad etishlarni bashorat qilish usullari va algoritmlarini, axborotni adaptiv qayta ishlashga ega elementlarni diagnostika qilish qurilmalarini ishlab chiqishga yetarlicha e’tibor qaratilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliv ta’lim yoki ilmiy tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini bilan bog‘liqligi.

Dissertatsiya tadqiqoti №1/1-Ф “Axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalangan holda ishlab chiqarish obyektlarining ekologik holatini monitoring qilishning kompleks tizimini ishlab chiqish” (2018-2020), Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti ilmiy tadqiqot ishlari rejasining №1506/21Ф “Yuqori tezlikdagi ma’lumotlarni uzatish tarmoqlarining ishonchlilagini oshirish modellarini va usullari” (2021-2022), FL-7923051857 “Sun’iy yo‘ldosh aloqa kanallarining xususiyatlarini modellashtirish usullari, texnikasi va dasturiy ta’minoti (2024-2026)” mavzusidagi loyihalar doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini oshirish uchun elementlarni zaxiralash va rad etishlarni bashorat qilish usullari va algoritmlarini, elementlarni diagnostika qilish qurilmasining ishlash modeli va algoritmini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

optik tolali axborot uzatish tizimlari ishonchlilagini ta’minlashning nazariy asoslarini tadqiq etish va ishonchlilikka ta’sir etuvchi tizimli omillarni tahlil qilish;

optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini baholashning analitik modellarini rad etishgacha ishlash vaqtini taqsimot qonunlari asosida ishlab chiqish;

har bir elementning muhimlik darajasini hisobga olgan holda tizim elementlarini zaxiralash usulini ishlab chiqish va algoritmini yaratish;

telekommunikatsiya tizimlarining ishonchlilik ko‘rsatkichlarini aniqlashning hisoblash algoritmini yaratish;

telekommunikatsiya tarmoqlarida o‘zini tahlil qilish asosida rad etishlarni bashoratlash usuli va algoritmini ishlab chiqish;

optik tolali aloqa liniyalari elementlarini diagnostika qilish qurilmasining modeli va ishslash algoritmini ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti sifatida optik tolali axborot uzatish tizimi, uning elementlari, jumladan, optik tolalar, transiverlar, kuchaytirgichlar va dasturiy ta’minot olingan.

Tadqiqotning predmetini rad etishlarni bashorat qilish va zaxiralash usullari, analitik modellar, shuningdek, ishonchlilik ko‘rsatkichlarini hisoblash, elementlarni zaxiralash turini tanlash, buzilishlarni bashoratlash algoritmlari tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida matematik va sonli modellashtirish, ehtimollar nazariyasi, ishonchlilik nazariyasi, hisoblash tajribalarini o‘tkazish usullari, statistik ma’lumotlarni qayta ishslash, mashinali o‘qitish, mantiqiy-tuzilmaviy tahlil va tuzilmaviy modellashtirish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

apparat va dasturiy ta’minotni hisobga olgan holda optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchliligini baholash imkonini beruvchi analitik modellar ishlab chiqilgan;

tizimning umumiy ishonchliligini eng muhim qismlarning rad etishini minimallashtirish hisobiga oshirishga imkon beradigan elementlarning muhimlik darajasiga asoslangan zaxiralash turini tanlash usuli va algoritmi ishlab chiqilgan;

rad etishlar intensivligi va tizimning o‘rtacha tiklanish vaqtini taqqoslash hamda zaxiralash usulini tanlash asosida telekommunikatsiya tizimlarining ishonchlilik ko‘rsatkichlarini aniqlash imkonini beradigan hisoblash algoritmi yaratilgan;

mashinali o‘qitish algoritmlari va o‘zini tahlil qilish va asosida bashorat qilish aniqligini oshirishni hamda tizimning o‘zgaruvchan sharoitlarga chidamliliginin ta’minlaydigan parametrlar va modellarni avtomatik ravishda tanlash imkonini beruvchi rad etishlarni bashorat qilish usuli taklif etilgan;

o‘zini tahlil qilish mexanizmiga ega bo‘lgan, rad etishlarni oldindan aniqlash va tizimning ishonchliligini oshirish imkonini beradigan, statistik ma’lumotlar va bashorat qilinayotgan qiymatlar o‘rtasidagi og‘ishlar asosida optik tolali axborot uzatish tizimi elementlarining rad etishlarini bashorat qilish algoritmi yaratilgan;

o‘lchangan parametrlarni tahlil qilish va mashinali o‘qitish asosida axborotlarni adaptiv qayta ishslash blokiga ega bo‘lgan, elementlarning rad etish ehtimolini bashorat qilish imkonini beruvchi optik tolali aloqa liniyasi elementlarining rad etishini diagnostika qilish qurilmasining takomillashtirilgan modeli va algoritmi ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

rad etmasdan ishslash ehtimolligi, rad etishgacha o‘rtacha ishslash vaqtini va tayyorlik koeffitsienti qiymatlarini aniqlash asosida rad etishlarga chidamli telekommunikatsiya tizimlarini loyihalashda zaxiralash turlarining samaradorligini baholash va tanlash imkonini beradigan doimiy faol zaxira bilan elementma-element zaxiralashda tiklanadigan tizimlarning ishonchlilik ko‘rsatkichlarini va almashtirish bilan elementma-element zaxiralashda tiklanadigan tizimlarning ishonchlilik ko‘rsatkichlarini hisoblash dasturlari ishlab chiqilgan;

tizimning eng muhim tarkibiy qismlarini aniqlash imkonini beradigan va resurslarga minimal xarajatlar bilan tizimning umumiyligi oshirish, resurslarni oqilona taqsimlash imkonini beradigan telekommunikatsiya tizimlarida har bir elementning muhimlik darajasi bo'yicha zaxiralashning samarali usulini tanlash uchun dasturiy vosita yaratilgan;

optik tolali liniyalarni loyihalash bosqichida va tarmoqlarning qismlarini texnik diagnostika qilishda qo'llanilishi mumkin bo'lgan liniya bo'ylab so'nish, ulanish, bukilishdagi yo'qotishlarni hisoblashni ta'minlaydigan optik tolada yo'qotishlarni tahlil qilish uchun hisoblash moduli yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi OTAUT elementlari va tarkibiy qismlarini hisoblash va ishonchlilagini oshirish usullarini tahlil qilish va ishlab chiqishda masalalarning to'g'ri qo'yilganligi, olingan natijalarini haqiqiy ma'lumotlar bilan tekshirish, shuningdek, ularni sifat va miqdoriy baholash bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati OTAUTda o'z-o'zini tahlil qilish bilan rad etishlarni bashorat qilish usulini, elementlarning muhimlik darajasi asosida zaxiralash usulini ishlab chiqilganligi, optik tolali aloqa liniyasi elementlarining ishdan chiqishini diagnostika qilish uchun qurilmasining modeli, tizim elementlari va dasturiy ta'minotda rad etishlar yuzaga kelishi ehtimolini hisobga oluvchi taqsimot qonunlari asosidagi ishonchlilikning analitik modellari, zaxiralashning turli sxemalarini hisobga olgan holda telekommunikatsiya tizimlarining ishonchlilik ko'rsatkichlarini hisoblash algoritmini yaratilganligi, shuningdek, mashinali o'qitish algoritmlarini qo'llagan holda OTAUT rad etishini bashorat qilish algoritmi ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati zaxiralashning turli usullarida optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini hisoblash, elementlarning muhimligini hisobga olgan holda zaxiralash usulini tanlash, optik tolada yo'qotishlarni tahlil qilish, shuningdek, mashinani o'qitish usullaridan foydalangan holda rad etishlarni bashorat qilish uchun mo'ljallangan dasturiy vositalar va intellektual modullarni ishlab chiqish va joriy etish, ishonchlilik ko'rsatkichlarini hisoblash jarayonlarini avtomatlashtirish, rad etishlarni diagnostika va bashorat qilishning aniqligi va tezkorligini oshirish imkonini bergenligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini oshirish usullari va algoritmlarini amalga oshirish bo'yicha olingan natijalar asosida:

optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini elementlarning rad etishlarini taqsimlash qonunlari asosida baholash imkonini beruvchi apparat va dasturiy ta'minotni hisobga olgan holda ishlab chiqilgan analitik modellar "O'zbektelekom" AK, "UNICON.UZ" MChJda joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalari vazirligining 2025-yil 10-iyuldagagi №34-8/4812-son ma'lumotnomasi). Natijada, telekommunikatsiya tarmoqlarini loyihalash va modellashtirishda optik tolali axborot uzatish tizimlari zaxiralash sxemalarini loyihalash jarayonlariga qo'llash imkonini bergen;

rad etishlar intensivligi va tizimning o'rtacha tiklanish vaqtini taqqoslash hamda zaxiralash usulini tanlash asosida telekommunikatsiya tizimlarining ishonchlilik ko'rsatkichlarini aniqlash imkonini beradigan hisoblash algoritmi; tizimning umumiyligi

ishonchlilagini eng muhim qismlarning rad etishini minimallashtirish hisobiga oshirishga imkon beradigan elementlarning muhimlik darajasiga asoslangan zaxiralash turini tanlash usuli va algoritmi “UNICON.UZ” MChJ va “FALCON TELECOM EXPERT” MChJda joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalari vazirligining 2025-yil 10-iyuldaggi №34-8/4812-son ma’lumotnomasi). Natijada, zaxiralash turlarini tezkor baholashni ta’minlash va loyihaviy yechimlar samaradorligini 1,6-2% ga oshirish, zaxiralashga tanlash xususiyati bilan yondashish, zaxiralash resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish OTAUTning yuqori barqarorligini ta’minlash imkonini bergen;

mashinali o‘qitish algoritmlari va o‘zini tahlil qilish asosida taklif etilgan bashorat qilish aniqligini oshirishni hamda tizimning o‘zgaruvchan sharoitlarga chidamliligini ta’minlaydigan parametrlar va modellarni avtomatik ravishda tanlash imkonini beruvchi rad etishlarni bashorat qilish usuli, o‘zini tahlil qilish mexanizmiga ega bo‘lgan, rad etishlarni oldindan aniqlash va tizimning ishonchlilagini oshirish imkonini beradigan, statistik ma’lumotlar va bashorat qilinayotgan qiymatlar o‘rtasidagi og‘ishlar asosida yaratilgan optik tolali axborot uzatish tizimi elementlarining rad etishlarini bashorat qilish algoritmi “O‘zbektelekom” AK, “UNICON.UZ” MChJ, “NETKA TELECOM” MChJda joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalari vazirligining 2025-yil 10-iyuldaggi №34-8/4812-son ma’lumotnomasi). Natijada rad etishlar to‘g‘risidagi haqiqiy ma’lumotlar va bashorat qilingan natijalar o‘rtasidagi tafovutlarni davriy tahlil qilish, model parametrlarini tuzatish tufayli o‘rtacha kvadratik xatolik dastlabki holatga nisbatan kamaygan va bashorat qilish aniqligi 10% ga oshgan;

o‘lchangan parametrlarni tahlil qilish va mashinali o‘qitish asosida ishlab chiqilgan axborotlarni adaptiv qayta ishlash blokiga ega bo‘lgan, elementlarning rad etish ehtimolini bashorat qilish imkonini beruvchi optik tolali aloqa liniyasi elementlarining rad etishini diagnostika qilish qurilmasining takomillashtirilgan modeli va algoritmi “O‘zbektelekom” AK, “UNICON.UZ” MChJ va “FALCON TELECOM EXPERT” MChJda joriy etilgan (O‘zbekiston Respublikasi Raqamli texnologiyalari vazirligining 2025-yil 10-iyuldaggi №34-8/4812-son ma’lumotnomasi). Natijada OTAUT elementlarining holat parametrlarini avtomatlashshtirilgan monitoring qilish, uzlusiz yig‘ish va uzatish imkoniyati ta’minlangan, bu nosozliklarni aniqlash tezkorligini 10-12% ga oshirgan va ehtimoliy nosozliklar to‘g‘risidagi ma’lumotlarni markazlashtirilgan tahlil qilish va saqlash imkoniyatlarini kengaytirgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqotlar natijalari 9 ta xalqaro va 7 ta respublika ilmiy-amaliy konferensiyalar hamda ilmiy seminarlarda muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi. Tadqiqot mavzusi bo‘yicha jami 37 ta ilmiy ishlar, ulardan 14 ta maqolalar O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan журналах, shu jumladan 6 ta xorijiy журналах chop etilgan, 1 ta monografiya. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining 1 ta ixtiroga va 1 ta foydali modelga patentlari, 4 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarga guvohnomalar olingan.

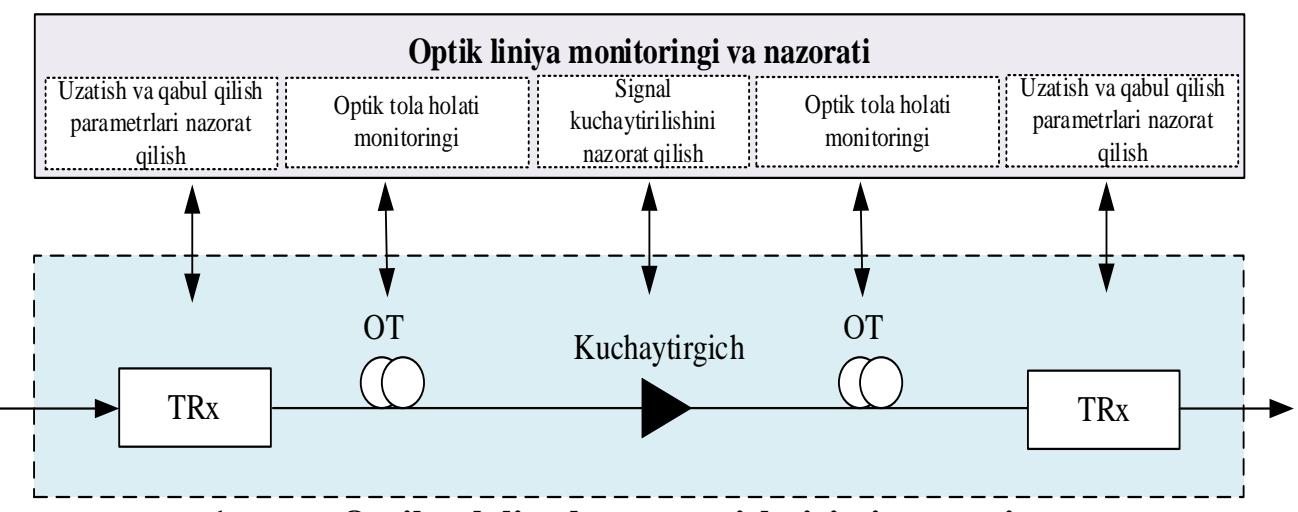
Dissertatsyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi hajmi 197 bet, jumladan, kirish, beshta bob, xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat.

DISSERTATSIYA ISHINING ASOSIY MAZMUNI

Kirishda dissertatsiya mavzusining dolzarbliji 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 natjalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, amaliyotga joriy etilgan tadqiqot natijalari, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya ishining tuzilmasi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchliligini oshirish usullarining analitik sharhi”** deb nomlangan birinchi bobida OTAUTning tuzilishi, asosiy elementlari va komponentlari tavsiflangan, telekommunikatsiya tizimlarining ishonchlilik ko‘rsatkichlari ko‘rib chiqilgan, OTAUT ishonchliligini belgilovchi omillar tahlil qilingan, OTAUT ishonchliligini oshirish va bashorat qilish usullarining qiyosiy tahlili keltirilgan. Tahlillar natijasida, OTAUTda nosozliklarni bashorat qilishning samarali usullarini joriy etish zaruriyati, nosozliklarni bashorat qilish usuli va algoritmini ishlab chiqish, tizimdagи elementlarni ahamiyatligiga ko‘ra zaxiralash usulini takomillashtirish, ishonchlilik ko‘rsatkichlarini hisoblash algoritmi, ishonchliligini baholash modellari va optik tolali aloqa liniyasi elementlarini rad etishlarini diagnostika qilish qurilmasini ishlab chiqish dolzarbliji ko‘rsatilgan.

OTAUT optik signallarni uzatish, qabul qilish, qayta ishlash uchun mo‘ljallangan elementlar va qurilmalar to‘plami bo‘lib, vazifasi uzoq masofalarga ishonchli va yuqori tezlikda ma’lumotlarni uzatishni ta’minlashdan iborat. Optik tolali aloqa liniyasi (OTAL) elementlari bilan dasturiy ta’minotning (DT) o‘zaro ta’sir sxemasi monitoring tizimining funksional modullarini apparat qismi elementlari – tranzistorlar, kuchaytirgichlar va optik signallarni uzatish va qabul qilishni ta’minlaydigan optik tolalar bilan mantiqiy bog‘lanishini aks ettiradi (1-rasm).



Tizimning har bir elementi o‘zining funksional vazifalarini bajaradi: OT – optik tola, tizim tugunlari o‘rtasida optik signalni tarqatish muhiti vazifasini bajaradi; TRx - optik transsiver, signalni uzatish va qabul qilish, elektr signallarni optik signallarga

va aksincha o'zgartirish uchun mo'ljallangan; kuchaytirgich – aloqa liniyasining uzun uchastkalarida optik signal quvvatining yo'qolishini kompensatsiyalash qurilmasi, qabul qilish uskunasining kirishida optik quvvatning zarur darajasini ta'minlaydi.

Tizim tarkibiga, shuningdek, ma'lumotlarni uzatishning texnik holati va parametrlarini nazorat qilish uchun mo'ljallangan "Optik liniya monitoringi va nazorati" apparat-dasturiy majmuasi kiradi. Monitoring bloki quyidagi vazifalarni bajaradi: transiverlarda signalni uzatish va qabul qilish parametrlarini nazorat qilish; optik tolanning so'nishi, aks etishi va liniyaning butunligi bo'yicha holatini nazorat qilish; optik kuchaytirgichlarda signalni kuchaytirishni nazorat qilish va boshqalar.

OTAUT ishonchliliga ta'sir etuvchi omillar kelib chiqish tabiatini har xil va tizim ishonchliliga turlicha ta'sir qilishi aniqlangan. Shuning uchun ishonchlilikni oshirish uchun barcha omillarni, ularning o'zaro bog'liqligini va tizim ishonchliligi ko'rsatkichlariga ta'sirini hisobga olish zarur. OTAUTning apparat va dasturiy ta'minoti ishonchliligi telekommunikatsiya tarmoqlarining barqaror va samarali ishlashini ta'minlashning muhim omillaridan hisoblanadi.

Dissertatsiyaning "**Optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchliliginini baholash usullari va modellari**" deb nomlangan ikkinchi bobida tizim ishlashi va rad etishga bardoshlilikni miqdoriy baholashni ta'minlaydigan OTAUT ishonchliligi hisoblash usullari va modellari keltirilgan, ehtimollar nazariyasi teoremlari va mantiqiy-ehtimoliy usullarni qo'llashga asoslangan usullarning OTAUTda foydalanilishi asoslangan, zaxiralash sxemasini tanlash elementlarning ishonchliligi xususiyatlariga, rad etish intensivligiga, o'rtacha tiklanish vaqtiga va tizimning ishlashida elementlarning ahamiyatiga bog'liqligi ko'rsatilgan, elementlarni zaxiralashning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda, zaxiralangan aloqa liniyalariga ega bo'lgan optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchliliginini baholash modellari keltirilgan.

Ehtimollar nazariyasi teoremlari va mantiqiy-ehtimoliy usullardan foydalanish OTAUT elementlarining o'ziga xos xususiyatlarini va ularning tizimli o'zaro bog'liqligini hisobga olish imkonini berishi aniqlangan. Ushbu usullarni birlashtiradigan umumlashgan yondashuv OTAUT hayotiy siklining barcha bosqichlarida foydalanish uchun tizimning rad etishlarga bardoshligini aniq va har tomonlama tushunish, tizim ishonchliliginini miqdoriy baholash va uni takomillashtirish bo'yicha asoslangan chora-tadbirlarni ishlab chiqish imkonini berishi ko'rsatilgan.

OTAUT apparat va dasturiy elementlarining ishonchliligin tadqiq qilish asosida rad etishlarning vaqt o'tishi bilan yuzaga kelish xususiyatlarini aks ettiruvchi ehtimollik modellari ularni tavsiflash uchun samarali ekanligi ko'rsatilgan. Xususan, transiver rad etishlari uchun elementlarining dastlabki "ishdan chiqishi" bosqichidan so'ng, rad etishlar doimiy intensivlik bilan tasodifiy sodir bo'lishini ifodalaydigan eksponensial taqsimot o'rinli:

$$P(t)_{tr} = e^{-\lambda_{tr} t}, \quad (1)$$

bu yerda λ_{tr} – transiverning rad etishlar intensivligi.

Optik tolali kabel va kuchaytirgichlar uchun vaqt o'tishi bilan elementlar eskirishi va degradatsiyaga uchrashi tufayli rad etishlar intensivligini ortishini inobatga oladigan Veybull taqsimoti o'rinni:

$$P(t)_k = e^{-\left(\frac{t}{\beta_k}\right)^{\alpha_k}}, \quad (2)$$

$$P(t)_{kuch} = e^{-\left(\frac{t}{\beta_{kuch}}\right)^{\alpha_{kuch}}}, \quad (3)$$

bu yerda α – forma parametri; β – masshtab parametri.

OTAUT tizimida dasturiy ta'minotning rad etishlarga bardoshligini tavsiflash uchun ba'zi xatolar yuqori ehtimollikda rad etishlar sifatida namoyon bo'lishini va har bir xato tuzatilganda rad etishlar intensivligini kamaytirib eksponensial taqsimotni beradigan Musa-Okumoto dasturiy ta'minotining ishonchlilik modeli mos ekanligi aniqlangan. Rad etishlarning t vaqtidagi o'rtacha soni quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$m(t) = \frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1), \quad (4)$$

bu yerda $m(t)$ – o'rtacha rad etishlar soni; λ_0 – boshlang'ich rad etishlar intensivligi; θ – rad etishlar intensivligining vaqt momentidagi kamayish tezligi.

Dasturiy ta'minotning ishinchlilik funksiyasi:

$$P_{DT}(t) = e^{-\frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1)}. \quad (5)$$

Zaxira aloqa liniyalariga ega OTAUT ning mantiqiy-ehtimoliy ishonchlilik modeli tahlil qilingan, elementlarning bo'lishi mumkin bo'lgan holatlari, hamda ularning tizimni ishlashiga ta'siri ko'rib chiqilgan. Har bir element uchun rad etmasdan ishlash ehtimoli aniqlangan va ular asosida barcha mumkin bo'lgan tizim holatlarining ehtimollik taqsimotlari olingan.

Dissertatsiyaning **“Zaxiralash turini tanlash usuli va OTAUT ishonchlilikini oshirish algoritmlarini ishlab chiqish”** deb nomlangan uchinchi bobida turli zaxiralash sxemalarni hisobga olgan holda telekommunikatsiya tizimlarining ishonchlilik ko'rsatkichlarini hisoblash algoritmi ishlab chiqilgan, tizimdagи har bir elementning ahamiyatini hisobga olgan holda tizim elementlarini zaxiralash usuli ishlab chiqilgan va algoritm yaratilgan, optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilikini baholashning analitik modellari ishlab chiqilgan.

OTAUT ishonchlilik modellarini qurish apparat va dasturiy ta'minot elementlarining rad etishlari o'ziga xosligini aks ettiruvchi turli xil taqsimot qonunlarini hisobga olishni talab qilishi aniqlandi. OTAUTda apparat va dasturiy ta'minot elementlarining rad etmasdan ishlash davomiyligi o'zaro bog'liq emasligi to'g'risida faraz qo'llaniladi. Ma'lum hodisalarini tizimning turli elementlarida bir vaqtida sodir bo'lish ehtimoli har bir alohida elementdagi ushbu hodisalar

ehtimolliklarining ko‘paytmasiga teng. Tizimning umumiyligi ishonchliligi qo‘yidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$P_{\text{tizim}}(t) = P_{\text{tr}}(t) \cdot P_{\text{k}}(t) \cdot P_{\text{kuch}}(t) \cdot P_{DT}(t). \quad (6)$$

bu yerda P_{tr} – transiverlar ishonchlilik funksiyasi; P_{k} – aloqa kabelnali ishonchlilik funksiyasi; P_{kuch} – kuchaytirgich ishonchlilik funksiyasi; P_{DT} – dasturiy ta’minot ishonchilik funksiyasi.

Elementlar ishonchlilik funksiyalari (1), (2), (3), (5) ni (6) ifodaga qo‘yib va soddalashtirilgandan so‘ng quyidagi analitik ifodani olish mumkin:

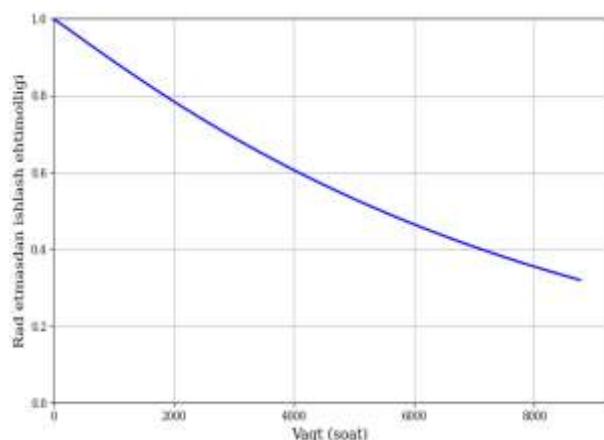
$$P_{\text{tizim}}(t) = e^{-\left[\lambda_{\text{tr}}t + \left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}} + \left(\frac{t}{\beta_{\text{kuch}}}\right)^{\alpha_{\text{kuch}}} + \frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1)\right]}. \quad (7)$$

(6) va (7) formulalar asosida rad etishlar taqsimoti zichligi funksiyasi ifodasi keltirib chiqarilgan:

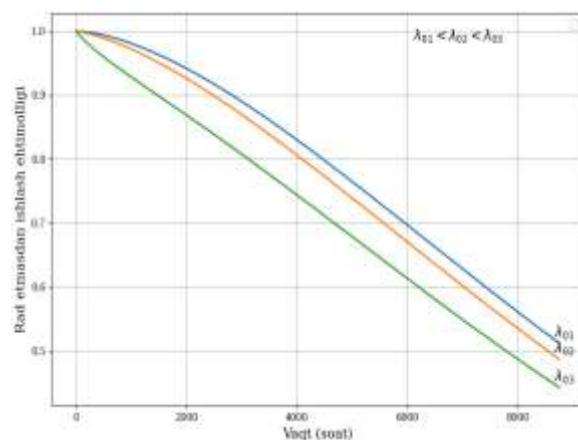
$$f(t) = -\frac{dP_{\text{tizim}}(t)}{dt} = -\frac{d}{dt} e^{-\left[\lambda_{\text{tr}}t + \left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}} + \left(\frac{t}{\beta_{\text{kuch}}}\right)^{\alpha_{\text{kuch}}} + \frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1)\right]} = \\ = \left[\lambda_{\text{tr}} + \frac{\alpha_{\text{k}}}{\beta_{\text{k}}} \left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}-1} + \frac{\alpha_{\text{kuch}}}{\beta_{\text{kuch}}} \left(\frac{t}{\beta_{\text{kuch}}}\right)^{\alpha_{\text{kuch}}-1} + \frac{\lambda_0}{\lambda_0 \theta t + 1} \right] \cdot e^{-\left[\lambda_{\text{tr}}t + \left(\frac{t}{\beta_{\text{k}}}\right)^{\alpha_{\text{k}}} + \left(\frac{t}{\beta_{\text{kuch}}}\right)^{\alpha_{\text{kuch}}} + \frac{1}{\theta} \ln(\lambda_0 \theta t + 1)\right]} \quad (8)$$

(7) formula asosida tuzilgan grafik, real ish sharoitlariga mos keladigan tizimning rad etmasdan ishlash ehtimolligining vaqtga bog‘liq holda kamayishini ko‘rsatadi (2-rasm).

Boshlang‘ich rad etishlar intensivligi (λ_0)ni tizimning rad etmasdan ishlash ehtimoliga ta’siri grafigi, λ_0 yuqori qiymatlarida rad etmasdan ishlash ehtimolligining pasayish tezligi ortishini ko‘rsatadi (3-rasm).



2-rasm. OTAUT rad etmasdan ishlash ehtimolligining vaqtga bog‘liqligi



3-rasm. Dasturiy ta’minot boshlang‘ich rad etishlari intensivligi λ_0 ni tizimning ishonchligiga ta’siri

Ishonchlilik va rad etishlar taqsimoti zichligi analitik modellarining korrektligini chegaraviy shartlar asosida tasdiqlangan:

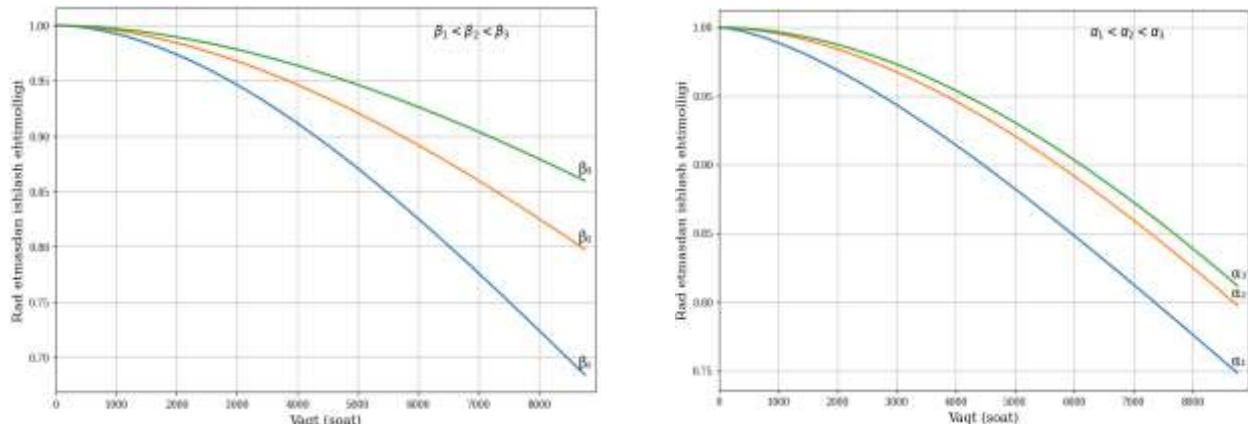
- $t = 0$ da, tizimning rad etmasdan ishlash ehtimolligi $P(t) = 1$, rad etishlar taqsimoti zichligi $f(t) > 0$, ya'ni:

$$P(t)|_{t=0} = 1, \quad f(t)|_{t=0} > 0, \quad (9)$$

- $t \rightarrow \infty$ da, tizimning rad etmasdan ishlash ehtimolligi $P(t) \rightarrow 0$, rad etishlar taqsimoti zichligi $f(t) \rightarrow 0$, ya'ni:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = 0. \quad (10)$$

Veybull taqsimotining shakl parametri α va masshtab parametri β ga bog'liq holda rad etmasdan ishlash ehtimolligining qiyosiy grafigi α va β qiymatlarining ortishi ishonchlilikni oshirishga olib kelishini ko'rsatdi, bu rad etmasdan ishlash ehtimolligining vaqt o'tishi bilan sekin pasayishini ifodalaydi (4-rasm).



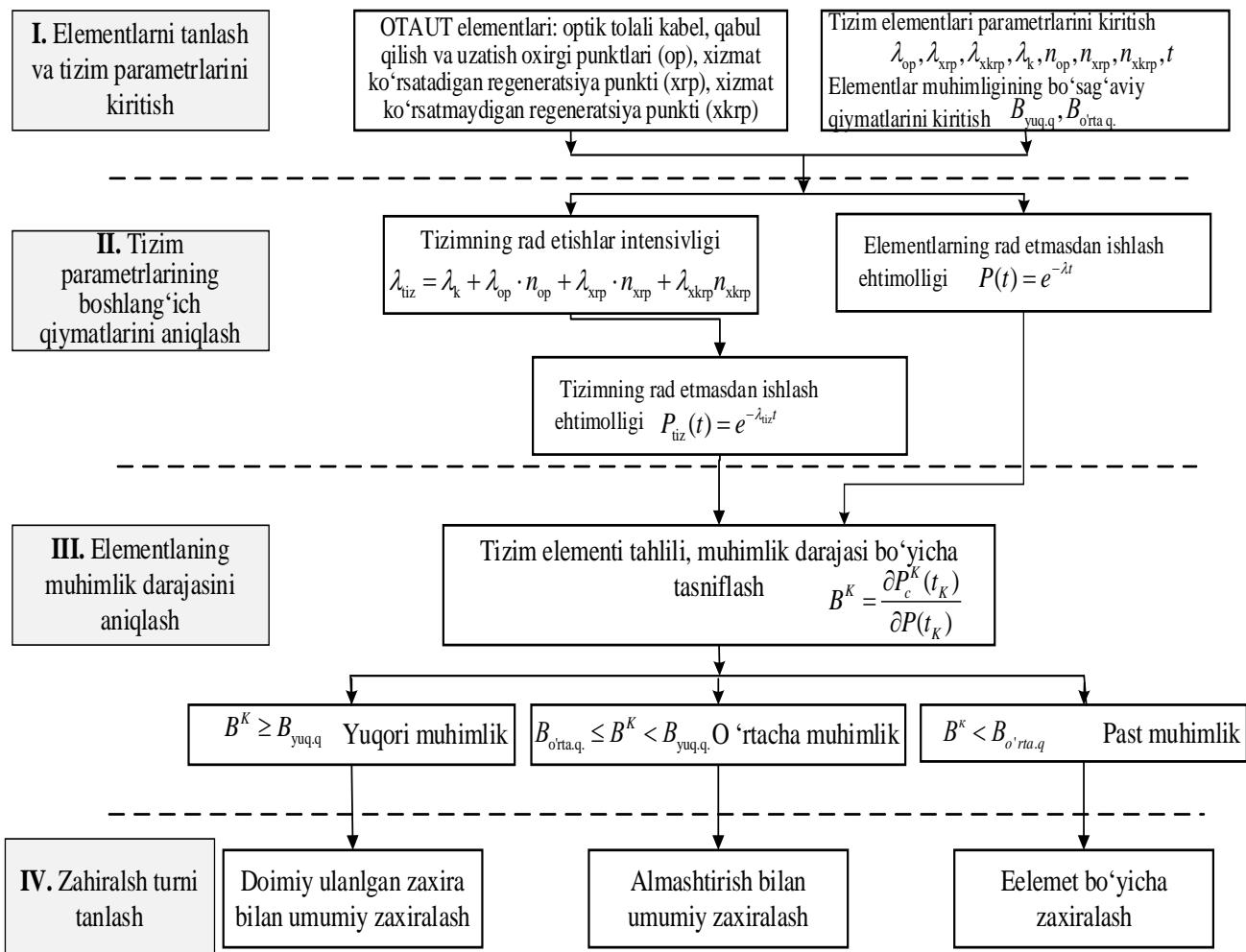
4-rasm. Veybull taqsimoti parametrlarining turli qiymatlarida rad etmasdan ishlash ehtimolligi; a) masshtab parametri ta'siri β , b) shakl parametri ta'siri α

Chegaraviy shartlar, grafiklarda keltirilgan natijalar analitik ifodalarning tizimning fizik xatti-harakatlari bilan mosligini va ularning ishonchliligi va buzilish ehtimolligi zichligining o'zgarishini tavsiflashning adekvatligini ko'rsatdi.

OTAUTlarda asosan to'liq zaxiralashdan foydalanadi, bu esa qo'shimcha xarajatlarga va tizim konfiguratsiyasini murakkabligiga olib kelishi aniqlangan. Taqsimlanadigan tizimlarda, shu jumladan OTAUTlarda elementlarning muhimligi turlicha, mavjud zaxiralash usullari elementlarning muhimligini baholash va zaxiralash usulni tanlash mexanizmlarini o'z ichiga olmaydi.

OTAUTdagi muhimlik tizimning umumiyligi ishlash qobiliyati va ishonchlilikiga ma'lum bir komponent yoki elementning ta'sir darajasi sifatida belgilanadi. Element, agar uning rad etishi butun OTAUT ish faoliyatiga ta'sir etsa, muhimligi yuqori deb hisoblanadi va bu elementlar zaxiralash va nazorat ustuvorligini talab qiladi. Elementlarni muhimlik darajalariga ko'ra tasniflash uchun Birnbaum indeksidan foydalanilgan.

OTAUT elementlarining muhimlik darajasiga asoslangan zaxiralash turini tanlash usuli ishlab chiqilgan (5-rasm).

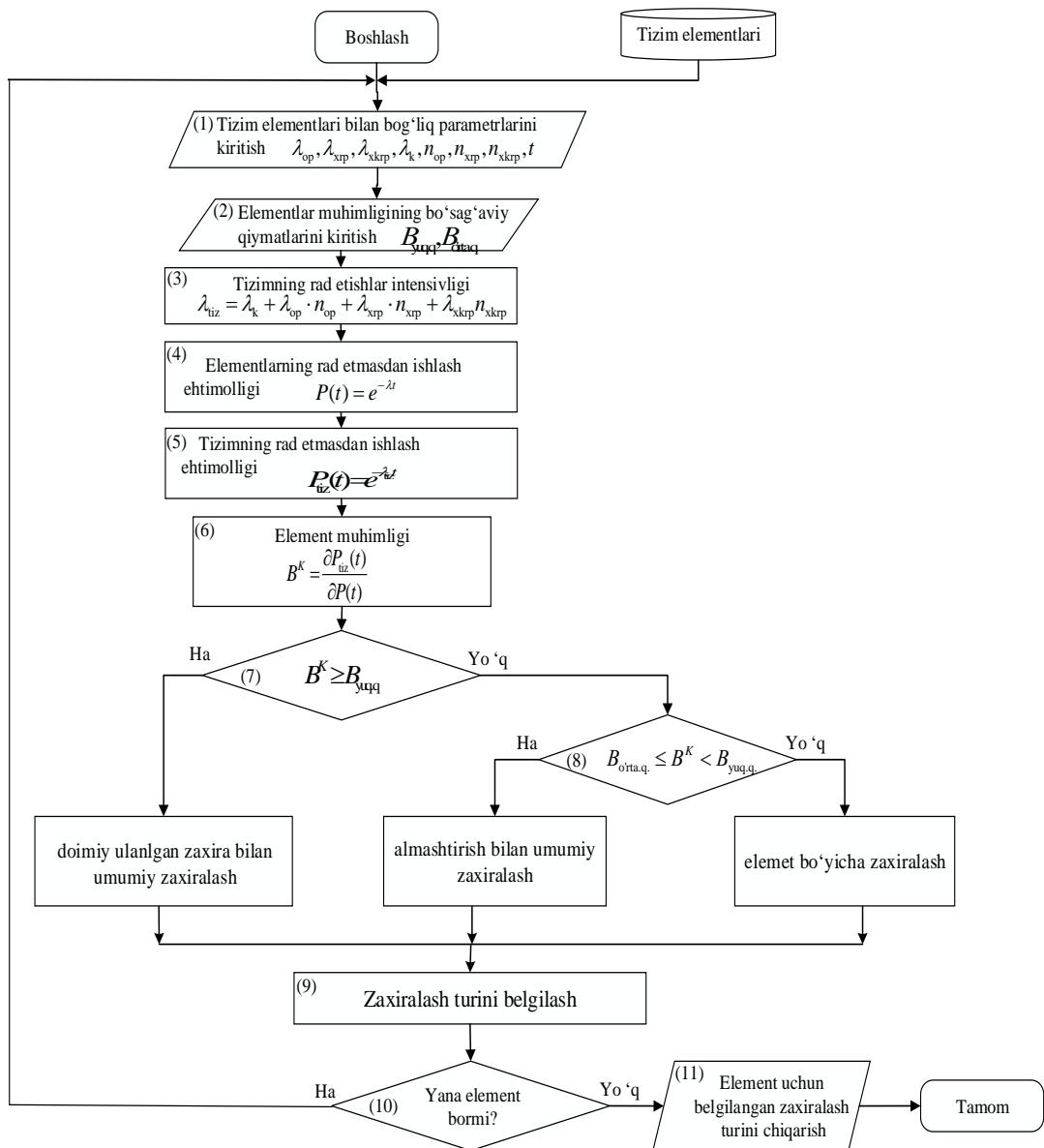


5-rasm. OTAUT elementlarining muhimlik darajasiga ko'ra zaxiralash turini aniqlash usulini amalga oshirish blok-sxemasi

Chegaraviy qiymatlar muhimlik indekslarining taqsimoti tahliliga va yuqori indeks qiymatiga ega elementlar tizimning ishonchlilikiga katta ta'sir ko'rsatadigan empirik ma'lumotlarga asosan tanlangan.

Zaxiralash usulini tanlash usulining ishlash algoritmi ishlab chiqilgan bo'lib, u har bir elementni tahlil qiladi va tizimdag'i ahamiyatidan kelib chiqqan holda zaxiralash usulini tanlaydi (6-rasm).

Ishlab chiqilgan elementlarning muhimlik darajasiga asoslangan zaxiralash usulining ishlash algoritmi samaradorligini baholash maqsadida, uning ishlashi OTAUTning model konfiguratsiyasida baholangan. Usul har bir elementning butun tizim ishonchlilikiga ta'sirini miqdoriy baholash asosida zaxira resurslarini oqilona taqsimlashni ta'minlaydi. Elementlar soni va zaxiralash karraliligi ortishi bilan ishonchlilik ko'rsatkichlarini hisoblash murakkablashishini inobatga olib, hisoblash vaqtini kamaytirish va natijalar aniqligini oshirish maqsadida hisoblash algoritmi ishlab chiqilgan. Algoritm ishonchlilik ko'rsatkichlarini hisoblash jarayonini avtomatlashirgan holda, trakt liniyasining rad etish intensivligi va o'rtacha tiklanish vaqtining parametrlarini taqqoslash asosida zaxiralash usulini tanlaydi (7-rasm).

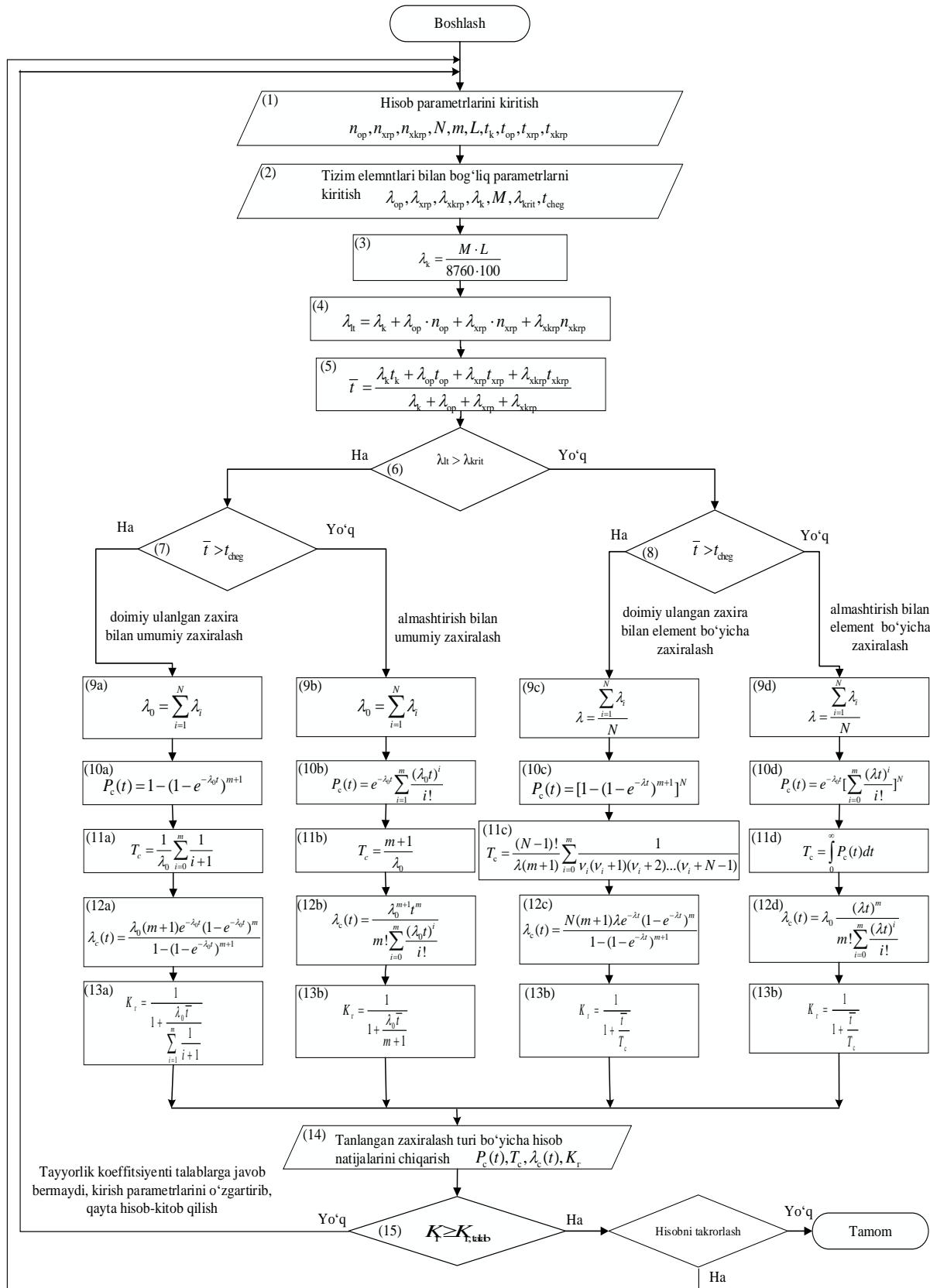


6-rasm. OTAUT elementlarining muhimlik darajasiga ko'ra zaxiralash turini tanlash usulining ishlash algoritmi

Ishlab chiqilgan hisoblash algoritmining to'g'riligini tekshirish uchun zahiralash karraligi $m=1$ va $m=2$ bo'lganda ishonchlilik ko'rsatkichlarini qo'lda hisoblash natijalari bilan qiyosiy baholash o'tkazilgan.

Qo'lda bajarilgan hisob-kitoblar va algoritm yordamida olingan qiymatlar o'rtasidagi taqqoslash minimal farqlanishni ko'rsatdi. Algoritm, shuningdek, katta hajmdagi kirish ma'lumotlari va yuqori zaxiralash qiymatlari bilan ishlashda hisoblash vaqtini qisqartirishni ta'minlaydi.

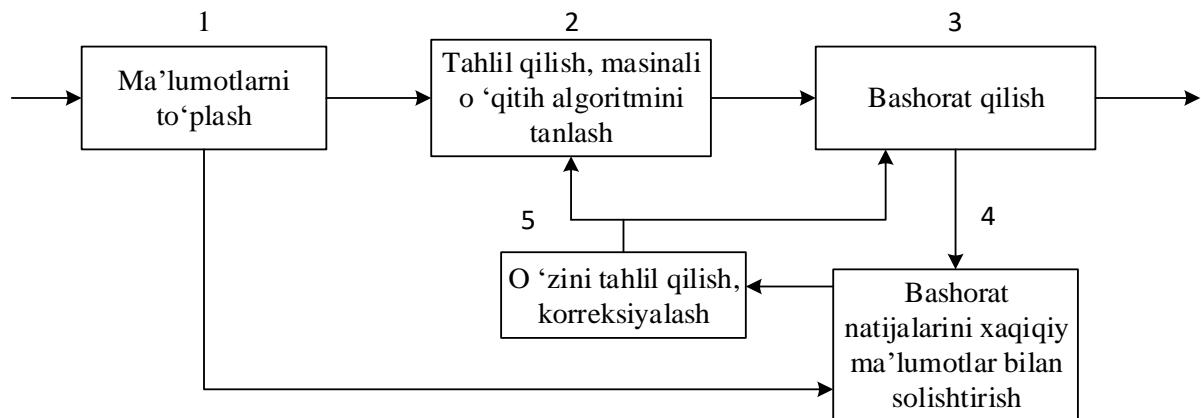
Dissertatsiyaning **"Telekommunikatsiya tarmoqlarida rad etishlarni bashoratlash usulini ishlab chiqish"** deb nomlangan to'rtinchi bobida OTAUTda tad etishlarni bashorat qilish usullari ko'rib chiqilgan, telekommunikatsiya tarmoqlarida mashinali o'qitish algoritmlari va o'zini tahlil qilish asosida nosozliklarni bashorat qilish usuli ishlab chiqilgan, rad etishlarni bashorat qilish usulining ishlash algoritmi yaratilgan, ishlab chiqilgan usulni testlash natijalari keltirilgan.



7-rasm. Har xil turdag'i zaxiralar uchun ishonchlilik ko'rsatkichlarini hisoblash algoritmi

Telekommunikatsiya tarmoqlarida ko'rib chiqilgan davrdagi rad etishlar haqidagi ma'lumotlarni statistik tahlil qilish asosida ularning chiziqli bog'liqligi aniqlangan.

Telekommunikatsiya tarmoqlarida o‘zini o‘zi tahlil qilish bilan nosozliklarni bashorat qilish usuli ishlab chiqilgan, bunda bashorat qilingan natijalar real ma’lumotlardan farq qilgan hollarda, bashoratlash natijalari tahlili asosida avval qo‘llanilgan mashinali o‘qitish modeli parametrlarini o‘zgartiradi yoki boshqa modelni tanlaydi (8-rasm).

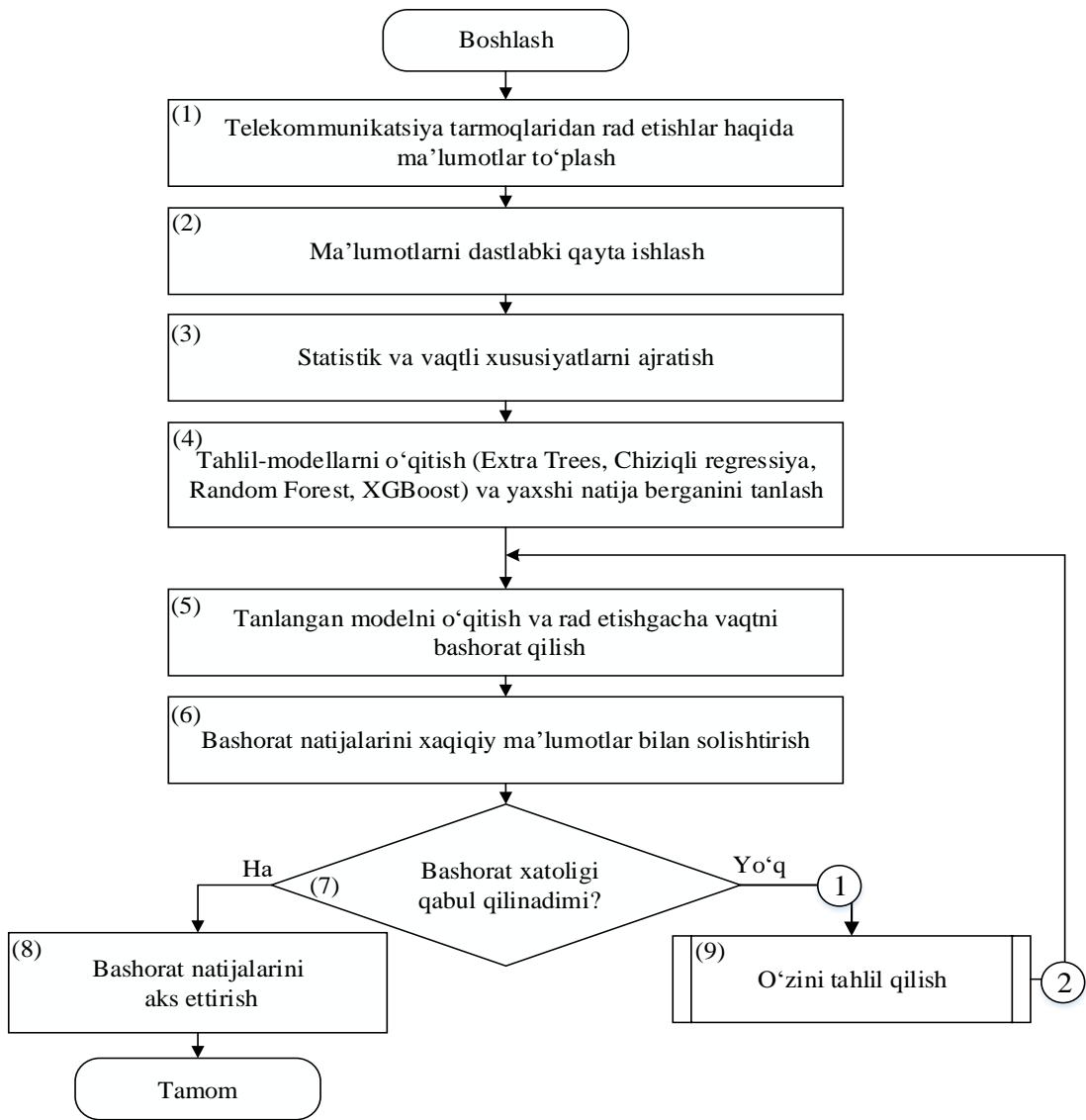


8-rasm. OTAUTda o‘zini tahlil qilish bilan nosozliklarni bashorat qilish usulining tuzilmaviy sxemasi

Rad etishlarni bashorat qilish usuli bir necha bosqichlardan iborat. Birinchi bosqichda diagnostika nazorati markazining telekommunikatsiya tarmoqlaridan kelayotgan rad etishlar to‘g‘risidagi ma’lumotlarni to‘plash va dastlabki ishlov berish amalga oshiriladi. So‘ng, ma’lumotlarni filtrlash va xatolar va takrorlanishlardan tozalash, shuningdek, statistik va vaqtinchalik belgilarni qurish hamda mashinali o‘qitish algoritmini tanlash amalga oshiriladi. Ikkinci bosqichda tizim bir nechta regressiya modellarini o‘rgatadi va rad etish vaqtini bashorat qilishda eng yaxshi aniqlik ko‘rsatkichlarini ko‘rsatadiganini tanlaydi. Uchinchi bosqichda tanlangan modelni o‘qitish va tarixiy ma’lumotlar asosida rad etishlarning ehtimolligi vaqtini aks ettiruvchi bashorat qiymatlarini olish amalga oshiriladi. To‘rtinchi bosqichda bashoratlarning aniqligi baholanadi. Beshinchi bosqichda, metrikalarning chegaraviy qiymatlaridan og‘ish mavjud bo‘lganda, o‘zini tahlil qilish va modelni tuzatish bosqichida tizim moslashuvchanlik va dolzarblikni ta’minlab, parametrlarni tuzatadi yoki boshqa algoritmni tanlaydi.

O‘zini tahlil qilish bilan nosozliklarni bashorat qilish usulining ishlash algoritmi yaratilgan (9-rasm).

O‘zini tahlil qilish bosqichida xatolikning xususiyati aniqlanadi: sistematik xatolik giperparametrlarni sozlash va zarurat tug‘ilganda algoritmnini o‘zgartirish orqali tuzatiladi; tasodifiy xato ma’lumotlarni yangilash va modelni qayta o‘qitish orqali bartaraf etiladi. Har bir bosqichda metrikalar baholanadi va talab qilingan qiymatlarga erishilganda, modelning ishchi holati saqlanadi. O‘z-o‘zini tahlil qilish va modelni korreksiyalash bosqichida metrikalarning chegaraviy qiymatlaridan og‘ish mavjud bo‘lsa, tizim parametrlarni tuzatadi yoki boshqa algoritmni tanlaydi, buzilishlar to‘g‘risidagi ma’lumotlarni yangilashda basoratlarning moslashuvchanligi va dolzarbligini ta’minlaydi.

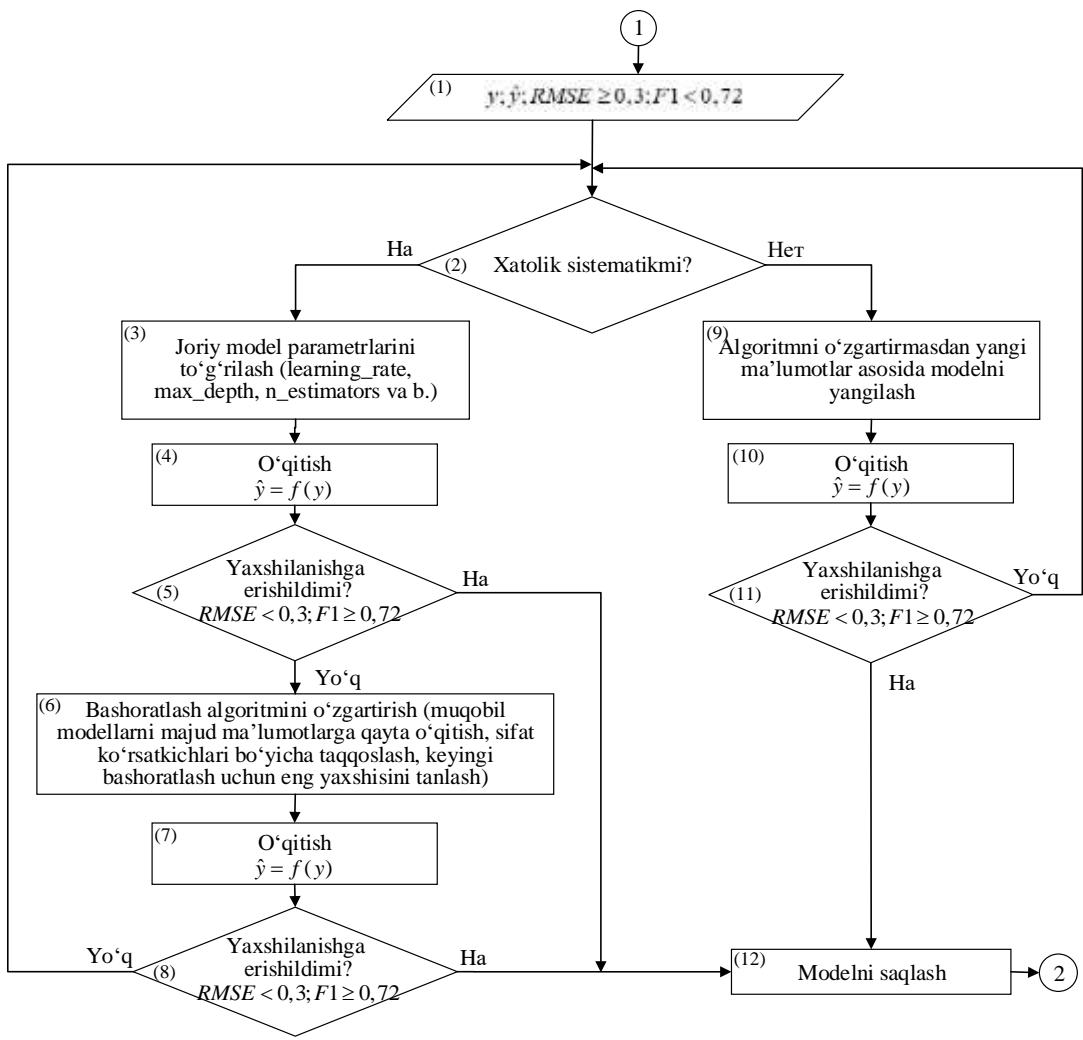


9-rasm. O‘zini o‘zi tahlil qilish bilan nosozliklarni bashorat qilish usulining ishlash algoritmi

Bashoratlash xatoligi chegaraviy qiymatlardan oshganda modelning sifati qoniqarsiz hisoblanishi va xatolik tabiatiga bog'liq xolda modelni yaxshilash bo'yicha qaror qabul qilish mexanizmini amalga oshiradigan o'zini tahlil qilish bosqichi (9-bosqich) algoritmi ishga tushirilishi ko'rsatilgan (10-rasm).

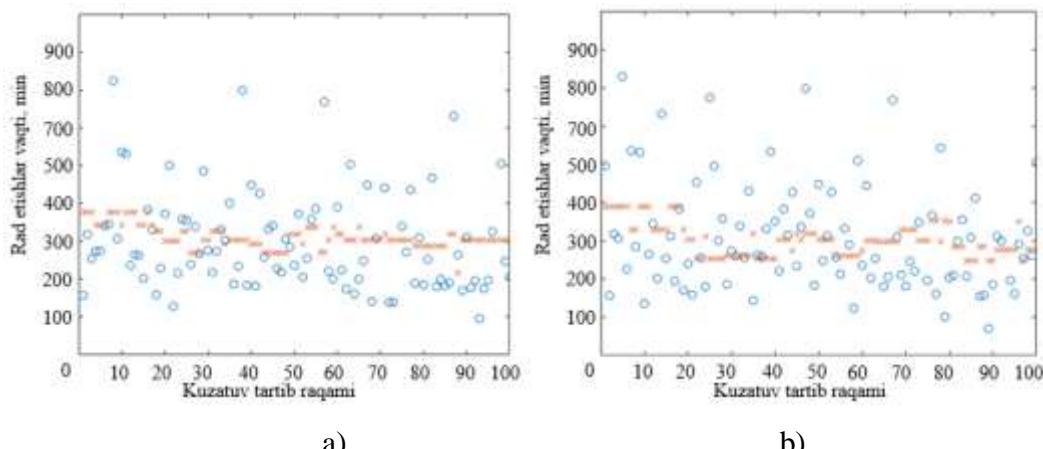
Bashorat qilingan qiymatlar haqiqiy ma'lumotlar bilan taqqoslash uchun sifat ko'rsatkichlaridan foydalanilgan. "rad etishgacha vaqt"ni bashoratlashda RMSE metrikasi (o'rtacha kvadratik xatolik) tanlangan va "yaqin x soat ichida rad etish sodir bo'ladi" binar tasnifi uchun F1-score metrikasi (aniqlik va yaxlitlikni hisobga oluvchi tasniflash sifatining integral ko'rsatkichi) tanlangan. Modellashtirishda quyidagilar aniqlangan:

- RMSE<0,3 bo‘lganda, haqiqiy va bashorat qilingan rad etish vaqtiga o‘rtasidagi farq ± 250 daqiqadan oshmaydi va bashoratlar aniqligini saqlab qoladi;
 - $F1 \geq 0.72$ bo‘lganda rad etishlarni tasniflashning yaxlitligi va aniqligi o‘rtasida maqbul muvozanatga erishiladi;
 - bu ko‘rsatkichlar qiymati o‘zgarganda tizim barqarorligini yo‘qotadi: xatolik ortib boradi va model ayrim rad etishlarni ortiqcha baholay boshlaydi.



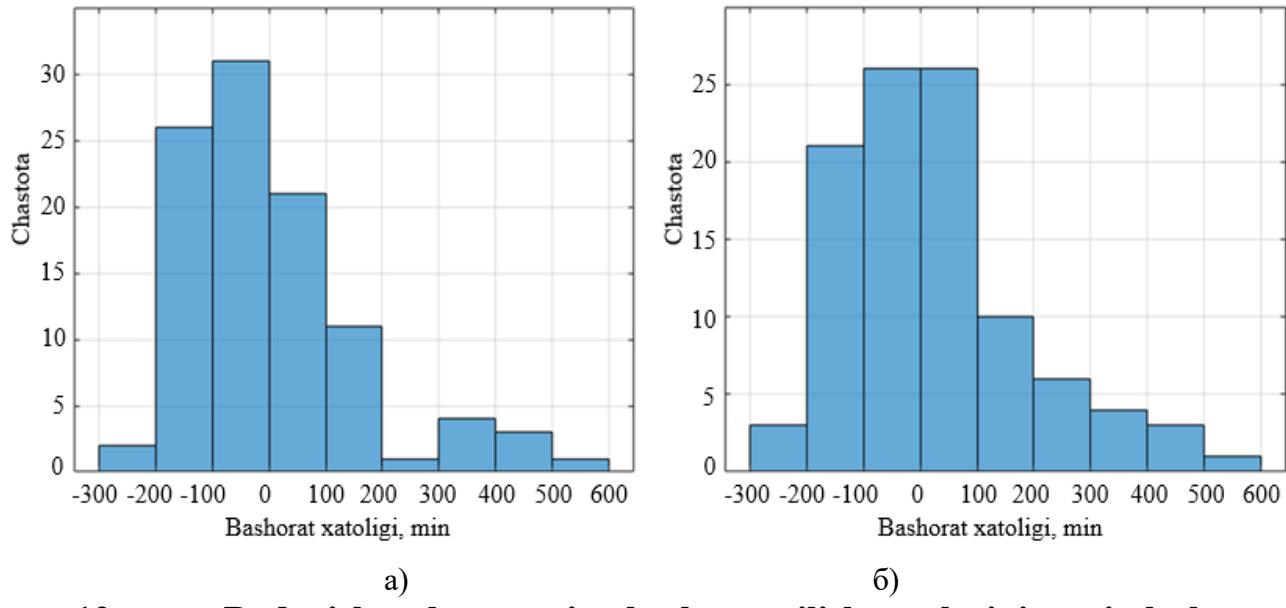
10-rasm. O'zini tahlil qilish bosqichining ishlash algoritmi

Usul Matlab dasturiy ta'minot muhitida statistik ma'lumotlar asosida sinovdan o'tkazilgan va rad etishlarni bashorat qilishda yuqori aniqlikni ko'rsatgan. O'zini tahlil qilish mexanizmini qo'llashdan oldin model yetarlicha xatoliklarga yo'l qo'ygan (11.a,rasm), qo'llagandan so'ng esa bashorat qilingan qiymatlar haqiqiy ma'lumotlarga yaqinlashgan (11.b,rasm).



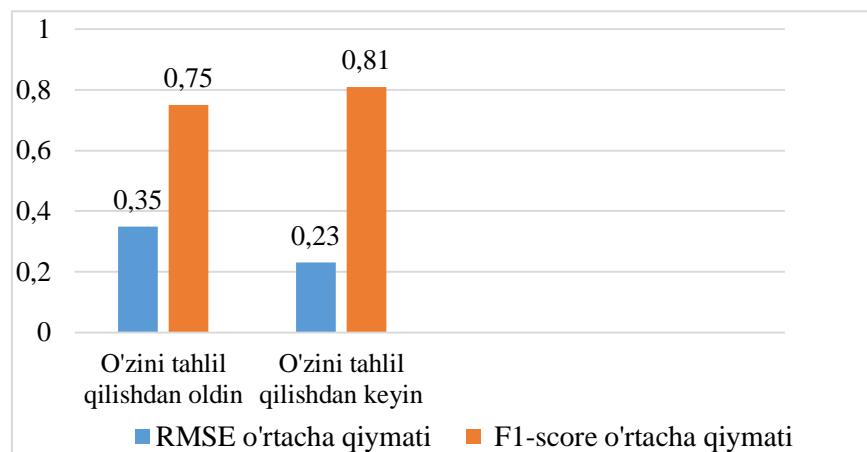
11-rasm. Rad etishlar vaqtining bashorat qilingan (qizil belgi) va haqiqiy qiymatlar (ko'k doira) orasidagi farqlar: a) o'z o'zini tahlil qilish mexanizmini qo'llashdan oldin, b) qo'llangandan so'ng

O‘zini tahlil qilish mexanizmini qo‘llashdan oldingi xatolar taqsimoti keng tarqalganligi va rad etishgacha bo‘lgan vaqtning ortiqcha baholanishi bilan tavsiflanadi. Uni amalga oshirgandan so‘ng, xatolar nolga yaqinlashgan va katta og‘ishlar kamaygan (12-rasm).



12-rasm. Rad etishgacha vaqtning bashorat qilish xatolarini taqsimlash gistogrammalari: a) o‘z-o‘zini tahlil qilish mexanizmi qo‘llanilishidan oldin, b) o‘z-o‘zini tahlil qilish mexanizmi qo‘llanilgandan keyin

Davriy ravishda farqlarni tahlil qilish va o‘zini tahlil qilish mexanizmi tufayli, o‘rtacha kvadratik xatolik RMSE dastlabki qiymatiga nisbatan kamaygan, aniqlik ko‘rsatkichi F1-score esa 0,75 dan 0,81 gacha o‘sdi, o‘z navbatida, tizim sodir bo‘lishi mumkin bo‘lgan rad etishlarni aniqlashda kamroq “kechikishi” kuzatilgan, sharoitlar o‘zgarganda model qayta o‘qitilgan va yuqori aniqlikni saqlab qolgan (13-rasm).

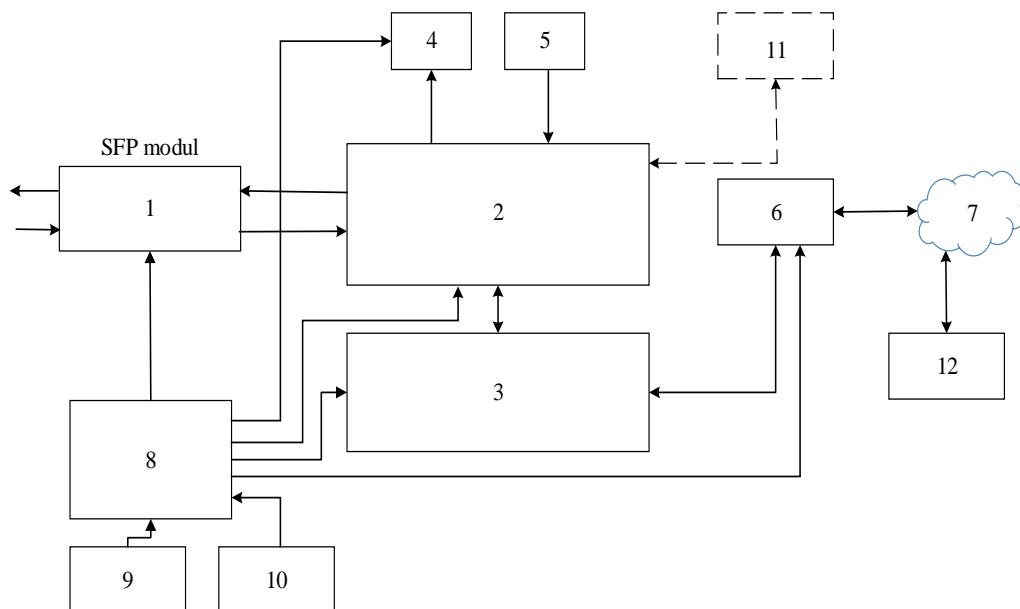


13-rasm. O‘zini tahlil qilishdan oldin va keyingi o‘lchovlar ko‘rsatkichlari

Ishlab chiqilgan usulni qo‘llash natijasida tizim rad etishlarni o‘z vaqtida aniqlash yaxshilangan hamda telekommunikatsiya tarmog‘ining o‘zgaruvchan sharoitlari va tuzilmalariga nisbatan barqarorlikni ta’minlagan, bu esa uni sohadagi haqiqiy ekspluatatsiya masalalari uchun qo‘llashga imkon beradi.

Dissertatsiyaning “Axborotni adaptiv qayta ishlash imkoniyatiga ega optik tolali aloqa liniyalari elementlarini diagnostika qilish qurilmasini ishlab chiqish” deb nomlangan beshinch bobida raqamli monitoringga ega apparat platforma hamda diagnostik ma’lumotni qayta ishlash intellektual tizimidan tashkil topgan optik tolali aloqa liniyalari elementlarini diagnostika qilish qurilmasining modeli va algoritmi ishlab chiqilgan, mikrokontrollerga eksport qilish uchun o‘qitish algoritmining ishlash natijalari keltirilgan.

Qurilmaning ishlash prinsipi ma’lumotlarni ketma-ketlikda qayta ishlashdan iboratdir (14-rasm).



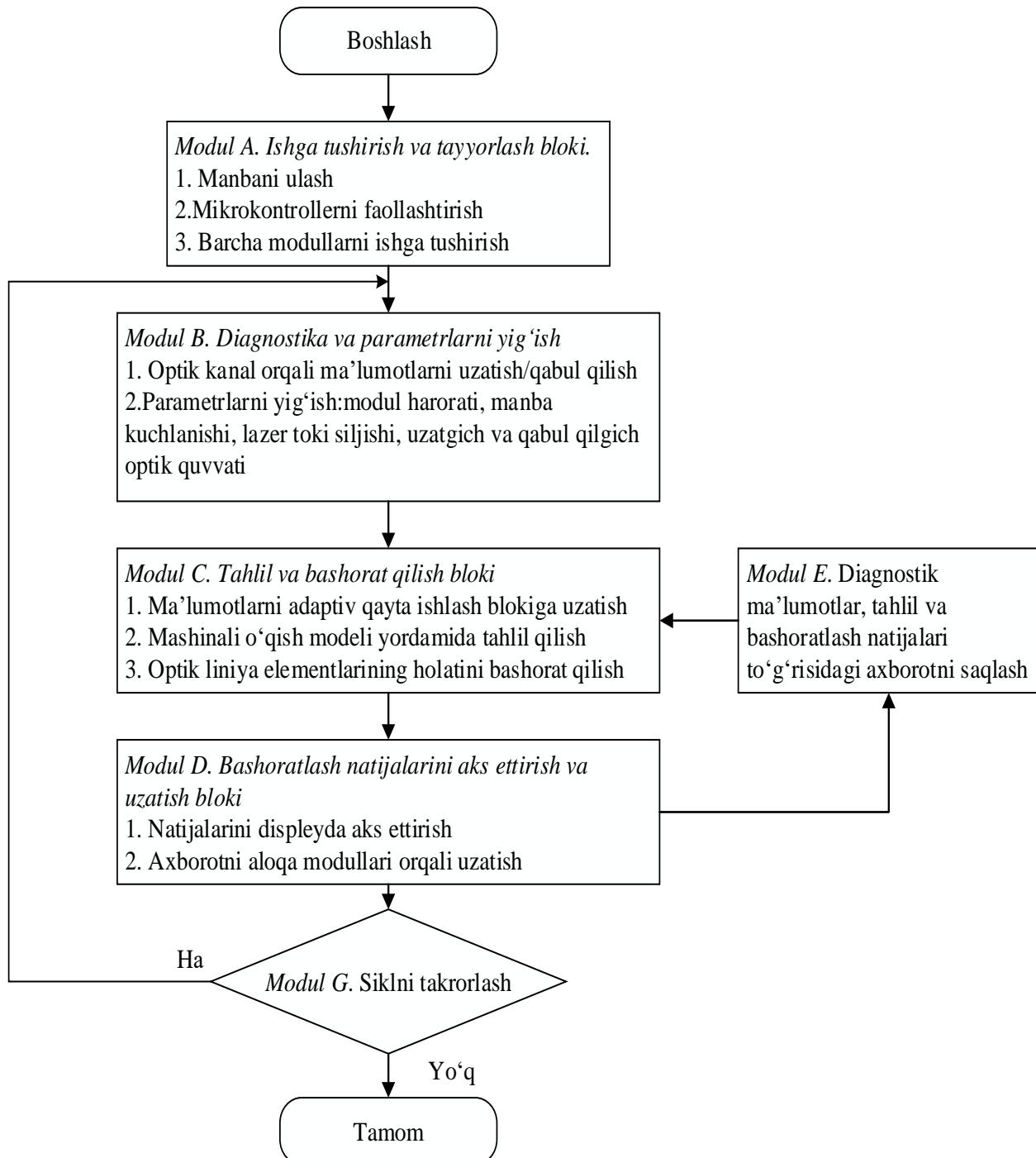
14-rasm. Optik tolali aloqa liniyalari elementlarini diagnostika qilish qurilmasining tuzilmaviy sxemasi

Ta’minot manbai ulangandan so‘ng, raqamli monitoring funksiyasiga ega optik signalni uzatuvchi va qabul qiluvchi SFP-modul (1) ishga tushadi. Mikrokontroller (2) modul harorati (T), ta’minot manbai kuchlanishi (U), lazerning siljitish toki (I), uzatuvchining optik quvvati (P_{Tx}), qabul qilgichning optik quvvati (P_{Rx}) kabi parametrlarni hisobga oladi; so‘ng ma’lumotlar adaptiv qayta ishlash moduli (3)ga uzatiladi va o‘qitish tizimi (12)dan olingan mashinali o‘qitish modeli tomonidan tahlil qilinadi. Tizim optik tolaning degradatsiya darajasini aniqlaydi, xizmat muddatini bashorat qiladi va rad etishlar ehtimolini aniqlaydi. Olingan natijalar ekran (4)da aks ettiriladi, simsiz aloqa kanallari (6) orqali uzatiladi hamda keyingi monitoring va hisobot uchun qurilmaning xotirasida (11) va ma’lumotlar bazasida (7) saqlanadi. Qurilmaning ishlashi jarayonida boshqarish bloki (5) qurilmaning ishlashini muvofiqlashtiradi, ta’minotni boshqarish tizimi (8) esa manba (9) va akkumulyator (10) dan ta’minotni nazorat qiladi va qurilmaning avtonom ishlashini ta’minlaydi.

Funksional bloklarga bo‘lingan qurilmaning umumlashgan ishlash algoritmi ishlab chiqilgan (15-rasm).

A modulda tizimni ish holatiga keltirish va elementlarni ishga tushirish amalga oshiriladi. B modul DDM tizimi orqali SFP modulining diagnostik parametrlarini

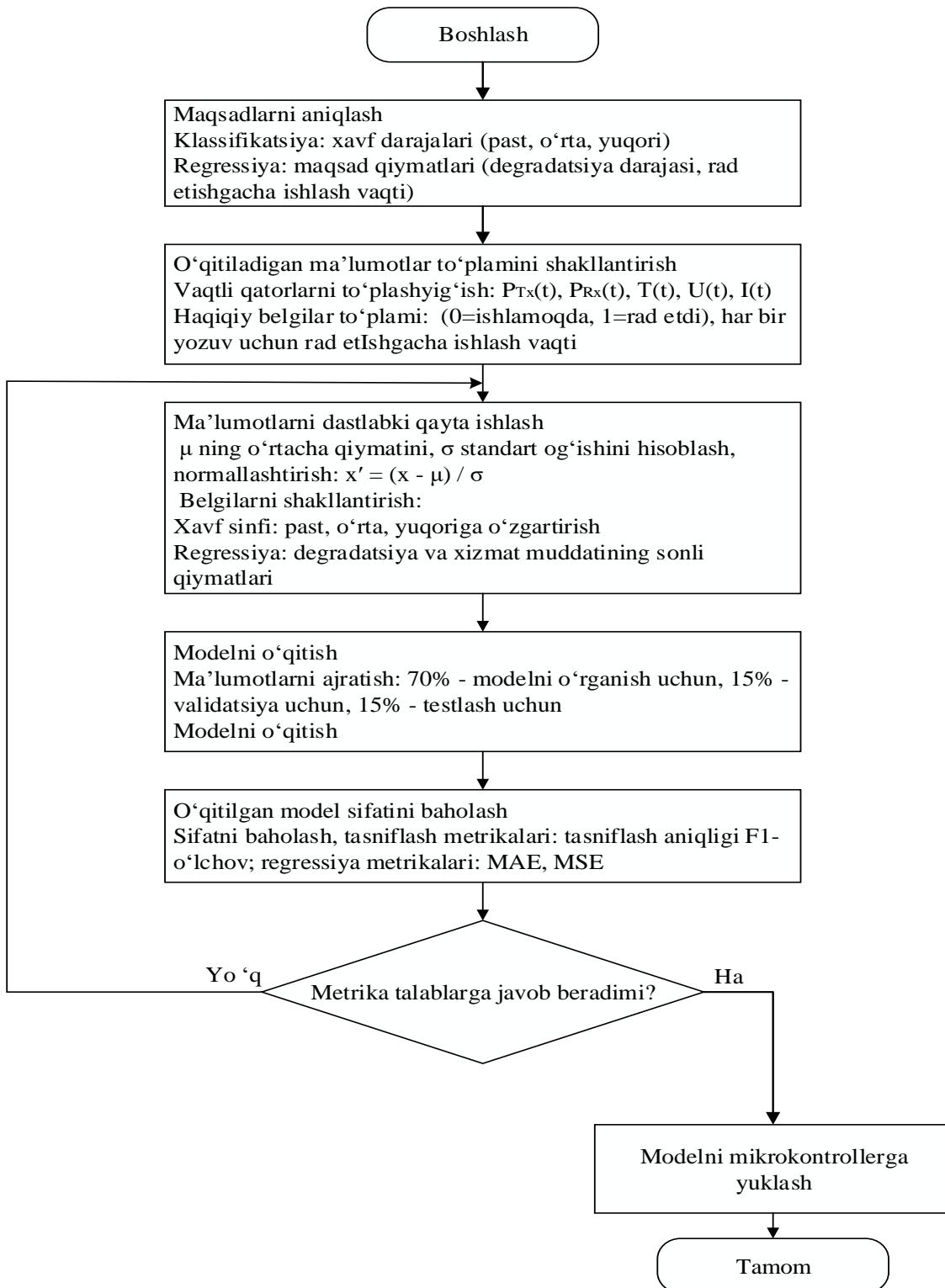
(harorat, kuchlanish, lazer toki, uzatish va qabul qilishning optik quvvatlari) toplashni amalga oshiradi. Keyingi bosqichda *C* modul ushbu ma'lumotlarni intellektual tahlil qiladi. *D* modulida holatni baholash natijalari ko'rsatiladi va simsiz kanal orqali uzatiladi, shundan so'ng *E* moduli diagnostika ma'lumotlari va basoratlash natijalarini o'rnatilgan xotirada saqlaydi. Qayta ishlash siklini tugatgandan so'ng, *G* moduli qurilmani keyingi monitoring sikliga qaytaradi.



15-rasm. Optik tolali aloqa liniyalarini elementlarini diagnostika qilish qurilmasining umumlashgan ishlash algoritmi

Tahlil va bashorat qilish blokida mashinali o'qitish modelini qo'llash asosida optik tolali liniya elementlarining holatini tahlil va bashorash qilish amalga oshiriladi. Mashinali o'qitish modelining algoritmi ma'lumotlarni toplash va qayta ishlash,

modelni o'qitish va testlash hamda klassifikatsiya va regressiya metrikalari bo'yicha sifat baholashni o'z ichiga oladi (16-rasm).



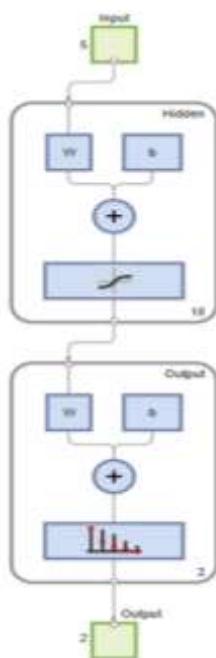
16-rasm. Mikrokontrollerga yuklash uchun mashinali o'qitish modeli algoritmi

Modelni o'qitishing maqsadi DDM-interfeysi orqali SFP-moduldan olingan diagnostik parametrlar asosida yuqorida keltirilgan vazifalarni bajara oluvchi mashinali o'qitish modelining algoritmini shakllantirishdan iborat. Dasturiy muhitda modellashirish va modelni o'qitish amalga oshirilgan, unda modelni qurish va tekshirish to'liq siklni, ya'ni ma'lumotlarni tayyorlash, arxitekturani tanlash,

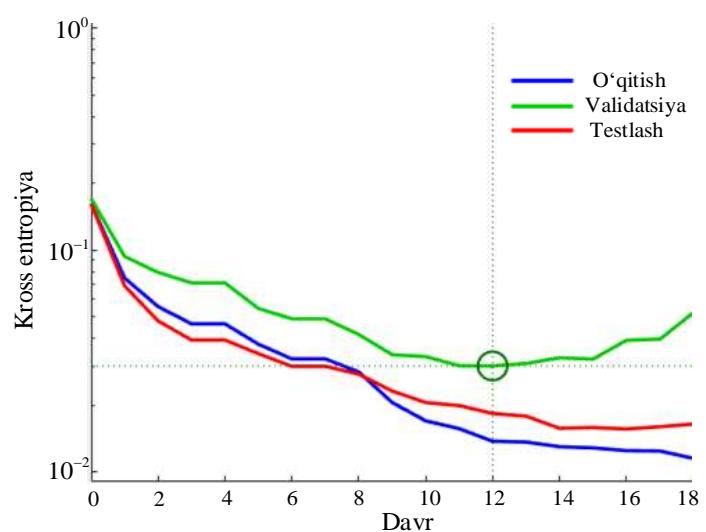
o‘qitilgan modelning yaqinlashishi vizuallashtirish va sifat metrikalarini tahlil qilish ta’minlagan.

Mikrokontrollerga tadbiq etish imkoniyati, ixchamligi va yuqori tezlikda ishlashi sababli MLP (Multi-layer Perceptron) modeli tanlangan. Ishlab chiqilgan MLP neyron tarmog‘ining arxitekturasi binar tasniflash uchun quyidagicha tuzilgan: kirish qatlami beshta diagnostik kattalikdan iborat (P_{Tx} , P_{Rx} , T , U , I), aktivatsiya funksiyasiga ega 10 neyronli yashirin qatlam va ikkita neyronli chiqish qatlami mavjud (17-rasm). Chiqishda ma’lumotlarning ikki sinfdan biriga tegishli bo‘lish ehtimoli qiymati hosil bo‘ladi.

MLP modelini o‘qitish jarayonida yo‘qotish funksiyasining o‘zgarishini grafigida o‘qitish, validatsiya va testlash tanlovlari bo‘yicha xatolikning kamayishi kuzatilgan. Tekshirish tanlovida xatolikning minimal qiymati 12-davrda amalga oshirilgan. Ushbu nuqtadan so‘ng tekshirish xatoligining oshishi kuzatilgan, bu esa modelda ortiqcha o‘qish boshlangan, shu sabadan erta to‘xtatish mexanizmi 18-davrda o‘qitishni avtomatik to‘xtatgan (18- rasm). Optik tolali aloqa liniyalari elementlarini diagnostika qilish qurilmasi integral yechim bo‘lib, u raqamli monitoringli apparat platformasini diagnostika ma’lumotlarini qayta ishlashning intellektual tizimi bilan birlashtiradi.



17-rasm. MLP o‘qitilgan neyron tarmoq arxitekturasi sxemasi



18-rasm. O‘qitish, validatsiya va testlash namunalarida xatolikni kamaytirish

Optik tolali aloqa liniyasining elementlaridagi rad etishlarni aniqlash uchun mo‘ljallangan adaptiv ma’lumot qayta ishlash tizimini joriy etish OTAUT elementlarining holat parametrlarini uzluksiz to‘plash va uzatishni ta’minlaydi, texnik monitoring samaradorligini, nosozliklarni aniqlash tezligini oshirib, potensial rad etishlar to‘g‘risida ma’lumotlarni markazlashgan tahlil qilish va saqlash imkoniyatlarini kengaytiradi.

XULOSA

“Optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini oshirish usullari va algoritmlari” mavzusidagi texnika fanlari doktori (DSc) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tаддиqot natijasida quyidagi xulosalar taqdim etiladi:

1. Optik tolali axborot uzatish tizimlari (OTAUT) tuzilmasini tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, tizimning ishonchliligi ko‘p jihatdan uning asosiy elementlari – transiverlar, optik kuchaytirgichlar, optik tolali kabellar va dasturiy ta’mintoning xususiyatlari bilan belgilanadi, fizik, ekspluatatsion va dasturiy omillarni hisobga olgan holda ishonchlilikni ta’minlashga kompleks yondashuv zarurligi aniqlangan.

2. OTAUTlarning ishlash davrining barcha bosqichlarida, ya’ni dstlabki, normal va eskirish davrlarida ishonchlilagini yetarli darajada modellashtirish uchun ehtimollilk, mantiqiy-tuzilmaviy va imitatsion usullarni qo’llash imkonini berishi aniqlandi. Veybull taqsimoti va eksponensial taqsimotdan foydalanish tizim elementlarining tasodifiy va degradatsion rad etishlarini hisobga olish imkonini berdi.

3. OTAUT apparat va dasturiy ta’mint elementlari rad etishlarining o‘ziga xos xususiyatlarini e’tiborga oluvchi ishonchlilikning umumlashgan analitik modellari ishlab chiqilgan. Modellarda rad etishlarning taqsimot qonunlaridan foydalanilganligi ushbu taqsimot parametrlarining ishonchlilik xarakteristikalarining o‘zgarishiga ta’sirini grafik tahlil qilish imkonini bergen, jumladan apparat elementlarida masshtab parametrini oshirish va shakl parametrini kamaytirish, shuningdek dasturiy ta’mintdagi nosozliklarning boshlang‘ich intensivligini kamaytirish tizimning umumiyl ishonchlilikini oshirishga yordam berishi aniqlangan.

4. Tizim elementlarining muhimligini baholash asosida har bir elementning OTAUT umumiyl ishonchliliga qo’shgan hissasini hisobga oladigan zaxiralash usuli va algoritmi ishlab chiqilgan. Natijada, OTAUTning yuqori barqarorligini ta’minlash uchun zaxiralashga tanlab yondashish, loyihibiy yechimlar samaradorligini 1,6-2 foizga hamda zaxiralash resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish imkonini bergen.

5. Telekommunikatsiya tizimlarining ishonchlilik ko‘rsatkichlarini hisoblash algoritmi katta hajmdagi kirish ma’lumotlari va yuqori zahiralash karraligi bilan ishlashda tizimni zaxiralash usulini tanlashning avtomatlashtirilishini, hisoblash vaqtini qisqartirishni ta’minlagan. Natijada, zaxiralash sxemalarining formallashtirilgan tanlovi amalga oshirilgan, bu esa OTAUTni loyihalashda muhandislik hisob-kitoblarining tezkorligi va aniqligini oshirish imkonini bergen.

6. O‘zini tahlil qilish mexanizmi bilan rad etishlarni bashorat qilish usuli va ishlash algoritmini qo’llash rad etishlarni bashorat qilishning yuqori aniqligini saqlab qolish imkonini berdi. Rad etishlar to‘g‘risidagi haqiqiy ma’lumotlar va bashorat qilingan natijalar o‘rtasidagi farqlarni davriy tahlil qilish, model parametrlarini tuzatish natijasida o‘rtacha kvadratik xatolik dastlabki darajaga nisbatan kamaygan va bashorat qilish aniqligi 10 foizga ortgan.

7. Optik tolali aloqa liniyasi elementlari nosozliklarini diagnostika qilish va ma’lumotlarni saqlash/qayta ishlash uchun uzatish qurilmasining modeli va ishlash algoritmi OTAUT tarkibiy qismlarining holat parametrlarini avtomatlashtirilgan monitoring qilish, uzluksiz yig‘ish va uzatish imkoniyatini ta’mnladi, bu

nosozliklarni aniqlash tezkorligini 10-12 foizga oshirgan va ehtimoliy rad etishlar to‘g‘risidagi ma’lumotlarni markazlashtirilgan tahlil qilish va saqlash imkoniyatlarini kengaytirgan.

8. Ishlab chiqilgan optik tolali axborot uzatish tizimlarining ishonchlilagini oshirish usullari va algoritmlari O‘z DSt 3183:2017 “Telekommunikatsiyalar tarmoqlari. Passiv optik foydalanish tarmoqlari uskunasi. Umumiyl teknik talablar” hamda O‘z DSt 2929:2015 “Optik transport tarmoqlarining interfeyslari. Umumiyl talablar” davlat standartlarida belgilangan talablar asosida telekommunikatsiya tarmoqlarini loyihalash va modellashtirishda, optik tolali axborot uzatish tizimlari zaxiralash sxemalarini loyihalash jarayonlarida qo‘llanilishi mumkin.

9. Tadqiqot natijalari “O‘zbektelekom” AK, “UNICON.UZ” MChJ, “FALCON TELECOM EXPERT” MChJ, “NETKA TELECOM” MChJlarda joriy etilgan. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining 18.03.2025-yildagi IAP 7986-sonli “Telekommunikatsiya tarmoqlarida o‘zini tahlil qilish bilan nosozliklarni bashoratlash usuli” ga ixtiro patenti olingan.

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

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

JURAEVA NAFISA INOYATOVNA

**METHODS AND ALGORITHMS FOR INCREASING THE RELIABILITY
OF FIBER-OPTIC INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS**

**05.04.02 – Radio engineering, radionavigation, radiolocation, television systems and devices.
Mobile, fiber-optic communication systems**

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION
OF DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES (DSc)**

Tashkent – 2026

The theme of doctor of technical sciences (DSc) 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.DSc/T920.

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.ziyonet.uz.

Scientific adviser:

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Parsiev Saydiakhat Solikhodjaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Usmanova Nargiza Baxtiyorbekovna
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Khakimov Zafar Tulyaganovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization:

Tashkent State University of transport

The defence will take place on 31 of January 2026 at 10⁰⁰ a.m. 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 № 402). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur str., 108. Tel.: (99871) 238-64-15).

The abstract of dissertation is distributed on 21 January 2026

(Protocol at the register № 1 on 21 January 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, associate professor

U.B.Amirsaidov

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

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The aim of the research is to develop methods and algorithms for element reservation and failure forecasting, a model and algorithm for the operation of a device for element diagnostics to increase the reliability of fiber-optic information transmission systems.

The object of the research is the fiber optic information transmission system, its elements, including optical fibers, transceivers, amplifiers, and software.

The scientific novelty of the research work:

analytical models have been developed taking into account hardware and software, allowing for assessing the reliability of fiber-optic information transmission systems based on the distribution laws of element failures;

a method and an algorithm for performing backup based on the degree of importance of elements have been developed, allowing to increase the overall reliability of the system by minimizing the failure of the most important parts;

an algorithm for calculating the reliability indicators of telecommunication systems has been developed, allowing the selection of a backup method based on a comparison of the failure intensity and the average recovery time of the system;

a method for predicting failures based on machine learning algorithms and self-analysis has been proposed, which allows increasing the accuracy of forecasting and automatic selection of parameters and models that ensure the system's resistance to changing conditions;

an algorithm for predicting failures of a fiber-optic information transmission system based on deviations between statistical data and predicted values has been created, which has a self-analyzing mechanism, allowing for the early detection of failures and increasing the reliability of the system;

based on the analysis of measured parameters and machine learning, a model and an algorithm for the operation of a device for diagnosing the failure of elements of a fiber-optic communication line with an adaptive information processing unit, allowing for predicting the probability of element failures have been developed.

Implementation of research results. Based on the results obtained on the implementation of methods and algorithms for increasing the reliability of fiber-optic information transmission systems:

the developed analytical models, taking into account hardware and software, allowing to assess the reliability of fiber-optic information transmission systems based on the laws of element failure distribution, have been implemented in JSC "Uzbektelecom" LLC, "UNICON.UZ" (certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan № 34-8/4812 dated July 10, 2025). As a result, it became possible to apply backup schemes of fiber-optic information transmission systems in the design and modeling of telecommunication networks;

a computational algorithm that allows determining the reliability indicators of telecommunication systems based on a comparison of the intensity of failures and the average recovery time of the system and the choice of a backup method; a method and algorithm for selecting a backup type based on the degree of importance of elements, which allows increasing the overall reliability of the system by minimizing

failures of the most important parts, have been implemented in LLC "UNICON.UZ" and LLC "FALCON TELECOM EXPERT". (certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan № 34-8/4812 dated July 10, 2025). As a result, it was possible to ensure an operational assessment of the types of reservations and increase the efficiency of design solutions by 1.6-2%, to approach reservations with the characteristic of selectivity, to increase the efficiency of the use of reserve resources, to ensure high stability of the fiber-optic information transmission systems;

the proposed method for predicting failures, based on machine learning algorithms and self-analysis, allowing for the automatic selection of parameters and models that ensure increased prediction accuracy and system resistance to changing conditions, an algorithm for predicting failures of elements of a fiber-optic information transmission system, created on the basis of deviations between statistical data and predicted values, with a self-analysis mechanism, allowing for early detection of failures and increasing system reliability, has been implemented in JSC "Uzbektelecom", LLC "UNICON.UZ", LLC "NETKA TELECOM" (certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan № 34-8/4812 dated July 10, 2025). As a result, due to the periodic analysis of discrepancies between actual data on failures and predicted results, adjustment of model parameters, the root-mean-square error decreased compared to the initial state and the accuracy of forecasting increased by 10%;

an improved model and algorithm for a device for diagnosing the failure of elements of a fiber-optic communication line with an adaptive information processing unit, developed based on the analysis of measured parameters and machine learning, allowing for predicting the probability of element failures, have been implemented in JSC "Uzbektelecom", LLC "UNICON.UZ" and LLC "FALCON TELECOM EXPERT" (certificate of the Ministry of Digital Technologies of the Republic of Uzbekistan № 34-8/4812 dated July 10, 2025). As a result, the possibility of automated monitoring, continuous collection and transmission of state parameters of fiber-optic information transmission systems elements was ensured, which increased the speed of detecting failures by 10-12% and expanded the possibilities of centralized analysis and storage of information about possible failures.

The structure of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion, references and appendixes. The volume of the dissertation is 197 pages.

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

I часть (I bo'lim; I part)

1. D.A.Davronbekov, N.I.Jurayeva. Optik tolali ma'lumotlar uzatish tizimlarining samaradorligini oshirish usullari, (Monografiya), Toshkent-2024. – 128 b.
2. D.A.Davronbekov, N.I.Juraeva. Telekommunikatsiya tarmog‘ida o‘zini tahlil qilish bilan nosozliklarni bashoratlash usuli. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Ixtiro patentini ro‘yxatdan o‘tkazish raqami №IAP 7986. 18.03.2025.
3. D.A.Davronbekov, N.I.Juraeva, Xamidov X.A. Adaptiv axborotni qayta ishslash bilan optik tolali aloqa liniyalari elementlarini diagnostika qilish qurilmasi. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Foydali model patentini ro‘yxatdan o‘tkazish raqami №FAP 2865. 19.11.2025.
4. N. Juraeva, D. Davronbekov, U. Turdiev. Predicting failures in fiber optic information transmission systems with support of machine learning // Revista Científica de Sistemas e Informática. 5(2), 2025. – 11 p. (OAK (3) Scopus)
5. N. Juraeva. Prediction of failures in fiber-optic information transmission systems // International Journal of “Science and Research Archive”. 15(01), 2025. – P. 1383-1387. (OAK (12) Index Copernicus).
6. Жураева Н.И. Прогнозирование отказов в волоконно-оптических системах передачи информации с механизмом самоанализа // “Raqamli transformatsiya va sun'iy intellekt” ilmiy-texnik jurnal.- Volume 3, Issue 4, 2025. – С. 114-119. (№363-сон OAK rayosat qarori, 04.07.2023).
7. Жураева Н.И. Разработка устройства диагностики волоконно-оптических линий связи на основе цифрового мониторинга // “Raqamli iqtisodiyot” ilmiy-elektron jurnali 12-сон, 2025. – С.87-94. (№372/4-сон OAK rayosat qarori, 11.07.2025).
8. D. Davronbekov, N. Juraeva Evaluation of the reliability of fiber-optic information transmission systems based on the laws of failure distribution // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. Edition 12(3). Tashkent – 2025. – P. 7-12. (05.00.00; №25. OAK Rayosatining 30.07.2020 yildagi qarori bilan “Uzbekistan Research Online” raqamli platformasidagi jurnallarda e’lon qilingan ingliz tilidagi maqolalar dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini e’lon qilishga tavsiya etilgan xorijiy ilmiy nashrlarda chop etilgan ilmiy maqolalarga tenglashtirilgan).
9. Жураева Н.И. Разработка алгоритма расчёта показателей надёжности волоконно-оптических систем передачи информации // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” Ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. – № 2(32), 2025. – С. 38-43. (05.00.00; №10).
10. Жураева Н.И. Оценка надёжности волоконно-оптических систем передачи информации // Scientific journal of “Development of science”. ISSN 3030-3907. Volume 2, 2025/5. –С. 387-394. (№367-сон OAK rayosat qarori, 12.02.2025).

11. Dilmurod Davronbekov, Nafisa Juraeva Increasing the reliability of fiber optical systems, considering the importance of elements // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” Ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnali. №4(30), 2024. –P.124-127 (05.00.00; №10).

12. Жураева Н.И. Расчёт показателей надёжности восстанавливаемых систем с поэлементным резервированием // “Raqamli transformatsiya va sun’iy intellekt” ilmiy-texnik jurnali.- Volume 1, Issue 1, 2024. – С. 164-170. (№363-son OAK rayosat qarori, 04.07.2023).

13. N.I.Juraeva. Analysis of some methods for increasing the reliability of fiber-optic data transmission systems // Eurasian Journal of Engineering and Technology. – Volume 28. Belgium-2024. – P.45-49 (OAK (12) Index Copernicus).

14. D.A.Davronbekov, N.I.Juraeva. Integration of optical fibers in wireless communication systems: features and perspectives. // Journal of Engineering and Technology (JET).- Vol. 13, Issue 2, 2023. – P.123-130 (05.00.00; №31).

15. Жураева Н.И. Технологии изготовления активированных волокон применяемых в волоконно-оптических системах передачи // “Innovatsion texnologiyalar” ilmiy-texnik jurnali. №2(50), 2023. – С.37-44 (05.00.00; №38).

16. D.A.Davronbekov, N.I.Juraeva. Study of the features of fiber-optic amplifiers used on extended communication lines // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies. Volume 1, Issue 4, – 7 p. (OAK Rayosatining 30.07.2020 yildagi qarori bilan “Uzbekistan Research Online” raqamli platformasidagi jurnallarda e’lon qilingan inglez tilidagi maqolalar dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini e’lon qilishga tavsiya etilgan xorijiy ilmiy nashrlarda chop etilgan ilmiy maqolalarga tenglashtirilgan).

17. Давронбеков Д.А., Жураева Н.И. Анализ некоторых факторов, приводящих к потерям в оптических волокнах // “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” Ilmiy-amaliy va axborot-tahliliy jurnal. №1(19), 2022. С. 79-83 (05.00.00; №10).

II часть (II bo‘lim; II part)

18. D. Davronbekov, N. Juraeva and A. Boboev. Advanced Applications of Machine Learning Techniques in FOITS // 4th International Conference on “Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS)”, Tashkent, Uzbekistan-2024, P. 773-778 (OAK (3) Scopus).

19. Жураева Н.И. Модели надёжности для волоконно-оптических систем передачи информации на основе законов распределения // «Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе» VI Международная научно-практическая конференция. Стерлитамак- 2024. – С. 213-219.

20. Juraeva N. Reliability indicators of elements of fiber-optic information transmission systems with element-by-element redundancy // 13 International Scientific and Practical Conference «Challenges in Science of Nowadays». Washington-2024. – P. 210-215.

21. Давронбеков Д.А., Жураева Н.И. Модели оценки надежности волоконно-оптической системы передачи с резервированными линиями связи //

“Professional armiya boshqaruvini rivojlanishida innovatsiyalar va raqamlashtirishning o‘rni” VI Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya maqolalar to‘plami. Toshkent-2024. – С.500-504.

22. Давронбеков Д.А., Жураева Н.И. Исследование влияния природных радионуклидов на свойства оптоволокна от глубины залегания // «Прогресс науки химии, технологии и экологии» международная научно – методическая конференция. Душанбе-2023. – С.44-47.

23. Давронбеков Д.А., Жураева Н.И. Волоконно-оптические устройства передачи информации, легированные редкоземельными ионами // Международная конференция «Современные технологии научного приборостроения и информационно-измерительных систем» СТНПИИС. Москва-2023. – С.17-21.

24. D.A.Davronbekov, N.I.Juraeva. Features and principle of operation of fiber lasers based on active fiber doped with rare-earth ions // International Conference on “Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS – 2022)”. Tashkent-2022. – Р.348-352 (OAK (3) Scopus).

25. Давронбеков Д.А., Жураева Н.И. Анализ нелинейных эффектов в волоконно-оптических системах связи // International scientific conference “Information technologies, networks and telecommunications ITN&T-2022”. Urgench-2022. – С. 116-120.

26. Давронбеков Д.А., Жураева Н.И. Волоконные усилители в системах спутниковой связи // International conference “Recent advances in intelligent information and communication technologies – ISPC-2022”. Tashkent-2022. – С.343-346.

27. Н.И.Жураева. Анализ методов расчета надёжности восстанавливаемых систем // “Zamonaviy axborot, kommunikatsiya va AT-ta’lim tatbiqi muammolari” respublika ilmiy-amaliy anjumani ma’ruzalar to‘plami. Samarqand-2024. – С. 169-171.

28. Nafisa Juraeva. Developing a machine learning model for decision making in communication systems // “Avtomatlashtirish tizimlari va yashil energetika muammolari: ishlab chiqarishda, fan va ta’limda” mavzusida Respublika ilmiy-amaliy anjumani. Qarshi-2024 – Р.38-40.

29. Juraeva N. Tolali optik aloqa tizimlari samaradorligini monitoring qilishda qo‘llaniladigan mashinali o‘qitish algoritmlari // “Texnik jixatdan tartibga solish, metrologiya va standartlashtirishning ishlab chiqarishdagi o‘rni va vazifalari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. Farg‘ona-2024. – В. 385-389.

30. Жураева Н.И. Парофазные методы получения кварцевых заготовок оптических волокон // «Zamonaviy ilm-fanning dolzarb muammolari, yutuqlari va innovatsiyalari» mavzusidagi respublika ilmiy va ilmiy-texnik anjumani ma’ruzalar to‘plami. Toshkent-2023. – С. 94-97.

31. Давронбеков Д.А., Жураева Н.И. Принцип работы волоконных лазеров на основе активных световодов // “Raqamli transformatsiya jarayoniga axborot

texnologiyalarini joriy etishda ma'lumotlarni himoyalash muammolari va yechimlari” respublika ilmiy-amaliy anjumani ma'ruzalar to‘plami. Qarshi-2022 – C. 273-275.

32. Давронбеков Д.А., Жураева Н.И. Методы диагностики оптоволоконного кабеля // “Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati” respublika ilmiy-texnik anjumani ma'ruzalar to‘plami. Toshkent-2022. – C.105-108.

33. Жураева Н.И. Волоконно-оптические усилители на основе редкоземельных элементов // “Hududlarda raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish istiqbollari:muammolar va yechimlar” respublika ilmiy-amaliy anjumani ma'ruzalar to‘plami.Qarshi-2021. – C.375-378.

34. N.I.Juraeva. Расчёт показателей надёжности восстанавливаемых систем (поэлементное резервирование с замещением) // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazganligi to‘g‘risida guvohnoma, № DGU 40001. 14.06.2024.

35. D.A.Davronbekov, N.I.Juraeva. Расчёт показателей надёжности восстанавливаемых систем (поэлементное резервирование с постоянно активным резервом) // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazganligi to‘g‘risida guvohnoma, № DGU 40002. 14.06.2024.

36. N.I.Jurayeva, M.B.Rustamova. “Optik tolanning yo‘qotishlarini hisoblash” dasturi // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazganligi to‘g‘risida guvohnoma, № DGU 22070, 11.02.2023.

37. Davronbekov D.A., Jurayeva N.I. Расчёт показателей надёжности волоконно-оптических систем передачи информации с учётом важности элемента // DGU 44547. 28.11.2024 yil.

Автореферат отредактирован редакцией научно-практического и информационно-аналитического журнала «Muhammad al-Xorazmiy avlodlari», тексты на русском, узбекском и английском языках проверены на совместимость.

Разрешено в печать: 21.01.2026 г.

Размер 60x45 1/8. Гарнитура «Times New Roman» цифровая печать.
Условный печатный лист 4,12. Тираж 55 экз. Заказ 8.

Академия МВД Республики Узбекистан,
100197, г. Ташкент, ул. Интизор 68.

«AKADEMIYA NOSHIRLIK MARKAZI» ГУ.