

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.28.12.2017.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ДАВРОНБЕКОВ ДИЛМУРОД АБДУЖАЛИЛОВИЧ

РАДИОТЕХНИК ТИЗИМЛАР ЭЛЕМЕНТЛАРИНИНГ
ИШОНЧЛИЛИГИНИ ТАЪМИНЛАШ ТАМОЙИЛЛАРИ ВА
УСУЛЛАРИ

05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари
ва қурилмалари. Мобиль, толаоптик алоқа тизимлари

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Contents of the abstract Doctoral (DSc) dissertation

Давронбеков Дилмурод Абдужалилович

Радиотехник тизимлар элементларининг ишончлилигини таъминлаш
тамойиллари ва усуллари

3

Давронбеков Дилмурод Абдужалилович

Принципы и методы обеспечения надежности элементов
радиотехнических систем

29

Davronbekov Dilmurod Abdujalilovich

Principles and Methods for Ensuring the Reliability on Elements
of Radio Technical Systems

55

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works

59

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.28.12.2017.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ДАВРОНБЕКОВ ДИЛМУРОД АБДУЖАЛИЛОВИЧ

РАДИОТЕХНИК ТИЗИМЛАР ЭЛЕМЕНТЛАРИНИНГ
ИШОНЧЛИЛИГИНИ ТАЪМИНЛАШ ТАМОЙИЛЛАРИ ВА
УСУЛЛАРИ

05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари
ва қурилмалари. Мобиль, толаоптик алоқа тизимлари

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ

Техника фанлари бўйича фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.3.DSc/Т306 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tuit.uz) ва «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Назаров Абдулазиз Муминович
техника фанлар доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Бахрамов Сагдулла Абдуллаевич
физика-математика фанлари доктори,
профессор, академик

Юсупбеков Азизбек Нодирбекович
техника фанлари доктори, профессор

Алиев Равшан Маратович
техника фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

«Ўзбектелеком» Акционерлик компанияси

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.28.12.2017.Т.07.02 рақамли Илмий кенгашининг 2019 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Амир Темура кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (_____ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100084, Тошкент, Амир Темура кўчаси, 108-уй. Тел.: (+99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2019 йил «___» _____ да тарқатилди.

(2019 йил «___» _____ даги ___ рақамли реестр баённомаси.)

И.Х.Сиддиков

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Ж.Х.Джуманов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д.

А. Абдукаюмов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда ахборот-коммуникацион технологиялар жадал суръатларда ривожланмоқда. Замонавий телекоммуникациялар тизимлари, шу жумладан радиотехник тизимлар (РТТ) кўп сонли ўзаро боғланган элементлар, блоклар ва қурилмалардан ташкил топган мураккаб РТТлар дейиладиган мураккаб комплексларни ўз ичига олади. РТТга қўйиладиган талаблардан бири уларнинг ишлаш ишончилиги муҳим аҳамият касб этади. Шу муносабат билан РТТ ва унинг таркибига кирадиган элементларнинг ишончилигини ишончли ҳисоблаш тамойиллари ва усуллари ишлаб чиқиш, РТТ ва унинг таркибига кирадиган элементларнинг ишончилигини ошириш ва таъминлаш долзарб ҳамда зарур масалалардан бири ҳисобланади. Ривожланган давлатларда, шу жумладан, Хитой, Россия, АҚШ, Япония, Канада, Ҳиндистон, Германия ва бошқа давлатларда математик моделлар ва аналитик ифодалар, ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш, ишончилиқни ҳисоблашнинг дастурий таъминотини (ДТ) яратиш, РТТ элементларини тестлаш ва диагностика қилиш учун усуллар ва қурилмалар, РТТ дастурий таъминоти ва РТТнинг ўзини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Дунёда математик моделларни ишлаб чиқиш, ишончилиқни ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминотини яратиш, РТТ элементлари, РТТ микроконтроллерли бошқариш тизимларининг (МКБТ) дастурий таъминоти, РТТларнинг ўзини тестлаш ва диагностика қилиш усуллари ҳамда қурилмаларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу йўналишда математик моделлар ва аналитик ифодаларни қуриш, РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТларни ўзининг ишончилигини ҳисоблашга имкон берадиган алгоритмлари ва дастурий комплексларини яратиш энг муҳим ҳисобланади. Шу билан бирга РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТларни ўзининг ишончилигини таъминлаш бўйича усуллар ва қурилмаларини ишлаб чиқиш масаласи зарур ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикасида РТТ элементларининг ишончилигини ҳисоблаш тамойиллари ва усуллари ишлаб чиқиш, ошириш ва таъминлаш бўйича принципиал янги ёндашишлар, шу жумладан ҳозирги вақтда РТТ бошқариш тизимларининг ажралмас қисмига кирадиган дастурий таъминотни ишлаб чиқиш соҳасида кўплаб илмий тадқиқотлар юқори даражада амалга оширилган ва ўтказилмоқда. Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси «...иқтисодиёт, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш, ... илмий-тадқиқот ва инновация фаолиятини рағбатлантириш, илмий ва инновация ютуқларини амалиётга жорий этишнинг самарали механизмларини яратиш ...» каби масалалар аниқланган¹.

Ушбу диссертация тадқиқотлари маълум даражада Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги №ПФ-4947

¹ 2017 йил 7 февралдаги №ПФ-4947 «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармони.

«Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 19 февралдаги №ПФ-5349 «Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 15 мартдаги №ПҚ-2834 «Тошкент ахборот технологиялари университетининг фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» Қарорида ва бу соҳада қабул қилинган бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда кўзда тутилган вазифаларнинг бажарилишига хизмат қилади.

Тадқиқотларнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Ушбу тадқиқотлар фан ва технологиялари ривожланишининг IV «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникацион технологияларни ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи².

Ишончлиликини ҳисоблаш бўйича масалаларни ечиш учун математик моделлар ва аналитик ифодалар, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурларини яратиш, РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТларни ўзининг ишончилигини башоратлаш ва таъминлашнинг ишончли усуллари ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи марказлари ва олий таълим муассасаларида, шу жумладан, University of Wisconsin–Madison, University of Massachusetts Dartmouth, Iowa State University (АҚШ), Beihang University, Zhejiang University, компания Huawei (Хитой), Technical University of Denmark (Дания), City, University of London (Буюк Британия), Technische Universität Berlin (Германия), NXP Semiconductors (Голландия), British Columbia Institute of Technology (Канада), Amity University (Ҳиндистон), Н.Э.Бауман номидаги Москва Давлат техника университети (МДТУ), М.Ломоносов номидаги Москва Давлат университети (МДУ) (Россия), Беларуссия Давлат информатика ва радиоэлектроника университети (БДИРУ) (Белоруссия), Н.Гумилев номидаги Евроосиё Давлат университети (ЕДУ) (Қозоғистон), Мухаммад аль-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетида (ТАТУ) (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Жаҳонда ишончлилики масалалари бўйича ўтказилган тадқиқотлар натижасида қатор натижалар олинган: University of Wisconsin–Madison, University of Massachusetts Dartmouth, Iowa State University (США), Beihang University, Zhejiang University, Huawei компанияси (Хитой), Technical University of Denmark (Дания), City University of London (Буюк Британия), British Columbia Institute of Technology (Канада), Amity University (Ҳиндистон), Н.Э.Бауман номидаги МДТУ, М.Ломоносов номидаги МДУ (Россия), ТАТУда (Ўзбекистон) дастурий таъминотнинг ишончилигини ҳисоблаш математик моделлари ва усуллари ишлаб чиқилган, Huawei компанияси (Хитой), Technische Universität Berlin (Германия), NXP

² Диссертация мавзуси бўйича илмий тадқиқотлар шарҳи <https://www.researchgate.net>, www.elsevier.com, <https://www.nxp.com>, <http://www.bmstu.ru>, <https://www.msu.ru>, <https://www.bsuir.by>, <http://www.enu.kz> ва бошқа манбалар асосида шакллантирилган.

Semiconductors (Голландия), Amity University (Хиндистон), МДТУ, М.Ломоносов номидаги МДУ (Россия), ТАТУда (Ўзбекистон) РТТ элементлари, РТТларни ўзининг ишончилигини ҳисоблаш, ошириш ва таъминлаш бўйича усуллар ишлаб чиқилган ва тадқиқ қилинган.

Дунёда РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТларни ўзининг ишончилиги масалаларини ечиш учун қуйидаги истиқболли йўналишлар бўйича тадқиқотлар ўтказилмоқда: математик моделлар ва ҳисоблаш алгоритмларини олиш, дастурий таъминотни такомиллаштириш ва яратиш, РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТларни ўзининг ишончилигини ҳисоблаш, ошириш ва таъминлаш усуллари ишлаб чиқиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги вақтда катта ишончиликли РТТни ишлаб чиқишга катта эътибор берилмоқда.

А.А.Свешников, В.Н.Татубалин, Е.С.Вентцель, Б.В.Гнеденко ва бошқалар мактабларининг эҳтимоллар ва математик статистика назарияси асосида РТТ элементларининг ишончилигини етарлича асосланган ҳисоблаш ва таъминлаш усуллари яратилган.

РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТлари ўзининг ишончилигини ишончилилик назарияси, тасодифий жараёнлар ва уларнинг муҳандислик қўлланишлари назарияси, оммавий хизмат кўрсатиш назарияси асосида тўғри баҳолаш ва таъминлаш масалалари Г.Майерс (Glenford J.Myers), В.В.Липаев, Г.А.Кейджяна, Б.Я.Дудник, В.В.Величко, А.М.Половко, В.Н.Дианов, И.Я.Козырь, Т.Д.Раджабов, Д.А.Абдуллаев, Т.Ф.Бекмуратов, А.М.Смоляк, И.Р.Берганов, Р.И.Исаев, М.Г.Васильева, Р.Х.Джураев, Ш.Ю.Джаббаров ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Бу соҳадаги тадқиқотларни таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, айтиб ўтилган муаллифларнинг ишларида РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТларни ўзининг ишончилигини комплекс баҳолаш ва таъминлаш масалалари етарли даражада тадқиқ қилинмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим ёки илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган №Ф-248-08 «ОТАЛ учун сирт-акустик филтрларнинг (САФ) қўлланишини тадқиқ қилиш» ИТИ (2008-2009), №17-016 «Телерадиокўрсатишнинг аудио ва тасвирий дастурларини захиралаш усуллари ишлаб чиқиш» давлат илмий-техник дастури (2009-2011), №17/12 «Ўзбекистон Республикаси транспорт тармоғининг мавжуд синхронлаштириш тизимини таҳлил қилиш ва сифат кўрсаткичларини баҳолаш ҳамда синхронлаштириш тизимини оптималлаш бўйича амалий тавсияларни ишлаб чиқиш» (2012), №13/13 «Радиоэлектрон аппаратуралар бошқариш тизимлари дастурий таъминотининг ишончилигини баҳолаш услубларини тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқиш» (2013) хўжалик шартномалари, № БВ-Итех-2018-47 «IMEI (Халқаро мобил ускуналар идентификатори) орқали мобил қурилмаларни идентификация қилиш ахборот тизимини яратиш ва жорий этиш» инновацион ИТИ (2018-2019) доирасида бажарилди.

Тадқиқотнинг мақсади. Радиотехник тизимлар элементлари, радиотехник тизимлардаги микроконтроллерли бошқариш тизимларининг дастурий таъминоти, шунингдек радиотехник тизимларни ишончлилигини ҳисоблаш ва таъминлаш тамойиллари ҳамда самарали усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

интеграцияси юқори даражали интеграл микросхемаларнинг (ИМС) рад этиш сабабларини таҳлил қилиш асосида ИМСнинг ишончлилигини башоратлаш бўйича тавсияларни ишлаб чиқиш;

РТТ хотира қурилмаларининг (ХК) ишончлилигини ҳисоблаш учун аналитик ифодаларни аниқлаш;

радиотехник тизимлар рақамли-аналог ўзгартиргичларини (РАЎ) диагностика қилиш учун метрикани танлаш ва РАЎни диагностика қилиш услубини ишлаб чиқиш;

РТТнинг таркибига кирадиган ташкил этувчиларни таҳлил қилиш асосида тамойиллар ва тавсифлаш концепциясини ифодалаш ҳамда мураккаб РТТни бўлиш усулларини ишлаб чиқиш;

дастурий таъминотдаги рад этишлар ва узилишлар бўйича мавжуд статистик маълумотлар асосида РТТ МКБТ дастурий таъминотининг ишончлилигини ҳисоблаш услуби ва дастурини такомиллаштириш;

МКБТ ва ДТда рад этишларнинг тақсмоти қонунларининг турли тўпламларида РТТ МКБТ–ДТ комплексининг ишончлилигини ҳисоблаш аналитик ифодаларини ишлаб чиқиш;

оптик толали алоқа линиялар (ОТАЛ) ўтиш спектрал характеристикаларини чизиқлаштириш ва модификацияланган оптик кучайтиргичларнинг қўлланиши билан ОТАЛнинг ишончлилигини ошириш тамойиллари ва усулларини ишлаб чиқиш;

мобил алоқа тизимларининг ишончлилигини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари, услуби ва дастурини ишлаб чиқиш;

мобил алоқа тизимларида ишлатиладиган ОТАЛ элементларининг ахборот параметрларини танлаш, ОТАЛ элементларини диагностика қилиш услублари ва қурилмаларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида дастурий таъминот, микроконтроллерли бошқариш тизимлар, радиотехник тизимлар ва оптик толали техника элементлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ, мобил алоқа тизимларининг ишончлилигини таъминлаш, РТТ МКБТ –ДТ комплексли ишончлилигини баҳолаш усулларини ишлаб чиқиш ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида қўйилган масалаларни ечишда математик ва сонли моделлаштириш усуллари, тизимли таҳлил, эҳтимоллар ва ишонччилик назариялари усуллари, шунингдек ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

юқори интеграция даражали интеграл микросхемаларнинг ишончилигини башоратлаш бўйича тавсиялар ва рақам-аналог ўзгартиргичларнинг диагностика қилиш услуги ишлаб чиқилган;

мураккаб радиотехник тизимларни тавсифлаш тамойиллари ва концепцияси ифодаланган ҳамда мураккаб радиотехник тизимларни бўлиш усуллари ишлаб чиқилган;

радиотехник тизимлардаги микроконтроллерли бошқариш тизимларининг дастурий таъминотининг ишончилигини ҳисоблаш услуги такомиллаштирилган ҳамда микроконтроллерли бошқариш тизимлари ва дастурий таъминотида рад этишларнинг тақсимоти қонунларининг турли тўпламларида радиотехник тизимлардаги микроконтроллерли бошқариш тизими дастурий таъминот комплексининг ишончилигини ҳисоблаш аналитик ифодалари ишлаб чиқилган;

оптик толали алоқа линиялари ўтиш спектрал характеристикаларини чизиклаштириш ва модификацияланган оптик кучайтиргичларнинг қўлланиши билан оптик толали алоқа линияларининг ишончилигини ошириш тамойиллари ва усуллари ишлаб чиқилган;

GSM-900 стандарти мобиль алоқа тизимларининг ишончилигини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари ва услуги ишлаб чиқилган;

мобиль алоқа тизимларида ишлатиладиган оптик толали алоқа линиялари элементларининг ишончилиги ахборот параметрлари аниқланган, оптик толанинг яхлитлиги ва SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш услуги ва қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

РТТ элементлари ва радиотехник тизимларнинг ишончилиги бўйича асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш жараёнини вақтини 8-10 мартага қисқартиришга имкон берадиган РТТ МКБТ ДТ, GSM-900 стандарти мобил алоқа тизимининг ишончилигини ҳисоблаш, РТТ РАЎ диагностика қилиш, сирт-акустик тўлқинлар (САТ) асосидаги филтърнинг топологиясини ҳисоблаш дастурлари ишлаб чиқилган;

югурма тўлқин кучайтиргич (ЮТК) турдаги оптик кучайтиргич ва акустик оптик қайта созланадиган филтърнинг биргаликда қўлланиши ОТАЛнинг ўтиш спектрал характеристикаларини чизиклаштиришга имкон беради, чизиклаштиришдаги ўртача ютуқ 1,8 - 2,0 дБни ташкил этиши, бу билан регенерацион ораликнинг узунлигини ортиши ва мос равишда ОТАЛнинг ишончилигини ортиши ўрнатилган;

таклиф этилган активлаштирилган оптик толаларни тайёрлаш усули ва модификацияланган оптик кучайтиргичларнинг қўлланиши оптик сигналнинг қувватини шовқинга нисбати қийматини 3 дБга оширади, бу хизмат кўрсатилмайдиган ораликнинг узунлигини оширади, қиммат турадиган регенерацион қурилмалар сонини қисқартиради ва ОТАЛнинг ишончилиги оширади;

оптик толанинг яхлитлиги ва SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини текширишга ва диагностика қилиш вақтини ўртача 10-20%га қисқартиришга имкон берадиган РТТнинг тугунлараро, блоклараро боғланишларида

ишлатиладиган ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТни ўзининг ишончлилигини ҳисоблаш ва таъминлаш бўйича усулларни таҳлил қилиш ва ишлаб чиқишни ўтказишда масалаларнинг қўйилишини тўғрилиги билан асосланади, бунда олинган натижаларни реал маълумотлар билан текшириш, шунингдек олинган натижаларни сифат жиҳатдан ва миқдоран баҳолаш билан бажарилган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти РТТ элементлари, РТТ МКБТ ДТ ва РТТларни ўзининг ишончлилигини ҳисоблаш ҳамда таъминлаш бўйича усуллар ва услублар, аналитик ифодалар ва ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Диссертация иши натижаларининг амалий аҳамияти ҳисоблаш жараёнини қисқартиришга имкон берадиган РАЎни диагностика қилиш, РТТ МКБТ ДТнинг ишончлилигини, САТ-фильтр топологиясини, мобил алоқа тизимининг ишончлилигини ҳисоблаш бўйича дастурлар комплекси, ОТАЛнинг ишончлилигини оширишга имкон берадиган ЮТК турдаги оптик кучайтиргич ва акустик оптик қайта созланадиган филтронинг (АОҚСФ) биргаликда қўлланиши, активлаштирилган оптик толаларни тайёрлаш усуллари, оптик толанинг яхлитлиги ва SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини текшириш учун ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Радиотехник тизимлар элементларининг ишончлилигини ҳисоблаш, ошириш ва таъминлаш усуллари, оптик толали алоқа линияларининг ўтиш спектрал характеристикаларини чизиклаштириш ҳамда модификацияланган оптик кучайтиргичларнинг қўлланилиши асосида:

ишлаб чиқилган юқори интеграция даражасидаги интеграл микросхемаларнинг ишончлилигини башоратлаш бўйича тавсиялар ва рақамли-аналог ўзгартиргичларни диагностика қилиш услуги, шакллантирилган мураккаб радиотехник тизимларни тавсифлаш тамойиллари ва концепцияси, ишлаб чиқилган мураккаб радиотехник тизимларни бўлиш усуллари «UNICON.UZ» ДУКда лойиҳа-смета ҳужжатларини экспертизадан ўтказиш жараёнида ва илмий тадқиқот ишларини ўтказишда, «Aloqaloyiha» ДУКда рақамли-аналог ўзгартиргичларни диагностика қилишда жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 10 сентябрдаги 33-8/6299-сон маълумотномаси). Натижада бу ҳисоблаш жараёни вақтини 8–10 мартага қисқартиришга имкон берган;

такмиллаштирилган радиотехник тизимлардаги микроконтроллерли бошқариш тизимларининг дастурий таъминотининг ишончлилигини ҳисоблаш услуги ва ишлаб чиқилган микроконтроллерли бошқариш тизимлари ҳамда дастурий таъминотда рад этишларнинг тақсимоти

қонунларининг турли тўпламларида радиотехник тизимлардаги микроконтроллерли бошқариш тизими дастурий таъминот комплексининг ишончилигини ҳисоблаш аналитик ифодалари «UNICON.UZ» ДУКда, «Aloqaloyiha» ДУКда радиотехник тизимлардаги микроконтроллерли бошқариш тизимлари дастурий таъминотнинг ишончилиги асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш жараёнига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 10 сентябрдаги 33-8/6299-сон маълумотномаси). Натижада ишончилик кўрсаткичларини ҳисоблаш аниқлигини ошириш имконияти яратилган;

“Алоқа узатишда оптололи тизимлар спектрал характеристикаларини оптималлаштириш ва тасҳислаш қурилмаси” учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти олинган (№ IAP 04465-2009 й.). Натижада чизиқлаштиришда 1,8–2,0 дБ атрофидаги ўртача ютуқни олишга имкон берган, регенерацион оралиқнинг узунлигини ва оптик толали алоқа линияларининг ишончилигини оширган;

“Фаоллаштирилган оптик толалар ярим маҳсулотини тайёрлаш усули” учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти олинган (№ IAP 04944-2012 й.). Натижада бошқа тенг шароитларда оптик толали алоқа линия оралиғининг рад этмасдан ишлаш ўртача вақтини 7–8% га ва бузилмасдан ишлаш эҳтимоллигини йилига ўртача 2,5–3% га оширган;

ишлаб чиқилган GSM-900 стандартдаги мобиль алоқа тизимининг ишончилигини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари ва услуги «UNICON.UZ» ДУКда лойиҳа-смета ҳужжатларини экспертизадан ўтказиш жараёнида ва илмий-тадқиқот ишларини ўтказишда, «Aloqaloyiha» ДУКда GSM-900 стандартдаги мобил алоқа тизимининг асосий ишончилик кўрсаткичлари ҳисоблаш ва лойиҳалашда, «Ўзбектелеком» АК Uzmobilе филиалида асосий ишончилик кўрсаткичларини таъминлаш учун мобиль алоқа тармоқларини лойиҳалаш ва ишлатишда жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 10 сентябрдаги 33-8/6299-сон маълумотномаси). Натижада бу ҳисоблаш жараёнини 8–10 мартага қисқартириш имконини берган;

аниқланган мобиль алоқа тизимларида ишлатиладиган оптик толали алоқа линия элементларининг ишончилиги ахборот параметрлари, ишлаб чиқилган оптик толанинг яхлитлиги ва SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш услуги ва қурилмаси “Ўзбекистон телекоммуникация тармоқларини бошқариш республика маркази” ДУКда телекоммуникацион тизимларни лойиҳалаш ва ишлатиш жараёнига, «Aloqaloyiha» ДУКда реал алоқа тизимларини лойиҳалашда оптик толали кабеллар ва SFP модулларни диагностика қилиш учун, «Ўзбектелеком» АК Uzmobilе филиалида асосий ишончилик кўрсаткичларини таъминлаш учун мобил алоқа тармоқларини лойиҳалаш ва ишлатиш жараёнига, «Uzneftgazaloqa» ИЧАТБ МЧЖда корхонанинг лойиҳавий ишларига жорий

этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 10 сентябрдаги 33-8/6299-сон маълумотномаси). Натижада оптик толали алоқа линия элементлари, оптик толанинг яхлитлиги ва SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш вақти ўртача 10–20% га қисқарган.

Тадқиқотлар натижаларининг апробацияси. Бу тадқиқотларнинг натижалари 16 та халқаро ва 4 та республика илмий-техник ва илмий-амалий конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқотлар мавзуси бўйича барчаси бўлиб 54 та илмий ишлар, улардан 2 та монография, 2 та Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти, 14 та мақолалар Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси тавсия этган журналларда, шу жумладан 2 та хорижий, 12 та республика миқёсидаги журналларда, 7 та илмий мақолалар бошқа тўпламлар ва жураналларда, 19 та тезис халқаро ва 6 та тезис республика илмий-техник ва илмий-амалий конференцияларида чоп этилган, шунингдек ЭҲМ учун яратилган дастурий маҳсулотларни рўйхатга олишга 4 та гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши 195 бетни ташкил этади, бешта боб, ҳулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯ ИШИНING АСОСИЙ МАЗМУНИ

Киришда диссертация иши мавзусининг долзарблиги ва зарурлиги асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган, унинг объекти ва предмети аниқланган тадқиқотнинг, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги аниқланган, тадқиқотларнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари ёритилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларнинг амалиётга жорий этиш рўйхати, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Биринчи «**Радиотехник тизимларнинг ишонччилигини таҳлил қилиш ва ҳолати**» бобда РТТ ишонччилигини миқдорий кўрсаткичларини назарий-аналитик таҳлили ва ишонччилик кўрсаткичларининг аналитик ифодалари келтирилган. Радиотехник тизимларнинг ишонччилигини ҳисоблаш ва ошириш усуллари кўриб чиқилган ва таснифланган.

Биринчи бобнинг ҳулосасида ўтказилган таҳлил бўйича асосий ҳулосалар келтирилган, бу ерда замонавий РТТ рад этишлардан кейин қайта тикланиши ва ишлашни давом эттириши мумкин бўлган қайта тикланадиган тизим ҳисобланиши ўрнатилган. Миқдоран тизимнинг қайта тикланувчанлиги қуйидаги параметрлар орқали баҳоланади: қайта тикланиш эҳтимоллиги, қайта тикланиш интенсивлиги (жадаллиги), ўртача қайта тикланиш вақти. РТТнинг ишонччилигини баҳолаш учун яна қуйидаги

комплекс кўрсаткичлар ишлатилади: тайёрлик коэффициенти, фойдаланиш коэффициенти ва оператив фойдаланиш коэффициенти. У ёки бу ишончилиликни ҳисоблаш усулининг қўлланиши зарурати ишончилиликни ҳисоблаш ўтказиш зарур бўладиган босқич (ишлаб чиқиш, ишлаб чиқариш, ишлатиш), РТТнинг мураккаблиги, ишлатиш жойи ва шароитлари ва бошқалар орқали аниқланиши кўрсатилган.

Ишончилиликни ошириш учун радиотехник тизимларда тузилмавий заҳиралаш энг кенг қўлланиши ўрнатилган. Заҳиралаш натижасида олинадиган ишончилилик бўйича ютуқ заҳирани бўлиш (сегментлаштириш) ҳисобига ортади, яъни элементлаб заҳиралаш энг самарали ҳисобланади, лекин бунинг учун ёрдамчи қурилмаларнинг сонини ошириш зарур бўлади.

Иккинчи «**Радиотехник тизимлар элементларининг ишончилигини ҳисоблаш ва таъминлаш усуллари**» боби РТТ интеграл микросхемаларининг ишончилигини ҳисоблаш ва башоратлаш, РТТ хотира қурилмаларини (ХК) тестлаш ва диагностика қилиш усуллари таҳлил қилиш, РТТ рақамли-аналог ўзгартиргичларни диагностика қилиш ва аналог-рақамли ўзгартиргичларнинг (АРЎ) ишончилигини баҳолаш услубларини ишлаб чиқишга бағишланган.

Талаб қилинадиган ишончилилик кўрсаткичлари ИМСларни ишлаб чиқишда ишончилиликни башоратлаш масалаларига эътибор бериш зарур, бунда иккита асосий ёндашишлар қўлланади. Биринчи ёндашишда тестланадиган ва башоратланадиган ИМСни тайёрлаш асосий технологик операцияларининг бир хиллиги, уларнинг ишончилиги эса фақат ишончсизлик компонентларининг сони билан фарқланиши кўзда тутилади ва тестланадиган ИМСнинг рад этишлар интенсивлиги қуйидаги нисбат орқали аниқланади.:

$$\lambda_{\text{Т.ИМС}} = \lambda_{\text{ВС1}} N_{\text{ВС0}} + \lambda_{\text{КС1}} N_{\text{КС0}} + \lambda_{\text{К1}} N_{\text{К0}} + \lambda_{\text{П1}} S_{\text{П0}}, \quad (1)$$

бу ерда $N_{\text{ВС0}}$ — тестланадиган ИМСнинг ташқи уланишлари сони;

$N_{\text{КС0}}$ — тестланадиган ИМСнинг ички уланишлари сони;

$N_{\text{К0}}$ — битта кристаллга корпусларнинг ўртачаланган сони;

$S_{\text{П0}}$ — кристаллнинг ўртача актив майдони;

$\lambda_{\text{ВС1}}$ — битта ички қаршиликка келтирилган ташқи уланишларнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{КС1}}$ — битта ички қаршиликка келтирилган ички уланишларнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{К1}}$ — битта ИМС корпусига келтирилган корпуснинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{П1}}$ — кристалл сиртининг бирлигига келтирилган кристаллнинг рад этишлари интенсивлиги

Иккинчи ёндашишда ИМСнинг ишончилигини башоратлаш ИМСнинг ишончилиги ИМС топологиясининг геометрик ўлчамлари, назорат қилиш режими, ҳарорат, шунингдек бошқа ишлатиш шароитларига боғлиқлигига

асосланади. Бу ҳолда МДЯЎ-технология асосидаги ИМСнинг рад этишлар интенсивлигининг ишончилигини башоратлаш учун қуйидаги тарзда аниқланади:

$$\lambda_{\text{ИМС}} = (\lambda_{\text{ОК}} S_{\text{МЕТ}} + \lambda_{\text{КР.КР}} \alpha_{\text{ЭЦ}}) \alpha_{\text{T}} \alpha_{\text{И}} + (\lambda_{\text{В}} N_{\text{В}} + \lambda_{\text{МЕТ}} S_{\text{МЕТ}}) \alpha_{\text{ЭЦ}} \alpha_{\text{T}} \alpha_{\text{И}} + \lambda_{\text{ДИФ}} N_{\text{ДИФ}} + \lambda_{\text{КР}} \alpha_{\text{ЭЦ}} \chi + \lambda_{\text{П.ДФ}} S_{\text{КР}} + \lambda_{\text{СТР}} S_{\text{КР}} \alpha_{\text{П}}, \quad (2)$$

бу ерда $\lambda_{\text{ОК}}$ – металлштириш остидаги оксид қатламнинг нуқсонига боғлиқ бўлган ИМСнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{КР.КР}}$ – кристаллнинг корпусга сифатсиз маҳкамланишига боғлиқ бўлган ИМСнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{В}}$ – контакт майдончалар билан кавшарлаш боғланишларининг рад этишларига боғлиқ бўлган ИМСнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{МЕТ}}$ – металлштириш нуқсонларига боғлиқ бўлган ИМСнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{ДИФ}}$ – диффузия жараёнининг нуқсонларига боғлиқ бўлган ИМСнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{КР}}$ – корпуснинг ичида ташқи уланишларга боғлиқ бўлган ИМСнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{П.ДФ}}$ – сирт нуқсонларига боғлиқ бўлган ИМСнинг рад этишлари интенсивлиги;

$\lambda_{\text{СТР}}$ – тузилмавий нуқсонлар ва кристаллга уланишга боғлиқ бўлган ИМСнинг рад этишлари интенсивлиги;

$S_{\text{МЕТ}}$ – металлштириш майдони;

$S_{\text{КР}}$ – кристаллнинг майдони;

$N_{\text{В}}$ – кавшарлаш боғланишларининг сони;

$N_{\text{ДИФ}}$ – диффузия поғоналарининг сони;

χ – актив элементлар ва металлштиришнинг ҳақиқий майдонини 0,645 сонга нисбати;

$\alpha_{\text{И}}$ – ИМСни қабул қилиш-топшириш синовларининг катъийлигини ҳисобга оладиган коэффициент;

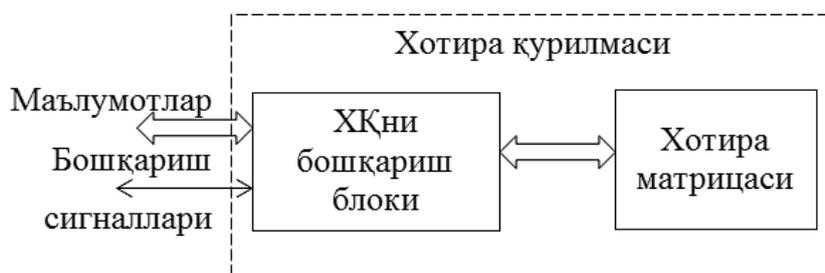
α_{T} – микросхемани ишлатиш ҳарорат бўйича режимини ҳисобга оладиган коэффициент;

$\alpha_{\text{ЭЦ}}$ – бошқа ишлатиш шароитларини ҳисобга оладиган коэффициент.

Хотира қурилмаси РТТ микроконтроллерли бошқариш тизимларининг таркибига кирадиган асосий элементлардан бир эканлиги кўрсатилган. ХҚ хотира матрицасидан (ХМ) ташкил топган бўлиб, у хотира ячейкалари, маълумотларнинг бир бирлигини (1 битни) сақлайдиган ХҚ элементлари ва ХҚни бошқариш электроникасини ўз ичига оладиган бошқариш блокдан (ББ) ташкил топган (1- расм). Агар 1- расмдаги ташкил этувчилардан исталганининг рад этиши бутун ХҚнинг рад этишига олиб келади деб олинса, у ҳолда ХҚнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги қуйидагича бўлади:

$$P_{\text{ХК}}(t) = P_{\text{ББ}}(t)P_{\text{ХМ}}(t), \quad (3)$$

бу ерда $P_{\text{ББ}}(t)$ – ХК бошқариш блокининг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги;
 $P_{\text{ХМ}}(t)$ – ХК хотира матрицасининг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги.



1- расм. ХКнинг умумлаштирилган тузилиш схемаси

Заҳираланмаган ХК бўлганда ХКнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги қуйидаги нисбатдан аниқланиши мумкин:

$$P_{\text{Зу}}(t) = \prod_{i=1}^{n_m} p_i^{n_k}(t), \quad (4)$$

бу ерда n_m – ХКдаги элементлар, тугунлар ва блоklar турларининг сони;
 n_k – битта турдаги ХК элементлари, тугунлари ва блоklarининг сони;
 $p_i(t)$ – i -элемент, тугун ва блокнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги.

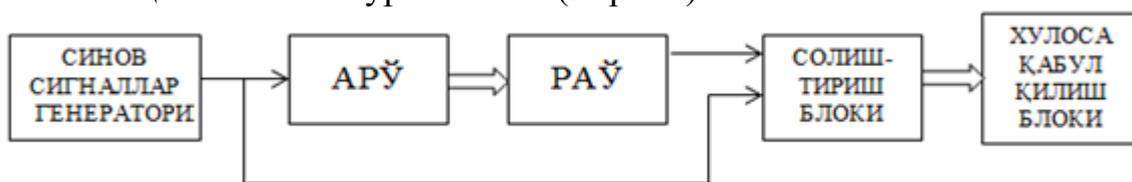
Тузатувчи кодлардан фойдаланиладиган ХКнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги қуйидаги тарзда аниқланади:

$$P_{\text{ХК}}(t) = P_{\text{ББ}}(t) \sum_{j=1}^{n_\omega} \omega_j \left\{ \sum_{i=0}^{l_k} C_{n_{\text{ХК}}}^i P_{\text{ХМ}_j}^{n_{\text{ХК}}-1}(t) [1 - P_{\text{ХМ}_j}(t)]^i \right\}^{\frac{N_{\text{ХК}}}{N_j}}, \quad (5)$$

бу ерда ω_j – умумий рад этишлар сонида j - турнинг рад этишлари улуши;
 n_ω – рад этишлар турларининг сони;
 l_k – код тузатадиган хатоликларнинг разрядлилиги;
 $N_{\text{ХК}}$ – ХКда сақланадиган сўзлар сони;
 N_j – j - тур рад этганда бузилган манзиллар сони;
 $n_{\text{ХК}}$ – ХКда сақланадиган сўзларнинг разрядлилиги;
 $P_{\text{ХМ}_j}(t)$ – ХМнинг j - турнинг рад этишларига нисбатан рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги;
 $C_{n_{\text{ХК}}}^i$ – i бўйича $n_{\text{ХК}}$ разрядлардан бирикмалар сони.

РТТ РАЎни диагностика қилиш кўриб чиқилган ва РАЎ унинг вазифаси, қўлланиши жойи, ишлаш шароитлари ва бошқалар орқали аниқланадиган турли кўрсаткичлар ва параметрларнинг катта сонига эгаллиги аниқланган.

РАЎни диагностика қилишнинг энг яхши усули синов сигналларининг қўлланиши ҳисобланиши ўрнатилган (2- расм).



2- расм. Синув сигналлари ёрдамида РАЎни диагностика қилиш

Ишлаб чиқиш босқичида РАЎни диагностика қилиш бўйича метрика сифатида $PSNR$ (Peak Signal-to-Noise Ratio) сигнални шовқинга максимум нисбати кўрсаткичидан фойдаланиш таклиф этилади. $PSNR$ сигналнинг бўлиши мумкин максимуми ва сигналнинг қийматини бузадиган шовқиннинг қувватига нисбати ҳисобланади:

$$PSNR = 10 \lg \frac{n \cdot \max_i |P_i|}{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}, \quad (6)$$

бу ерда P_i – дастлабки (биринчи) сигнал;

Q_i – қайта тикланган (иккинчи) сигнал;

n – $PSNR$ нисбатни ҳисоблаш учун олинган қийматлар сони;

$\max_i |P_i|$ – дастлабки (биринчи) сигналнинг берилган ораликдаги максимал (модуль бўйича) қиймати.

Ишлаш ишончилигини характерлайдиган кўп сонли кўрсаткичларга эга бўлган РТТ аналог-рақамли ўзгартиргичларининг ишончилигини баҳолаш усуллари кўриб чиқилган. АРЎнинг информатив параметрлари таҳлили бажарилган ва АРЎнинг ишончилигини информатив параметрлар бўйича баҳолаш алгоритми таклиф этилган.

РТТ АРЎнинг ишончилиги бўйича энг катта маълумотларни қуйидаги информатив параметрлар бўйича олиш мумкинлиги ўрнатилган: интеграл нозизиқлилиқ (INL); дифференциал нозизиқлилиқ (DNL); ўзгартириш коэффицентининг хатолиги; сигнал/шовқин нисбати (SNR).

АРЎнинг ишончилигини баҳолашнинг йиғиндиси гармоникалар коэффицентини кириш сигналнинг частотасига, АРЎнинг сигнал/(шовқин+ҳалақит) нисбатини кириш сигналнинг амплитудаси ва частотасига боғлиқликларини олиш билан экспериментал олиш мумкинлиги аниқланган

Учинчи «Рад этишларни аниқлаш усуллари ишлаб чиқиш ва мураккаб радиотехник тизимларнинг ишончилигини ҳисоблаш» бобида мураккаб РТТни тавсифлаш концепцияси ва бўлиш усуллари ифодаланган, рақамли РТТларнинг рад этишлари ва узилишларини аниқлаш усуллари келтирилган, МКБТ ва дастурий таъминот комплексининг ишончилигини ҳисоблаш услуги, мобил алоқа тизимининг ишончилигини ҳисоблаш услуги ишлаб чиқилган.

Интеграл микросхемалар функционал имкониятлари, интеграцияси даражаси, мураккаблигининг ортиши янги синфдаги РТТ – мураккаб

РТТларнинг вужудга келганлиги кўрсатилган, улар қуйидаги ташкил элтувчилардан иборат: ўзаро боғланган элементлар, тизимлар ва нимтизимлар. Мураккаб радиотехник тизимни тавсифлаш концепцияси ифодаланган:

1) Қаралаётган мураккаб радиотехник тизим мураккаб тизимнинг нимтизимлари дейиладиган чекли қисмлар сонига бўлиниши мумкин. Ҳар бир нимтизим янада кичик нимтизимларнинг чекли сонига бўлиниши ва ҳ.к. мураккаб тизимнинг элементлари дейиладиган қисмларгача натижавий чекли қадамлар сонини олишгача бўлиш мумкин, уларга нисбатан бу масаланинг шартларида улар кейинги қисмларга бўлинмайди деган келишиш мавжуд.

2) Мураккаб тизимнинг элементлари бир-бирларидан ажралмаган ҳолда, балки умумий ҳолда бирининг хоссаси бошқа элементларнинг ўзини тутиши орқали аниқланадиган шароитларга боғлиқ бўладиган ўзаро таъсирлашишда ишлайди

3) Радиотехник тизимларнинг хоссалари умуман олганда нафақат элементларнинг хоссалари орқали, балки элементлар орасидаги ўзаро таъсирлашиш характери орқали аниқланади.

Мураккаб РТТни «пастдан – юқорига» оддий элементдан мураккаб тизимга ва «юқоридан – пастга» мураккаб тизимдан оддий элементга бўлиш усуллари таклиф этилган.

Рақамли РТТларда (РРТда) микроконтроллерли тизимларнинг (МКТ) кенг жорий этилиши диагностика қилиш жараёнини автоматлаштиришга ва кенг функционал имкониятларга эга бўлган диагностика қилиш қурилмасини яратишга имкон беради (3- расм).



3- расм. Диагностика ва назорат қилиш МКТнинг тузилиш схемаси:
МКТ (ва ДТ) – дастурий таъминотли микроконтроллерли тизим;
ТБ1...ТБn - 1...n- тестланувчи блоklar

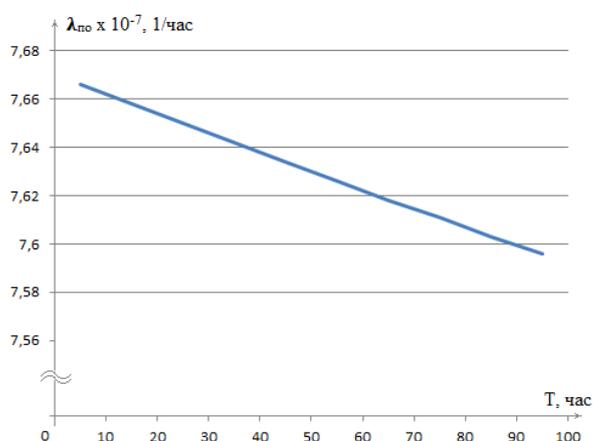
МКТда яна РРТ блоklarида махсус тарзда сиқилган тўлиқ тестлаш маълумотларини таҳлил қилиш асосида РРТ блоklarининг яроқлилигини текшириш усули ҳисобланадиган компакт тестлаш воситалари орқали ўтказишга имкон берадиган алгоритмлар ишлатилиши мумкин.

РТТ рақамли блоklarи микрохемаларининг чиқишларидаги ностабил сигнатуралар сонини сигнатурали таҳлил қилиш (СТҚ), бирларни санаш (БС), мантиқий ўтишларни санаш (МЎС) усуллари асосида ва барча учта усуллардан СТҚ - БС - МЎС биргаликда фойдаланишда аниқлаш бўйича экспериментлар ўтказилган. Олинган натижаларини талқин этишга боғлиқ бўлган ўлчаш ва назорат қилиш вақти сезиларсиз ортишида назорат қилишнинг аниқлилиги нуқтаи назаридан РРТ рақамли блоklarини назорат

қилиш учун СТҚ, БС ва МЎТ усулларидан биргаликда фойдаланиш энг самарали эканлиги экспериментал йўл билан ўрнатилган.

Замонавий микроконтроллерли бошқариш тизимларининг ишлаш ишончилигини баҳолашда дастурий таъминотнинг ишончилигига ҳам эътибор бериш зарурлиги исботланган.

ДТдаги рад этишлар ва узилишлар бўйича мавжуд статистик маълумотлар асосида МКБТ ДТнинг ишончилигини баҳолашга имкон берадиган алгоритм ва дастурий таъминот ишлаб чиқилган. Ишлаб чиқилган услуб ва ўтказилган ҳисоблаш экспериментлари асосида ДТни тестлаш вақтининг ортиши билан ДТнинг рад этишлар интенсивлиги камайиши исботланган (4- расм). Бу вақт ўтиши билан кўп сонли хатоликлар аниқланиши, яъни уларнинг дастурдаги сонини камайишига боғлиқ, бу ДТнинг ишлаш ишончилигини ортишига олиб келади.



4- расм. ДТнинг рад этишлар интенсивлиги вақтга боғлиқлиги

МКБТ аппаратлар қисмининг рад этишлари ва ДТнинг рад этишларининг вужудга келиши бир-бирларига боғлиқ бўлмаганда ва ташкил этувчилардан исталганининг рад этиши бутун интенсивлиги МКБТ-ДТ тизимининг рад этишига олиб келишида ишончилик бўйича мантиқий боғланиш схемаси 5-расмдаги кўринишга эга бўлади.

5- расмдаги вазият учун МКБТ-ДТ комплексининг бузилмасдан ишлаш эҳтимоллиги куйидаги тарзда аниқланади.

$$P_{\text{МКБТ-ДТ}}(t) = P_{\text{Ап}}(t) \cdot P_{\text{ДТ}}(t). \quad (7)$$

МКБТ ва ДТдаги рад этишлар турли тақсимот қонунларига бўйсунishi мумкинлиги ўрнатилган. МКБТ ва ДТдаги рад этишлар ўз қонунлари бўйича тақсимланганда МКБТ-ДТ комплексининг рад этишлари йиғиндисинг тақсимотини аниқлаш учун иккита тақсимот қонунларини композициялашни амалга ошириш зарур:

$$g(y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x_1)f_2(x_2)dx_1dx_2 =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x_1)f_2(y - x_1)dx_1 = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y - x_2)f_2(x_2)dx_2, \quad (8)$$

бу ерда $f_1(x_1)$ – МКБТда рад этишларнинг тақсимоти функцияси;
 $f_2(x_2)$ – ДТдаги рад этишларнинг тақсимоти функцияси.



5- расм. МКБТ-ДТ комплексининг ишончилиги бўйича мантиқий боғланиш схемаси: $P_{АП}(t), \lambda_{АП}(t)$ – МКБТ аппаратлар қисмининг бузилмасдан ишлаш эҳтимоллиги ва рад этишлари интенсивлиги; $P_{ДТ}(t), \lambda_{ДТ}(t)$ – МКБТ ДТнинг бузилмасдан ишлаш эҳтимоллиги ва рад этишлари интенсивлиги

МКБТ-ДТ комплексининг рад этишлари йиғиндисининг тақсимоти қонунини аниқлашнинг айрим хусусий ҳоллари келтирилган.

GSM-900 стандарти мобил алоқа тизимининг ишончилигини ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилган. Мобил алоқа тизимининг ишончилигини ҳисоблаш учун аналитик ифодаларни чиқаришда қуйидагилар қабул қилинган:

- 1) мобил алоқа тизими нормал ишлатиш даврида ишлайди;
- 2) мобил алоқа тизимидаги рад этишлар ва узилишлар экспоненциал тақсимот қонунига бўйсунди;
- 3) мобил алоқа тизимининг ташкил этувчиларидан исталганининг рад этиши бутун тизимнинг рад этишига олиб келади;
- 4) ишончилигини ҳисоблаш учун аналитик ифодалар GSM-900 стандарти мобил алоқа тизими учун келтирилади.

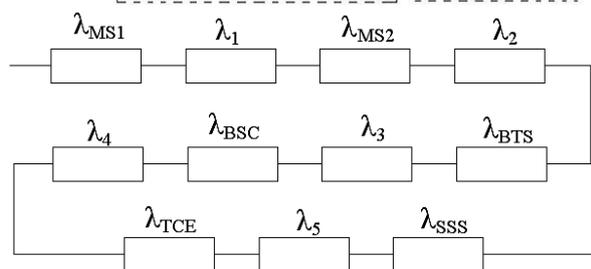
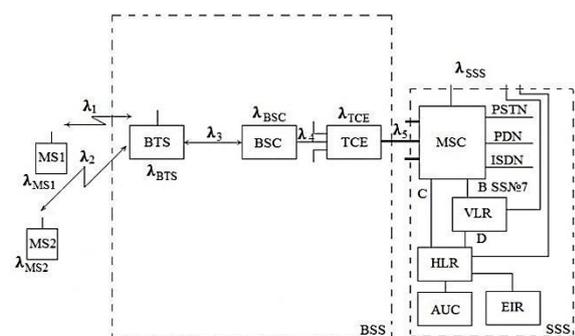
Иккита хусусий ҳоллар кўриб чиқилган:

- тармоқнинг иккита абонентларига битта базавий станция орқали хизмат кўрсатилади;
- тармоқнинг иккита абонентларига битта BSC контроллери зонасидаги битта операторнинг иккита базавий станциялари орқали хизмат кўрсатилади.

Ишончилиқни ҳисоблаш учун мобил алоқа тизимининг тузилмаси, бу мобил алоқа тармоғининг ташкил этувчиларининг ишончилиқ бўйича тузилмавий-мантиқий боғланиш схемаси ва бу иккита ҳоллар учун аналитик ифодалар ишлаб чиқилган (6- расм).

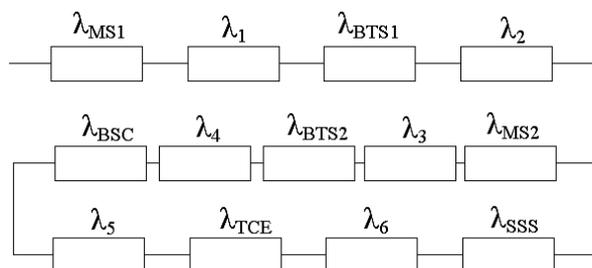
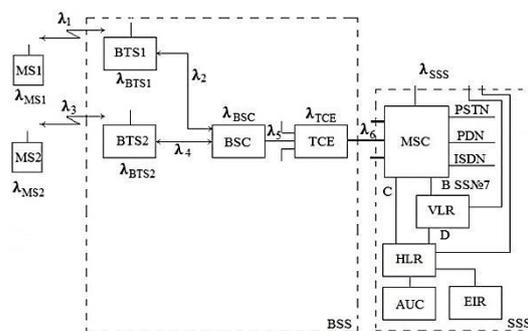
Қуйидаги белгилашлар қабул қилинган:

- $\lambda_{MS1}, \lambda_{MS2}$ – мобил станцияларнинг рад этишлари интенсивлиги;
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$ - алоқа линияларининг рад этишлари интенсивлиги (ишлатиладиган алоқа линиялари – радиолиния, кабелли, радиорелели, оптик ва бошқа линияларининг турига боғлиқ);
- $\lambda_{BTS}, \lambda_{BTS1}, \lambda_{BTS2}$ – базавий станциянинг рад этишлари интенсивлиги;
- λ_{BSC} – базавий станция контроллерининг рад этишлари интенсивлиги;
- λ_{TCE} – трансдернинг рад этишлари интенсивлиги;
- λ_{SSS} - коммутациялаш нимтизимининг рад этишлари интенсивлиги.



$$\lambda_{1-ymym} = \lambda_{MS1} + \lambda_2 + \lambda_{MS2} + \lambda_1 + \lambda_{BTS} + \lambda_3 + \lambda_{BSC} + \lambda_4 + \lambda_{TCE} + \lambda_5 + \lambda_{SSS} \quad (9)$$

а)



$$\lambda_{2-ymym} = \lambda_{MS1} + \lambda_1 + \lambda_{BTS1} + \lambda_2 + \lambda_{MS2} + \lambda_3 + \lambda_{BTS2} + \lambda_4 + \lambda_{BSC} + \lambda_5 + \lambda_{TCE} + \lambda_6 + \lambda_{SSS} \quad (10)$$

б)

6- расм. GSM-900 стандарти мобил алоқа тизимининг тузилиш схемалари, ишончлилик бўйича боғланиш ва қуйидаги ҳоллар учун аналитик ифодалар: а) тармоқнинг иккита абонентларига битта базавий станция орқали хизмат кўрсатилади; б) тармоқнинг иккита абонентларига битта BSC контроллери зонасидаги битта операторнинг иккита базавий станциялари орқали хизмат кўрсатилади

Мобил алоқа тизимининг ишончлилиги бўйича максимал маълумотларга эга бўлган параметрлар аниқланган. Алгоритм асосида мобил алоқа тизимининг ишончлилигини ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилган.

Тўртинчи «**Оптик толали алоқа линияларини ишончлилигини ошириш ва диагностика қилиш усуллари ишлаб чиқиш**» боби оптик толали алоқа линияларини (ОТАЛ) диагностика ва назорат қилиш усуллари, ОТАЛнинг ишончлилигини ошириш усули, мобил алоқа тизимининг ОТАЛ элементларини диагностика қилиш услубини ишлаб чиқишга бағишланган.

Оптик толали кабелга таъсир этиш бўйича омиллар иккита синфларга – атроф-муҳит таъсирига ва инсон фаолиятига боғлиқ омилларга бўлиниши аниқланган.

Бу омилларнинг ўзаро алоқаси ва уларнинг ОТКга таъсири оқибатлари келтирилган ҳамда толанинг макробукилиш ва микробукилиши, яшин зарбига, сув ва намликка, водород ва радиацияга физик ёки кимёвий реакция толадаги сигналнинг сўнишини ортишига олиб келиши ўрнатилган. Толанинг қолдиқ деформацияси пухталиқнинг камайишига, толанинг динамик деформацияси эса толанинг узилишига олиб келади. ОТАЛни диагностика қилишнинг айрим асосий усуллари кўриб чиқилган.

Каналлар спектрал зичлаштириладиган магистрал юқори тезликли оптик толали узатиш тизимларида (ОТУТ) оптик югурма тўлқин кучайтиргичларидан (ЮТК) фойдаланиш гуруҳли оптик сигналнинг спектрал характеристикасини бузилишига олиб келиши, улар кўп каррали кучайтиришдан кейин кучайтириладиган спектрнинг четларида бўлган гуруҳли сигнал ташкил этувчиларини тўлиқ ёки қисман йўқотилишига олиб келиши ўрнатилган. Ҳар бир югурма тўлқин кучайтиргичининг ўтиш характеристикасини чизиклаштириш бу бузилишларни камайтиришга имкон бериши исботланган.

ОТУТнинг ўтиш спектрал характеристикаларини чизиклаштиришга имкон берадиган оптик толали маълумотларни узатиш тизимларининг спектрал характеристикаларини диагностика қилиш ва оптималлаш учун қурилма ишлаш чиқилган ва оптик югурма тўлқин кучайтиргичлари ва акустик-оптик қайта созланадиган филтрларнинг биргаликда қўлланиши оптик спектрал зичлаштиришли ОТАЛда ўтиш спектрал характеристикасининг контурини чизиклаштириш учун самарали эканлиги экспериментал исботланган. Чизиклаштиришдаги ўртача ютуқ 1,8 - 2,0 дБни ташкил этади. Бу регенерацион ораликнинг узунлигини оширишга имкон беради ва умумий ҳолда ОТАЛнинг ишончлилигини оширишга олиб келади.

Активлаштирилган оптик толаларни тайёрлаш усули таклиф этилган ва юқори тезликли ОТУТларда модификацияланган оптик толаларнинг қўлланиши оптик кабелнинг спектрал самарадорлиги ва ўтказиш қобилиятини ошириш ҳисобига сигналнинг чизикли шаклини битта сатҳда сақлашга имкон бериши, бу оралик кучайтиргичлар қўлланмасдан масофани 100 кмгача оширишини таъминлаши исботланган. Юқори тезликли ОТУТларда қисқа-масофали оптик кучайтиргичлардан фойдаланиш оптик сигналнинг қувватини шовқин нисбати қийматини 3 дБга (икки мартага) ошириши, бу регенерацион пунктларнинг оралик масофасини 30%га оширишга ва регенерацион қурилмалар сонини 1,5 мартага камайтиришга, бу билан қиммат турадиган регенерацион қурилмалар сонини қисқартиришга имкон бериши исботланган.

200 км узунликдаги стандарт ОТАЛ оралиғида фақат ОТК ва хизмат кўрсатилмайдиган регенерацион пунктлар (ХКРП) бўладиган вазиятлар учун ишончлилик кўрсаткичлари ютуқларини баҳолаш бажарилган (7- расм).

ОТАЛ оралиғи нормал ишлаш даврида ишлаши, ташкил этувчиларнинг рад этишлари интенсивлиги доимий, ОТК ва ХКРПдагирад этишлар қуйидаги экспоненциал қонунга бўйсунуши қабул қилинган:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (11)$$

ОТАЛ оралиғининг рад этишлари интенсивлиги қуйидаги нисбат орқали аниқланади:

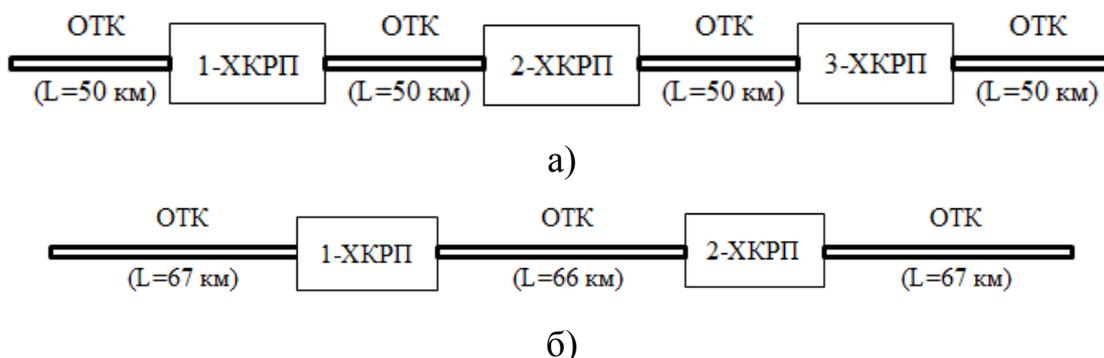
$$\lambda_{\text{общ}} = L \cdot \lambda_{\text{отк}} + n_{\text{ХКРП}} \cdot \lambda_{\text{ХКРП}}, \quad (12)$$

бу ерда L – оптик толали кабелнинг узунлиги;

$\lambda_{\text{ОТК}}$ – оптик толали кабелнинг рад этишлари интенсивлиги;

$n_{\text{ХКРП}}$ – ХКРПлар сони;

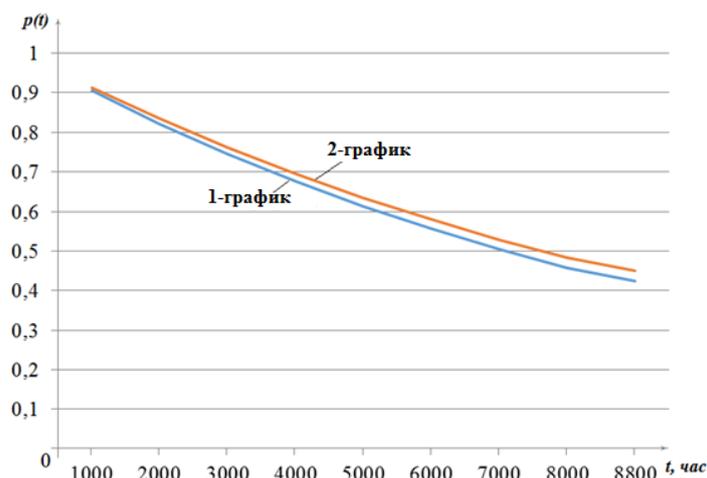
$\lambda_{\text{ХКРП}}$ – ХКРПларнинг рад этишлари интенсивлиги.



7- расм. 200 км узунликдаги ОТАЛ оралиғи: а) стандарт; б) қисқа-масофали оптик кучайтиргичлар ва модификацияланган оптик толалардан фойдаланиладиган

Бажарилган ҳисоблашлар натижасида қисқа-масофали оптик кучайтиргичлар ва модификацияланган оптик толаларнинг қўлланиши тенг шароитларда ОТАЛ оралиғининг узунлигига боғлиқ равишда қуйидагиларни таъминлаши аниқланган (9- расм):

- рад этишсиз бузилмасдан ўртача ишлаш вақтини 7-8%га оширади;
- ОТАЛ оралиғининг бузилмасдан ишлаш эҳтимоллигини йилига ўртача 2,5-3%га оширишга имкон беради.



9- расм. ОТАЛ оралиғининг бузилмасдан ишлаш эҳтимоллиги:
1-график – стандарт ОТАЛ оралиғининг бузилмасдан ишлаш эҳтимоллиги;
2-график – модификацияланган оптик кабелли ОТАЛ оралиғининг бузилмасдан ишлаш эҳтимоллиги

Ҳозирги вақтда сотали алоқа тармоқларида ҳам интерфейслараро, ҳам блоклараро ва модуллараро боғланишларда ОТАЛнинг кенг қўлланиши ўрнатилган (10,а- расм).

Мобил алоқа тизимларининг ОТАЛларида ихчам оптик қабул қилгичлар-узаткичлар ҳисобланадиган оптик толали кабеллар ва SFP модуллар энг кўп қўлланиши аниқланган (10,б- расм). Замонавий SFP модуллари реал вақт режимида кучланиш, модулнинг ҳарорати, силжитиш токи ва лазернинг қуввати (TX), қабул қилинадиган сигналнинг сатҳи (RX) каби параметрларни назорат қилишга имкон берадиган ўрнатилган DDM (Digital Diagnostics Monitoring) тизимига эга.



SFP модуль

оптик тола

а)



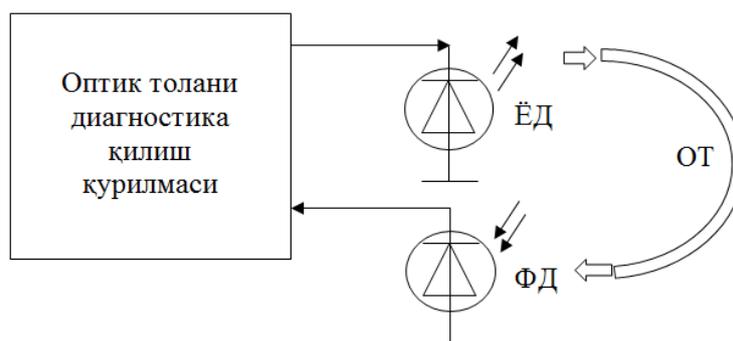
б)

10-расм. ОТАЛли мобил алоқа қурилмаларига мисол

Оптик толани бирламчи диагностика қилиш учун қуйидаги кўрсаткичлар энг муҳим ва етарли ҳисобланади:

- оптик толанинг яхлитлиги;
- оптик толадаги нурланишнинг йўқотилиши (сўнишлар).

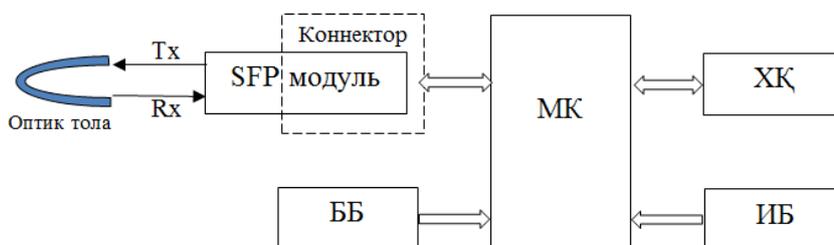
Оптик толани тестлаш ва диагностика қилиш услуби таклиф этилган (11- расм).



11- расм. Оптик толани диагностика қилиш услуби: ЁД – ёруғлик диоди; ФД – фотодиод; ОТ – оптик тола

Оптик толани диагностика қилиш қурилмасида (ОТДҚҚ) шакллантирилган зарур хоссаларга эга бўлган оптик сигнал ЁД ёруғлик диодининг чиқишидан оптик толага берилади. Оптик тола чиқишидан оптик сигнал ФД фотодиодга ва кейин ОТДҚҚга берилади, бу ерда унга ишлов бериш амалга оширилади. Ишлов бериш натижалари бўйича оптик толанинг кейинги ишлатилиши бўйича қарор қабул қилинади.

Таҳлил қилиш асосида ўрнатилдики, ОТАЛ элементларини ишончлилик бўйича таклиф этилган диагностика қилиш услуги учун қабул қилнадиган сигналнинг сатҳи (Rx) ва узаткичнинг (лазернинг) қувватини (Tx) билиш етарли бўлади. Бу параметрларнинг қийматларидан фойдаланиш билан SFP модулни ишлаш қобилияти ва оптик толали кабелнинг яхлитлигини диагностика қилишни ўтказиш мумкин. SFP модуль ва оптик толали кабелни диагностика қилиш қурилмасининг тузилиш схемаси ишлаб чиқилган (12- расм).



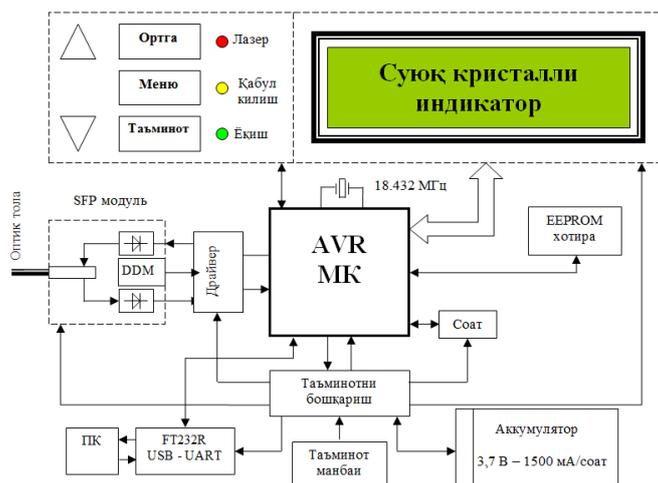
12- расм. ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасининг тузилиш схемаси

Қурилма МК микроконтроллер, ББ бошқариш блоки, ИБ индикациялаш блоки, ХҚ хотира қурилмаси, алмаштириладиган SFP модулли коннектордан ташкил топган. Бошқариш блоки ишлаш режимини ўрнатиш ва умуман бутун қурилмани бошқариш учун мўлжалланган. ИБ индикациялаш блокида индикациялаш, яъни бутун жорий визуал маълумотларни чиқариш бўлиб ўтади. ХҚ хотира қурилмасида қурилманинг ишлаши ва маълумотларга ишлов бериш дастури сақланади. Дастурланган дастурий таъминотли МК микроконтроллер умуман бутун қурилмани бошқаради.

Бешинчи «**Мобил алоқа тизимларининг ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасини ишлаб чиқиш**» бобида мобил алоқа тизимларининг ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасини яратиш бажарилган ва ишлаб чиқилган услуб бўйича экспериментлар ўтказилган.

ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасининг функционал схемаси ишлаб чиқилган (13- расм).

Асосий функционал ролни микроконтроллер (МК) бажаради, у яна бутун схеманинг асосий бошқарувчи элемент ҳисобланади. Қурилма вазифаси МК оптик толадан оладиган оптик тола ва SFP модулни тестлаш маълумотларига боғлиқ бўлган барча зарур маълумотларни акс эттириш бўлган суюқ кристалли индикаторни ўз ичига олади. Қўшимча равишда соатлар блоки ва ташқи энергияга боғлиқ бўлган EEPROM хотира мавжуд. Персонал компьютер (ПК) ва қурилма орасидаги алоқа махсус интеграл микросхема, USB-USART маълумотларни узатиш протоколи ўзгартиргичи ёрдамида амалга оширилади.



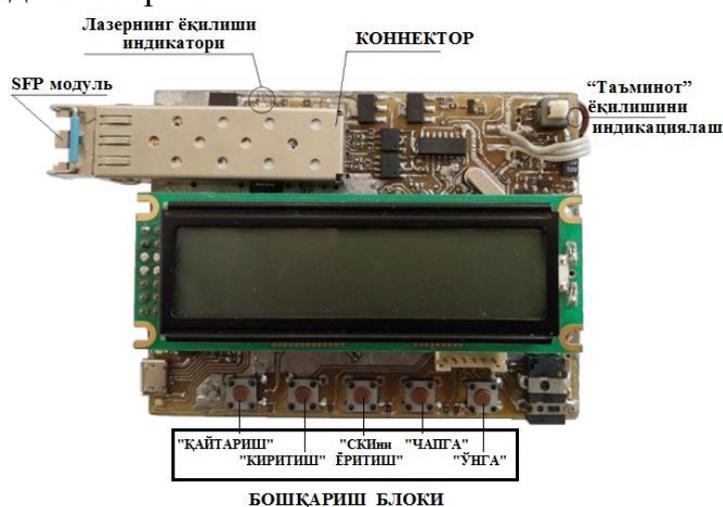
13- расм. ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасининг функционал схемаси

Диагностика қилиш қурилмасида автономлик ва мобилликни таъминлаш учун таъминот манбаи сифатида аккумуляторлар батареяси ишлатилади.

Ишлаб чиқилган қурилма бобида мобил алоқа тизимларининг ОТАЛларини қуриш ва ишлатиш босқичларида қуйидаги диагностика қилиш ишларини бажаришга имкон беради:

- оптик толанинг яхлитлигини текшириш;
- SFP модулда DDM тизимининг мавжудлигини текшириш;
- SFP модулнинг ишлаш қобилиятини текшириш;
- узаткичнинг (лазернинг) чиқишидаги сигнал сатҳини (Tx) аниқлаш;
- қабул қилинган сигнал сатҳини (Rx) аниқлаш.

Элементлар танланган ва ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасининг принципаал схемаси ишлаб чиқилган. Қурилманинг ташқи кўриниши 14- расмда келтирилган.



14- расм. ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасининг ташқи кўриниши

ОТАЛ элементларини диагностика қилишни ўтказиш, хусусан, оптик толанинг яхлитлиги ва SFP модулнинг ишлаш қобилиятини текшириш

услуги ишлаб чиқилган ва тавсифланган. Экспериментларнинг ўтказилишида иккита LC портларга эга бўлган бир модалли трансивер ҳисобланадиган Huawei MXPД-033S 155m-1310nm-15km-SM-ESFP SFP модуль ва учларида LC коннекторларли, 9/125 мкм ўлчамли 3 метр узунликдаги оптик кабелли 1310 нм тўлқин узунлигига бир модалли оптик толадан фойдаланилган. Оптик тола ITU-T Rec.G.652 халқаро стандартига мос келади. Толадаги йўқотишлар 0,4 дБ/кмдан ошмайди.

Ишлаб чиқилган қурилма ёрдамида мобил алоқа тизими блокларида ишлатиладиган оптик толанинг яхлитлиги ва айрим SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини текшириш ўтказилган .

Ўтказилган экспериментлар натижалари кўрсатдики, ишлаб чиқилган қурилма ёрдамида SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини ва оптик толанинг яхлитлигини етарлича аниқликда диагностика қилишни бажариш мумкин. Ўтказилган синовлар кўрсатдики, ишлаб чиқилган қурилма диагностика қилиш вақтини ўртача 10-20%га қисқартиришга имкон беради.

ХУЛОСА

1. Ишлаб чиқишда юқори интеграция даражасили замонавий ИМСларнинг талаб қилинадиган ишончлилик кўрсаткичларини таъминлаш бўйича энг муҳим босқичлардан бири ИМСнинг ишончлилигини башоратлаш ҳисобланиши, у қандайдир башоратлаш вақти даврида ишончлилик кўрсаткичларини аниқлашдан иборатлиги асосланган. Ишлаб чиқишда ИМСнинг ишончлилигини башоратлаш алгоритми келтирилган. Таклиф этилган ИМСнинг ишончлилигини ҳисоблаш ва башоратлаш усуллари микросхеманинг ишончлилигини юқори тўғрилиқда аниқлашга имкон беради.

2. Заҳираланган, заҳираланмаган ХҚнинг ишончлилигини ҳисоблаш учун ифодалар аниқланган ва заҳиралаш рад этишлар сонини камайтириши ҳамда ХҚнинг ишончлилигини оширишга имкон бериши аниқланган. ХҚ микросхемаларини тестлаш қурилмаси ишлаб чиқилган ва ХҚ микросхемаларини диагностика қилиш тизимининг ишлаш алгоритми келтирилган. Қурилма РТТда қўлланадиган ОХҚ, ДХҚ ва флеш-хотира микросхемаларини тестлашга имкон беради.

3. РАЎни диагностика қилиш услуги ишлаб чиқилган, бу ерда РАЎни диагностика қилиш ва асосида ишлаб чиқиш босқичида РАЎнинг ишлаши тўғрилиги ва ишлаш қобилияти ҳақида хулоса қилиш мумкин бўлган диагностика бўйича унча катта бўлмаган маълумотларни ташийдиган метрика сифатида PSNR сигнални шовқинга максимум нисбати кўрсаткичидан фойдаланилган. РАЎни диагностика қилишнинг дастурий таъминоти ишлаб чиқилган, у РТТда ишлатиладиган РАЎларни таҳлил қилиш ва ишлаб чиқиш учун хизмат қилади

4. Мураккаб РТТни тавсифлаш концепцияси шакллантирилган, мураккаб РТТни «пастдан-юқорига, оддий элементдан мураккаб тизимгача ва

«юқоридан-пастга, мураккаб тизимдан оддий элементгача бўлиши усуллари ишлаб чиқилган.

5. Турли қонунлар бўйича тақсимланган МКБТ ва ДТнинг рад этишлари йиғиндисининг тақсимоти қонунини топиш учун иккита тақсимот қонунларини композициялашни ўтказишнинг зарурлиги исботланган. МКБТ ва ДТдаги рад этишлари тақсимоти қонунларини турли бирикмаларида МКБТ – ДТ комплексининг умумий рад этмасдан ишлашини баҳолашга имкон берадиган аналитик ифодалар чиқарилган. ДТнинг ишончилигини ҳисоблаш услуги такомиллаштирилган ва дастурий таъминотдаги рад этишлар ва узилишлар бўйича мавжуд статистик маълумотлар асосида РТТ МКБТ ДТнинг ишончилигини ҳисоблашни катта ишончиликда бажаришга имкон берадиган дастурий таъминот ишлаб чиқилган.

6. Мобил алоқа тизимининг ишончилиги бўйича максимал маълумотларга эга бўлган мезонлар аниқланган ва иккита ҳоллар – тармоқнинг иккита абонентларига битта базавий станция хизмат кўрсатадиган ва тармоқнинг иккита абонентларига битта BSC контроллери зонасидаги битта операторнинг иккита базавий станциялари хизмат кўрсатадиган ҳоллар учун GSM-900 стандарти мобил алоқа тизимининг ишончилигини ҳисоблаш аналитик ифодалари ишлаб чиқилган. Бу иккита ҳоллар учун GSM-900 стандарти мобил алоқа тизимининг ишончилигини ҳисоблашнинг дастурий таъминоти ишлаб чиқилган.

7. ОТАЛнинг ишончилигини ошириш тамойиллари ва усуллари ишлаб чиқилган. Оптик ЮТЛ ва АОҚСФнинг биргаликда қўлланиши ОТАЛнинг ўтиш спектрал характеристикаларини чизиклаштиришга имкон бериши, чизиклаштиришдаги ўртача ютуқ 1,8 - 2,0 дБни ташкил этиши, бу билан регенерацион оралиқнинг узунлигини ортиши ва мос равишда ОТАЛнинг ишончилигини ортиши ўрнатилган. Модификацияланган оптик кучайтиргичларнинг қўлланилиши оптик сигналнинг қувватини шовқинга нисбати қийматини 3 дБга (икки баробарга) ошириши, ОТАЛ оралиғининг узунлиги узайтириши, бу оралиқ кучайтиргичлар ва регенерацион қурилмалар сонини қисқартириши ва ўз навбатида, бошқа тенг шароитларда, ОТАЛ оралиғининг рад этмасдан ишлаш ўртача вақтини 7-8%га ҳамда бузилмасдан ишлаш эҳтимоллигини йилига ўртача 2,5-3%га ошириши исботланган.

8. Мобил алоқа тизимларининг тугунлараро ва блоklarаро боғланишларида оптик толали кабеллар ва SFP модуллар кенг қўлланилиши аниқланган. Монтаж қилиш ва йиғиш-ишга тушириш ишларининг бажарилиши вақтида, ОТАЛни ишлатиш жараёнида оптик толанинг яхлитлиги ва SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини аниқлашга имкон берадиган ОТАЛ элементларини диагностика қилиш услуги ва қурилмаси ишлаб чиқилган, бу жуда етарли ва информатив ҳисобланади. Ишлаб чиқилган ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасининг афзаллиги дастурий таъминотни модернизация қилиш, алмаштириладиган

SFP модулларнинг мавжудлиги ҳисобига унинг функционал имкониятларини кенгайтириш имконияти, шунингдек паст нархи ҳисобланади.

9. Ишлаб чиқилган дастурий маҳсулотлар «UNICON.UZ» ДУКда, «Aloqaloyiha» ДУКда, «Узбектелеком» АК Uzmobilе филиалида жорий этилган. Натижада бу ҳисоблаш жараёни вақтини 8-10 мартага қисқартиришга имкон берди.

Ишлаб чиқилган ОТАЛ спектрал характеристикаларини оптик югурма тўлқин кучайтиргичи ва акустик-оптик қайта созланадиган филтёрнинг биргаликда қўлланиши, шунингдек модификацияланган оптик муҳитлар асосидаги оптик толали кучайтиргичларнинг самарали қўлланиши ёрдамида ОТАЛ спектрал характеристикаларини чизиклаштириш усуллари корхона оптик толали алоқа линияларини ташкил этиш жараёнига жорий этилган, ишлаб чиқилган ОТАЛ элементларини диагностика қилиш услуги ва қурилмаси «Uzneftgazaloqa» ИЧТАБ МЧЖга жорий этилган. Натижада ОТАЛ оралиғининг рад этмасдан ишлаш ўртача вақти 7-8%га ва бузилмасдан ишлаш эҳтимоллиги йилига ўртача 2,5-3%га ошди.

Ишлаб чиқилган ОТАЛ элементларини диагностика қилиш услуги ва қурилмаси «Ўзбекистон телекоммуникациялар тармоқларини бошқариш республика маркази» ДУКда, «Aloqaloyiha» ДУКда, «Узбектелеком» АК Uzmobilе филиалида жорий этилган. Натижада ОТАЛ элементлари, оптик толанинг яхлитлиги ва SFP модулларнинг ишлаш қобилиятини диагностика қилиш вақти ўртача 10-20%га қисқарди.

ОТАЛ элементларини диагностика қилиш қурилмасини жорий этилгандаги йиллик иқтисодий самара 750,0 млн.сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.28.12.2017.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ДАВРОНБЕКОВ ДИЛМУРОД АБДУЖАЛИЛОВИЧ

**ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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

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

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2019.3.DSc/T306.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

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

Научный консультант: **Назаров Абдулазиз Муминович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Бахрамов Сагдулла Абдуллаевич**
доктор физико-математических наук,
профессор, академик

Юсупбеков Азизбек Нодирбекович
доктор технических наук, профессор

Алиев Равшан Маратович
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация: **Акционерная компания «Узбектелеком»**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2019 года в ___ часов на заседании Научного совета DSc.28.12.2017.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер №____). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2019 года.

(реестр протокола рассылки №__ от «___» _____ 2019 года.)

И.Х.Сиддиков

Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Ж.Х.Джуманов

Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н.

А. Абдукаюмов

Председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире бурными темпами развиваются информационно-коммуникационные технологии. Современные системы телекоммуникации, в том числе радиотехнические системы (РТС), представляют собой сложные комплексы, так называемые сложные РТС, состоящие из большого числа взаимосвязанных элементов, блоков и устройств. Одним из требований, предъявляемых к РТС, является надежность их работы. В связи с этим разработка принципов и достоверных методов расчета, повышения и обеспечения надежности РТС и входящих в их состав элементов, является одной из актуальных и востребованных задач. В развитых странах мира, в том числе Китае, России, США, Японии, Канаде, Индии, Германии и др. важное значение имеет разработка математических моделей и аналитических выражений, вычислительных алгоритмов, создание программного обеспечения (ПО) расчета надежности, разработка методов и устройств для тестирования и диагностики элементов РТС, программного обеспечения РТС, а также самих РТС.

В мире проводятся научные исследования, направленные на разработку математических моделей, на создание вычислительных алгоритмов и программного обеспечения расчета надежности, разработку методов и устройств для тестирования и диагностики как элементов РТС, ПО микроконтроллерных систем управления (МКСУ) РТС, так и самих РТС. В этом направлении важнейшими считаются: построение математических моделей и аналитических выражений, создание вычислительных алгоритмов и программных комплексов, позволяющих рассчитать надежность элементов РТС, ПО МКСУ РТС и самих РТС с большой достоверностью. Вместе с тем является востребованной задача разработки методов и устройств по обеспечению надежности элементов РТС, ПО МКСУ РТС и самих РТС.

В Республике Узбекистан на высоком уровне были осуществлены и проводятся множество научных исследований в области разработки принципиально новых подходов по разработке принципов и методов расчета, повышения и обеспечения надежности элементов РТС, в том числе программного обеспечения, которое в настоящее время является неотъемлемой частью систем управления РТС. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены такие задачи, как «...внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, системы управления, ... стимулирование научно-исследовательской и инновационной деятельности, создание эффективных механизмов внедрения научных и инновационных достижений в практику...»¹.

¹ Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-5349 от 19 февраля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций», Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-2834 от 15 марта 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Ташкентского университета информационных технологий» 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 диссертации².

Научные исследования, направленные на создание математических моделей и аналитических выражений, вычислительных алгоритмов и программ для решения задач по расчету надежности, разработку достоверных методов прогнозирования и обеспечения надежности, устройств диагностики элементов РТС и самих РТС ведутся в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе University of Wisconsin–Madison, University of Massachusetts Dartmouth, Iowa State University (США), Beihang University, Zhejiang University, компания Huawei (Китай), Technical University of Denmark (Дания), City, University of London (Великобритания), Technische Universität Berlin (Германия), NXP Semiconductors (Нидерланды), British Columbia Institute of Technology (Канада), Amity University (Индия), Московском Государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана (МГТУ), Московском государственном университета им. М.Ломоносова (МГУ) (Российская Федерация), Белорусском Государственном университете информатики и радиоэлектроники (БГУИР) (Республика Беларусь), Евразийском Национальном университете им. Л.Н.Гумилева (ЕНУ) (Казахстан), Ташкентском университете информационных технологий им. Мухаммада аль-Хоразмий (ТУИТ) (Узбекистан).

В результате исследований, проведенных в мире по вопросам надежности получен ряд результатов: разработаны математические модели и методы расчета надежности программного обеспечения University of Wisconsin–Madison, University of Massachusetts Dartmouth, Iowa State University (США), Beihang University, Zhejiang University, компания Huawei (Китай), Technical University of Denmark (Дания), City University of London

² Обзор научных исследований по теме диссертации составлен на основании <https://www.researchgate.net>, www.elsevier.com, <https://www.nxp.com>, <http://www.bmstu.ru>, <https://www.msu.ru>, <https://www.bsuir.by>, <http://www.enu.kz> и других источников

(Великобритания), British Columbia Institute of Technology (Канада), Amity University (Индия), МГТУ им. Н.Э.Баумана, МГУ им. М.Ломоносова (Российская Федерация), ТУИТ (Узбекистан), исследованы и разработаны методы по расчету, повышению и обеспечению надежности элементов РТС, самих РТС в компании Huawei (Китай), Technische Universität Berlin (Германия), NXP Semiconductors (Нидерланды), Amity University (Индия), МГТУ, МГУ (Российская Федерация), БГУИР (Республика Беларусь), ЕНУ (Казахстан), ТУИТ (Узбекистан).

В мире для решения задач надежности элементов РТС, ПО МКСУ РТС и самих РТС проводятся исследования по следующим перспективным направлениям: получение математических моделей и вычислительных алгоритмов, усовершенствование и создание программного обеспечения, разработка методов расчета, повышения и обеспечения надежности элементов РТС, ПО МКСУ РТС и самих РТС.

Степень изученности проблемы. В настоящее время большое внимание уделяется разработке РТС с большой надежностью.

На базе теории вероятностей и математической статистики школ А.А.Свешникова, В.Н.Татубалина, Е.С.Вентцель, Б.В.Гнеденко и др. созданы достаточно обоснованные методы расчета и обеспечения надежности элементов РТС.

Вопросы достоверной оценки и обеспечения надежности элементов РТС, ПО МКСУ РТС, самих РТС на основе теории надежности, теории случайных процессов и их инженерных применений, теории массового обслуживания рассмотрены в работах Г.Майерса (Glenford J.Myers), В.В.Липаева, Г.А.Кейджяна, Б.Я.Дудника, В.В.Величко, А.М.Половко, В.Н.Дианова, И.Я.Козыря, Т.Д.Раджабова, Д.А.Абдуллаева, Т.Ф.Бекмуратова, А.М.Смоляк, И.Р.Берганова, Р.И.Исаева, М.Г.Васильевой, Р.Х.Джураева, Ш.Ю.Джаббарова и др.

Анализ исследований в этой области показывает, что в работах упомянутых авторов недостаточно исследованы вопросы комплексной оценки и обеспечения надежности элементов РТС, ПО МКСУ РТС, самих РТС, нет единой концепции описания сложных РТС.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнялась в рамках НИР №Ф-248-08 «Исследование применения поверхностно-акустических фильтров (ПАФ) для ВОЛС» (2008-2009), государственной научно-технической программы №17-016 «Разработка методов архивации телерадиовещательных аудио и видео программ» (2009-2011), хоздоговоров №17/12 «Анализ существующей системы синхронизации и оценка качественных показателей транспортной сети Республики Узбекистан и выработка практических рекомендаций по оптимизации системы синхронизации» (2012), №13/13 «Исследование и разработка методики

оценки надежности программного обеспечения систем управления радиоэлектронной аппаратуры» (2013), инновационной НИР № БВ-Итех-2018-47 «Создание и внедрение информационной системы идентификации мобильных устройств по IMEI (International Mobile Equipment Identity)» (2018-2019), выполненных в Ташкентском университете информационных технологий.

Целью исследования является разработка принципов и эффективных методов расчета и обеспечения надежности элементов радиотехнических систем, программного обеспечения микроконтроллерных систем управления радиотехнических систем, а также самих радиотехнических систем.

Задачи исследования:

на основе анализа причин отказов интегральных микросхем (ИМС) высокой степени интеграции разработка рекомендаций по прогнозированию надежности ИМС;

определение аналитических выражений для расчета надежности запоминающих устройств (ЗУ) РТС;

выбор метрики для диагностики цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) радиотехнических систем и разработка методики диагностики ЦАП;

на основе анализа составляющих, входящих в состав РТС, сформулировать принципы и концепцию описания и разработать способы разбиения сложной РТС;

усовершенствование методики и программы расчета надежности программного обеспечения МКСУ РТС на основе имеющихся статистических данных по отказам и сбоям в программном обеспечении;

разработка аналитических выражений расчета надежности комплекса МКСУ-ПО РТС при различных сочетаниях законов распределения отказов в МКСУ и в ПО;

разработка принципов и методов увеличения надежности ВОЛС с применением линеаризации проходной спектральной характеристики ВОЛС и модифицированных оптических усилителей;

разработка аналитических выражений, методики и программы расчета надежности системы мобильной связи;

определение информативных параметров надежности элементов ВОЛС, используемых в системах мобильной связи, разработка методики и устройства диагностики элементов ВОЛС.

Объектом исследования являются программное обеспечение, микроконтроллерные системы управления, элементы радиотехнических систем и волоконно-оптической техники.

Предметом исследования является разработка методов обеспечения надежности элементов РТС, ПО МКСУ РТС, систем мобильной связи, комплексной оценки надежности МКСУ-ПО РТС.

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

системного анализа, теории вероятностей и надежности, а также методы проведения вычислительных экспериментов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны рекомендации по прогнозированию надежности интегральных микросхем (ИМС) высокой степени интеграции и методика диагностики ЦАП;

сформулированы принципы и концепция описания, разработаны способы разбиения сложной РТС;

усовершенствована методика расчета надежности программного обеспечения МКСУ РТС и разработаны аналитические выражения расчета надежности комплекса МКСУ-ПО РТС при различных сочетаниях законов распределения отказов в МКСУ и в ПО;

разработаны принципы и методы увеличения надежности ВОЛС с применением линеаризации проходной спектральной характеристики ВОЛС и модифицированных оптических усилителей;

разработаны аналитические выражения и методика расчета надежности системы мобильной связи стандарта GSM-900;

определены информативные параметры надежности элементов ВОЛС, используемых в системах мобильной связи, разработаны методика и устройство диагностики целостности оптического волокна и работоспособности SFP модулей.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны программы расчета надежности ПО МКСУ РТС, системы мобильной связи стандарта GSM-900, диагностики ЦАП РТС, топологии фильтра на поверхностно-акустических волнах (ПАВ), позволяющие сократить время вычислительного процесса основных показателей элементов РТС и радиотехнических систем по надежности в 8-10 раз;

установлено, что совместное применение оптического усилителя типа усилителя бегущей волны (УБВ) и акустооптического перестраиваемого фильтра позволяет линеаризовать проходные спектральные характеристики ВОЛС, средний выигрыш в линеаризации составляет 1,8 - 2,0 дБ, тем самым увеличивается длина регенерационного участка и соответственно возрастает надежность ВОЛС;

предложенный способ изготовления заготовки активированных оптических волокон и применение модифицированных оптических волокон увеличивает значение отношения мощности оптического сигнала к шуму на 3 дБ, что позволяет увеличить длину необслуживаемого участка, сократить количество дорогостоящего регенерационного оборудования и увеличить надежность ВОЛС;

разработано устройство диагностики элементов ВОЛС, используемых в межузловых, межблочных соединениях РТС, позволяющее проверить целостность оптического волокна и работоспособность SFP модулей и сократить время диагностики в среднем на 10-20%.

Достоверность результатов исследования обосновывается корректностью постановки задач при проведении анализа и разработке методов по расчету и обеспечению надежности элементов РТС, ПО МКСУ РТС и самих РТС, при которых была выполнена проверка полученных результатов с реальными данными, а также качественной и количественной оценкой полученных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке методов и методик, аналитических выражений и вычислительных алгоритмов по расчету и обеспечению надежности элементов РТС, ПО МКСУ РТС и самих РТС.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке комплекса программ по диагностике ЦАП, расчету надежности ПО МКСУ РТС, топологии фильтра на ПАВ, надежности системы мобильной связи, позволяющих сократить время расчетов, методов совместного применения оптического усилителя типа УБВ и акустооптического перестраиваемого фильтра, изготовления заготовки активированных оптических волокон, позволяющих увеличить надежность ВОЛС, устройства диагностики элементов ВОЛС для проверки оптического волокна на целостность и работоспособности SFP модулей.

Внедрение результатов исследования. На основе методов расчета, повышения и обеспечения надежности элементов радиотехнических систем, применения линеаризации проходной спектральной характеристики волоконно-оптических линий связи и модифицированных оптических усилителей:

разработанные рекомендации по прогнозированию надежности интегральных микросхем (ИМС) высокой степени интеграции и методика диагностики ЦАП, сформулированные принципы и концепция описания, разработанные способы разбиения сложной РТС внедрены в ГУП «UNICON.UZ» в процесс экспертизы проектно-сметной документации и проведении научно-исследовательских работ, в ГУП «Aloqaloyiha» для диагностики цифро-аналоговых преобразователей (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/6299 от 10 сентября 2019 г.). В результате это дало возможность сократить время вычислительного процесса в 8-10 раз;

усовершенствованная методика расчета надежности программного обеспечения МКСУ РТС и разработанные аналитические выражения расчета надежности комплекса МКСУ-ПО РТС при различных сочетаниях законов распределения отказов в МКСУ и в ПО внедрены в ГУП «UNICON.UZ», в ГУП «Aloqaloyiha» в процесс проектирования и расчета основных показателей надежности ПО МКСУ РТС (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-

8/6299 от 10 сентября 2019 г.). В результате это дало возможность увеличить достоверность расчетов показателей надежности;

получен патент на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на «Устройство для диагностики и оптимизации спектральных характеристик оптоволоконных систем передачи информации» (№ IAP 04465 - 2009 г.). В результате получен средний выигрыш в линеаризации 1,8 - 2,0 дБ, что позволяет увеличить длину регенерационного участка и надежность ВОЛС.

получен патент на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на «Способ изготовления заготовки активированных оптических волокон» (№ IAP 04944 – 2012 г.). В результате, при равных прочих условиях, увеличилось среднее время наработки на отказ на 7-8% и увеличилась вероятность безотказной работы участка ВОЛС в среднем на 2,5-3% за год;

разработанные аналитические выражения и методика расчета надежности системы мобильной связи стандарта GSM-900 внедрены в ГУП «UNICON.UZ» в процесс экспертизы проектно-сметной документации и проведении научно-исследовательских работ, в ГУП «Aloqaloyiha» в процесс проектирования и расчета основных показателей надежности системы мобильной связи стандарта GSM-900, в филиале Uzmobilе АК «Узбектелеком» в процесс проектирования и эксплуатации сетей мобильной связи для обеспечения основных показателей надежности (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/6299 от 10 сентября 2019 г.). В результате это дало возможность сократить время вычислительного процесса в 8-10 раз;

определенные информативные параметры надежности элементов ВОЛС, используемых в системах мобильной связи, разработанные методика и устройство диагностики целостности оптического волокна и работоспособности SFP модулей внедрены в ГУП «Республиканский центр управления сетями телекоммуникаций Узбекистана» в процесс проектирования и эксплуатации телекоммуникационных систем, в ГУП «Aloqaloyiha» для диагностики волоконно-оптических кабелей и SFP модулей при проектировании реальных систем связи, в филиале Uzmobilе АК «Узбектелеком» в процесс проектирования и эксплуатации сетей мобильной связи для обеспечения основных показателей надежности, в ООО УПТС «Uzneftgazaloqa» в проектные работы предприятия (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №33-8/6299 от 10 сентября 2019 г.). В результате время выполнения диагностики элементов ВОЛС, целостности оптического волокна и работоспособности SFP модулей, сократилось в среднем на 10-20%.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 16 международных и 4 республиканских научно-технических и научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 54 научные работы, из них 2 монографии, 2 патента на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, 14 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 2 в иностранных, 12 в республиканских журналах, 7 научных статей опубликовано в других сборниках и журналах, 19 тезисов на международных и 6 тезисов на республиканских научно-технических и научно-практических конференциях, получены 4 свидетельства регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит 195 страниц и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объекты и предметы исследований, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведен список внедрений в практику результатов исследований, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе «**Анализ и состояние надежности радиотехнических систем**» приведены теоретико-аналитический анализ количественных показателей надежности РТС и аналитические выражения показателей надежности. Рассмотрены и классифицированы методы расчета и повышения надёжности радиотехнических систем.

В заключении первой главы приведены основные выводы по проведенному обзору и установлено, что современная РТС является восстанавливаемой системой, которая после отказов может быть восстановлена и продолжает функционировать; количественно восстанавливаемость системы оценивается следующими показателями: вероятностью восстановления, интенсивностью восстановления, средним временем восстановления; для оценки надежности РТС также используются комплексные показатели: коэффициент готовности, коэффициент использования и коэффициент оперативного использования. Показано, что необходимость применения того или иного метода расчета надежности определяется этапом, на котором необходимо произвести расчет надежности

(разработка, производство, эксплуатация), сложностью РТС, местом и условиями эксплуатации и т.д. Установлено, что для увеличения надежности в радиотехнических системах наибольшее применение находит структурное резервирование.

Вторая глава «Методы расчета и обеспечения надежности элементов радиотехнических систем» посвящена анализу методов расчета и прогнозирования надежности интегральных микросхем (ИМС) РТС, тестирования и диагностики запоминающих устройств (ЗУ) РТС, разработке методики диагностики цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) и оценки надежности аналого-цифровых преобразователей (АЦП) РТС.

Установлено, что при разработке ИМС с требуемыми показателями надежности необходимо уделять внимание вопросам прогнозирования надежности, где нашли применение два основных подхода. При первом подходе предполагается идентичность основных технологических операций изготовления тестовой и прогнозируемой ИМС, а их надежность отличается только числом компонентов ненадежности и интенсивность отказов тестовой ИМС определяется соотношением:

$$\lambda_{Т.ИМС} = \lambda_{ВС1} N_{ВС0} + \lambda_{КС1} N_{КС0} + \lambda_{К1} N_{К0} + \lambda_{П1} S_{П0}, \quad (1)$$

где $N_{ВС0}$ – количество внешних соединений тестируемой ИМС;

$N_{КС0}$ – количество внутренних соединений;

$N_{К0}$ – усредненное число корпусов на один кристалл;

$S_{П0}$ – средняя активная площадь кристалла;

$\lambda_{ВС1}$ – интенсивность отказов внешних соединений, приведенная к одному внешнему соединению;

$\lambda_{КС1}$ – интенсивность отказов внутренних соединений, приведенная к одному внутреннему соединению;

$\lambda_{К1}$ – интенсивность отказов корпуса, приведенная к одному корпусу ИМС;

$\lambda_{П1}$ – интенсивность отказов кристалла, приведенная к единице поверхности кристалла.

При втором подходе прогнозирования надежности ИМС основываются на том, что надежность ИМС зависит от геометрических размеров топологии ИМС, режима контроля, температуры, а также других условий эксплуатации. В данном случае интенсивность отказов ИМС на основе МДП-технологии для прогнозирования её надежности определяется следующим образом:

$$\lambda_{ИМС} = (\lambda_{ОК} S_{МЕТ} + \lambda_{кр.кр} \alpha_{ЭЦ}) \alpha_{Т} \alpha_{И} + (\lambda_{В} N_{В} + \lambda_{МЕТ} S_{МЕТ}) \alpha_{ЭЦ} \alpha_{Т} \alpha_{И} + \lambda_{ДИФ} N_{ДИФ} + \lambda_{кр} \alpha_{ЭЦ} \chi + \lambda_{П.ДФ} S_{КР} + \lambda_{СТР} S_{КР} \alpha_{П}, \quad (2)$$

где $\lambda_{ОК}$ – интенсивность отказов ИМС, обусловленная дефектом оксидного слоя под металлизацией;

$\lambda_{кр.кр}$ – интенсивность отказов ИМС, обусловленная некачественным креплением кристалла к корпусу;

λ_B – интенсивность отказов ИМС, обусловленная отказами сварных соединений проводов с контактными площадками;

$\lambda_{мет}$ – интенсивность отказов ИМС, обусловленная дефектами металлизации;

$\lambda_{диф}$ – интенсивность отказов ИМС, обусловленная дефектами процесса диффузии;

$\lambda_{кр}$ – интенсивность отказов ИМС, обусловленная посторонними включениями внутри корпуса;

$\lambda_{п.дф}$ – интенсивность отказов ИМС, обусловленная поверхностными дефектами;

$\lambda_{стр}$ – интенсивность отказов ИМС, обусловленная структурными дефектами и включениями в кристалл;

$S_{мет}$ – площадь металлизации;

$S_{кр}$ – площадь кристалла;

N_B – число сварных соединений;

$N_{диф}$ – число ступеней диффузии;

χ – отношение фактической площади активных элементов и металлизации к числу 0,645;

$\alpha_{и}$ – коэффициент, учитывающий жесткость приемо-сдаточных испытаний ИМС;

α_T – коэффициент, учитывающий температурный режим эксплуатации микросхемы;

$\alpha_{эц}$ – коэффициент, учитывающий прочие условия эксплуатации.

Показано, что запоминающие устройства (ЗУ) являются одним из основных элементов, входящих в состав микроконтроллерных систем управления (МКСУ) РТС. ЗУ состоит из запоминающей матрицы (ЗМ), которая представляет собой совокупность запоминающих ячеек, элементов ЗУ, хранящих одну единицу информации (1 бит) и блока управления (БУ), который включает в себя электронику управления ЗМ (рис.1).

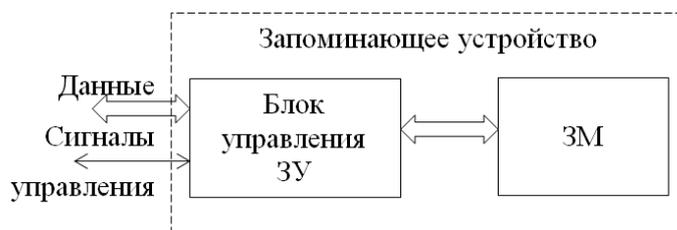


Рис.1. Обобщенная структурная схема ЗУ

Если предположить, что отказ любой из составляющей на рис.1 приведет к отказу всего ЗУ, тогда вероятность безотказной работы ЗУ:

$$P_{зу}(t) = P_{бу}(t)P_{зм}(t), \quad (3)$$

где $P_{\text{Бу}}(t)$ – вероятность безотказной работы блока управления ЗУ;
 $P_{\text{ЗМ}}(t)$ – вероятность безотказной работы запоминающей матрицы ЗУ.

В случае нерезервированного ЗУ вероятность безотказной работы ЗУ может быть определена из соотношения:

$$P_{\text{ЗУ}}(t) = \prod_{i=1}^{n_m} p_i^{n_k}(t), \quad (4)$$

где n_m – число типов элементов, узлов и блоков в ЗУ;

n_k – число элементов, узлов и блоков ЗУ одного типа;

$p_i(t)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента, узла, блока.

Вероятность безотказной работы ЗУ с использованием корректирующих кодов определяется следующим образом:

$$P_{\text{ЗУ}}(t) = P_{\text{Бу}}(t) \sum_{j=1}^{n_\omega} \omega_j \left\{ \sum_{i=0}^{l_k} C_{n_{\text{ЗУ}}}^i P_{\text{ЗМ}_j}^{n_{\text{ЗУ}}-1}(t) [1 - P_{\text{ЗМ}_j}(t)]^i \right\}^{\frac{N_{\text{ЗУ}}}{N_j}}, \quad (5)$$

где ω_j – доля отказов j -го вида в общем числе отказов;

n_ω – число видов отказов;

l_k – разрядность исправляемых кодом ошибок;

$N_{\text{ЗУ}}$ – число хранимых в ЗУ слов;

N_j – число искаженных адресов при отказе j -го вида;

$n_{\text{ЗУ}}$ – разрядность хранимых в ЗУ слов;

$P_{\text{ЗМ}_j}(t)$ – вероятность безотказной работы ЗМ по отношению к отказам j -

го вида;

$C_{n_{\text{ЗУ}}}^i$ – число сочетаний из $n_{\text{ЗУ}}$ по i .

Рассмотрена диагностика ЦАП РТС и выявлено, что ЦАП обладают большим количеством различных показателей и параметров, которые определяются его назначением, местом применения, условиями работы и т.д.

Установлено, что наилучшим способом диагностики ЦАП является применение тестовых сигналов (рис.2).

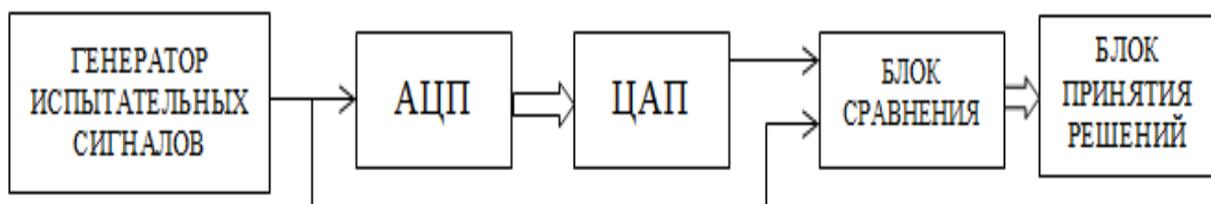


Рис.2. Диагностика ЦАП с помощью тестовых сигналов

В качестве метрики по диагностике ЦАП на этапе разработки, предлагается использовать показатель пикового отношения сигнала к шуму $PSNR$ (Peak Signal-to-Noise Ratio). $PSNR$ представляет собой отношение

между максимумом возможного значения сигнала и мощностью шума, который искажает значения сигнала:

$$PSNR = 10 \lg \frac{n \cdot \max_i^2 |P_i|}{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}, \quad (6)$$

где P_i - исходный сигнал (первый);

Q_i – восстановленный сигнал (второй);

n – количество значений, взятых для вычисления $PSNR$;

$\max_i |P_i|$ – максимальное (по модулю) значение исходного сигнала на заданном участке.

Рассмотрены методы оценки надежности аналого-цифровых преобразователей (АЦП) РТС, которые обладают большим числом показателей, характеризующих надежность его работы. Выполнен анализ информативных параметров АЦП и предложен алгоритм оценки надежности АЦП по информативным параметрам.

Установлено, что наибольшую информацию по надежности АЦП РТС можно получить по следующим информативным параметрам: интегральная нелинейность (INL); дифференциальная нелинейность (DNL); погрешность коэффициента преобразования; значение отношения сигнал/шум) (SNR).

Выявлено, что оценку надежности АЦП можно проводить экспериментально, снимая зависимости суммарного коэффициента гармоник от частоты входного сигнала, отношения сигнал/(шум + искажения) АЦП от частоты и амплитуды входного сигнала.

В третьей главе «**Разработка методов выявления отказов и расчета надежности сложных радиотехнических систем**» сформулирована концепция описания и способы разбиения сложной РТС, приведены методы выявления отказов и сбоев в цифровых РТС, разработаны методика расчета надежности комплекса МКСУ и программного обеспечения (ПО), методика расчета надежности системы мобильной связи.

Показано, что увеличение функциональных возможностей, степени интеграции, сложности интегральным микросхем привело к возникновению нового класса РТС – сложных РТС, которые состоят из следующих составляющих: элементов, систем и подсистем взаимосвязанных между собой. Сформулирована концепция описания сложной радиотехнической системы:

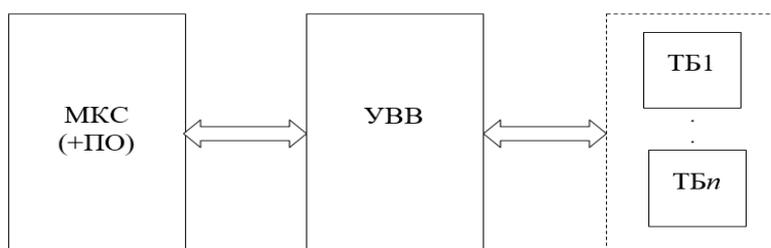
1) Рассматриваемая сложная радиотехническая система может быть расчленена на конечное число частей, называемых подсистемами сложной системы; каждая подсистема может быть расчленена на конечное число более мелких подсистем и т.д. – до получения, в результате конечного числа шагов, таких частей, называемых элементами сложной системы, относительно которых имеется договорённость, что в условиях данной задачи они не подлежат дальнейшему расчленению на части.

2) Элементы сложной системы функционируют не изолированно друг от друга, а во взаимодействии, при котором свойства одного в общем случае зависят от условий, определяемых поведением других элементов.

3) Свойства сложной радиотехнической системы в целом определяются не только свойствами элементов, но и характером взаимодействия между элементами.

Предложены способы разбиения сложной РТС «снизу – вверх», от простого элемента к сложной системе и «сверху-вниз», от сложной системы к простому элементу.

Установлено, что широкое внедрение микроконтроллерных систем (МКС) в цифровых РТС (ЦРТС) позволяют автоматизировать процесс диагностики и создать устройство диагностики, обладающее широкими функциональными возможностями (рис.3).



**Рис.3. Структурная схема МКС диагностики и контроля:
МКС-микропроцессорная система с программным обеспечением (ПО);
УВВ-устройство ввода-вывода; ТБ1...ТБn - тестируемые блоки 1...n**

В МКС также возможна реализация алгоритмов, позволяющих проводить поиск неисправностей в блоках ЦРТС средствами компактного тестирования, представляющий собой метод проверки исправности блоков ЦРТС на основе анализа специальным образом сжатой полной тестовой информации.

Были проведены эксперименты по определению количества нестабильных сигнатур на выходах микросхем цифровых блоков РТС на основе методов сигнатурного анализа (СА), счета единиц (СЕ), счета логических переходов (СЛП) и при совместном использовании всех трех методов СА-СЕ-СЛП. Экспериментальным путем установлено, что при незначительном увеличении времени измерения и контроля, связанной с интерпретацией полученных результатов, наиболее эффективным, с точки зрения повышения точности контроля, является совместное использования методов СА, СЕ и СЛП для контроля цифровых блоков ЦРТС.

Доказано, что при оценке надежности работы современных микроконтроллерных систем управления также необходимо уделять внимание надежности программного обеспечения.

Разработаны алгоритм и программное обеспечение, которые позволяют, на основе имеющихся статистических данных по отказам и сбоям в ПО оценить надежность ПО МКСУ. На основе разработанной методики и проведенных вычислительных экспериментов доказано, что с увеличением

времени тестирования ПО интенсивность отказов ПО уменьшается (рис.4). Это связано с тем, что с течением времени выявляется большее количество ошибок, т.е. уменьшается их количество в программе, что приводит к увеличению надежности работы ПО

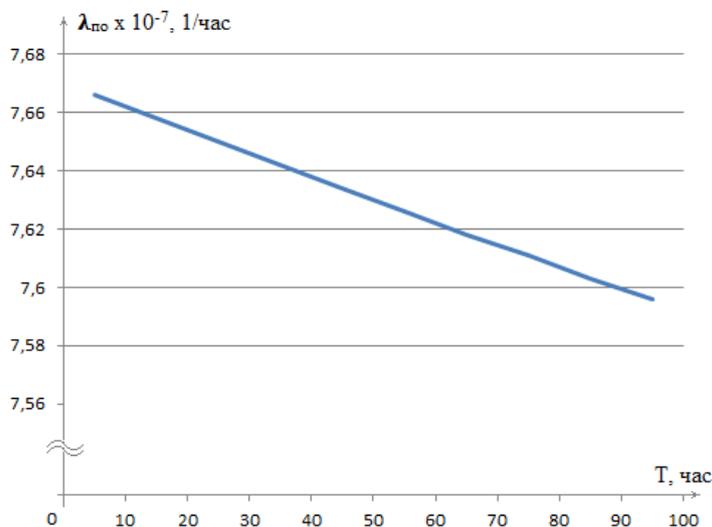


Рис.4. Зависимость интенсивности отказов ПО от времени

В случае, когда возникновение отказов аппаратной части МКСУ и отказов ПО не зависят друг от друга, и отказ любой из составляющей приведет к отказу всей системы МКСУ-ПО, тогда логическая схема соединения по надежности будет выглядеть как на рис.5.

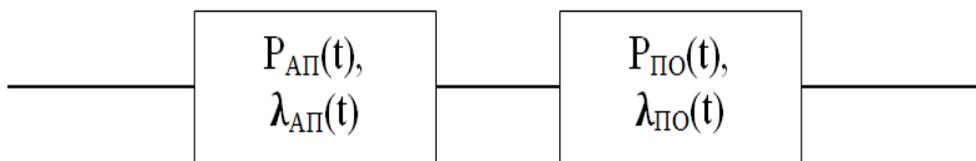


Рис.5. Логическая схема соединения по надежности комплекса МКСУ-ПО: $P_{АП}(t), \lambda_{АП}(t)$ – вероятность безотказной работы и интенсивность отказов аппаратной части МКСУ; $P_{ПО}(t), \lambda_{ПО}(t)$ - вероятность безотказной работы и интенсивность отказов ПО МКСУ

Для ситуации на рис.5 вероятность безотказной работы комплекса МКСУ-ПО будет определяться следующим образом:

$$P_{\text{МКСУ-ПО}}(t) = P_{\text{АП}}(t) \cdot P_{\text{ПО}}(t). \quad (7)$$

Установлено, что отказы в МКСУ и ПО могут подчиняться различным законам распределения. Чтобы найти закон распределения суммы отказов комплекса МКСУ-ПО, когда отказы в МКСУ и ПО распределены по своим законам, необходимо произвести композицию двух законов распределения:

$$g(y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x_1)f_2(x_2)dx_1dx_2 =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x_1)f_2(y - x_1)dx_1 = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y - x_2)f_2(x_2)dx_2, \quad (8)$$

где $f_1(x_1)$ – функция распределения отказов в МКСУ;

$f_2(x_2)$ – функция распределения отказов в ПО.

Приведены некоторые частные случаи определения закона распределения суммы отказов комплекса МКСУ-ПО.

Разработана методика расчета надежности системы мобильной связи стандарта GSM-900. При разработке аналитических выражений для расчета надежности системы мобильной связи принято следующее:

5) система мобильной связи работает в нормальном периоде эксплуатации;

6) отказы и сбои в системе мобильной связи подчиняются экспоненциальному закону распределения;

7) отказ любой из составляющей системы мобильной связи приводит к отказу всей системы;

8) аналитические выражения расчета надежности приводятся для системы мобильной связи стандарта GSM-900.

Рассмотрены два частных случая:

- два абонента сети обслуживаются одной базовой станцией;

- два абонента сети обслуживаются двумя базовыми станциями одного оператора в зоне одного контроллера BSC.

Разработаны структура системы мобильной связи для расчета надежности, структурно-логическая схема соединения составляющих сети мобильной связи по надежности и аналитические выражения для этих двух случаев (рис.6).

Приняты следующие обозначения:

$\lambda_{MS1}, \lambda_{MS2}$ – интенсивность отказов мобильных станций;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$ - интенсивность отказов линий связи (зависит от типа используемой линии связи: радиолиния, кабельная, радиорелейная, оптическая и т.п.);

$\lambda_{BTS}, \lambda_{BTS1}, \lambda_{BTS2}$ – интенсивность отказов базовой станции;

λ_{BSC} – интенсивность отказов контроллера базовой станции;

λ_{TCE} – интенсивность отказов транскодера;

λ_{SSS} - интенсивность отказов подсистемы коммутации.

Были определены параметры, несущие максимальную информацию по надежности системы мобильной связи. На основании алгоритма была разработана программа расчета надежности системы мобильной связи.

Четвертая глава «**Разработка методов повышения надежности и диагностики волоконно-оптических линий связи**» посвящена методам диагностики и контроля волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), разработке метода повышения надежности ВОЛС, методики диагностики элементов ВОЛС системы мобильной связи.

Выявлено, что факторы по воздействию на волоконно-оптический кабель делятся на два класса: обусловленные воздействием окружающей среды и деятельностью человека.

Приведена взаимосвязь этих факторов и последствий их влияния на ВОК и установлено, что макроизгиб и микроизгиб волокна, физическая или химическая реакция на удар молнии, воду и влагу, водород и радиацию приводят к увеличению затухания сигнала в волокне. Остаточная деформация волокна приводит к снижению прочности, а динамическая деформация волокна – к разрыву волокна. Рассмотрены некоторые основные методы диагностики ВОЛС.

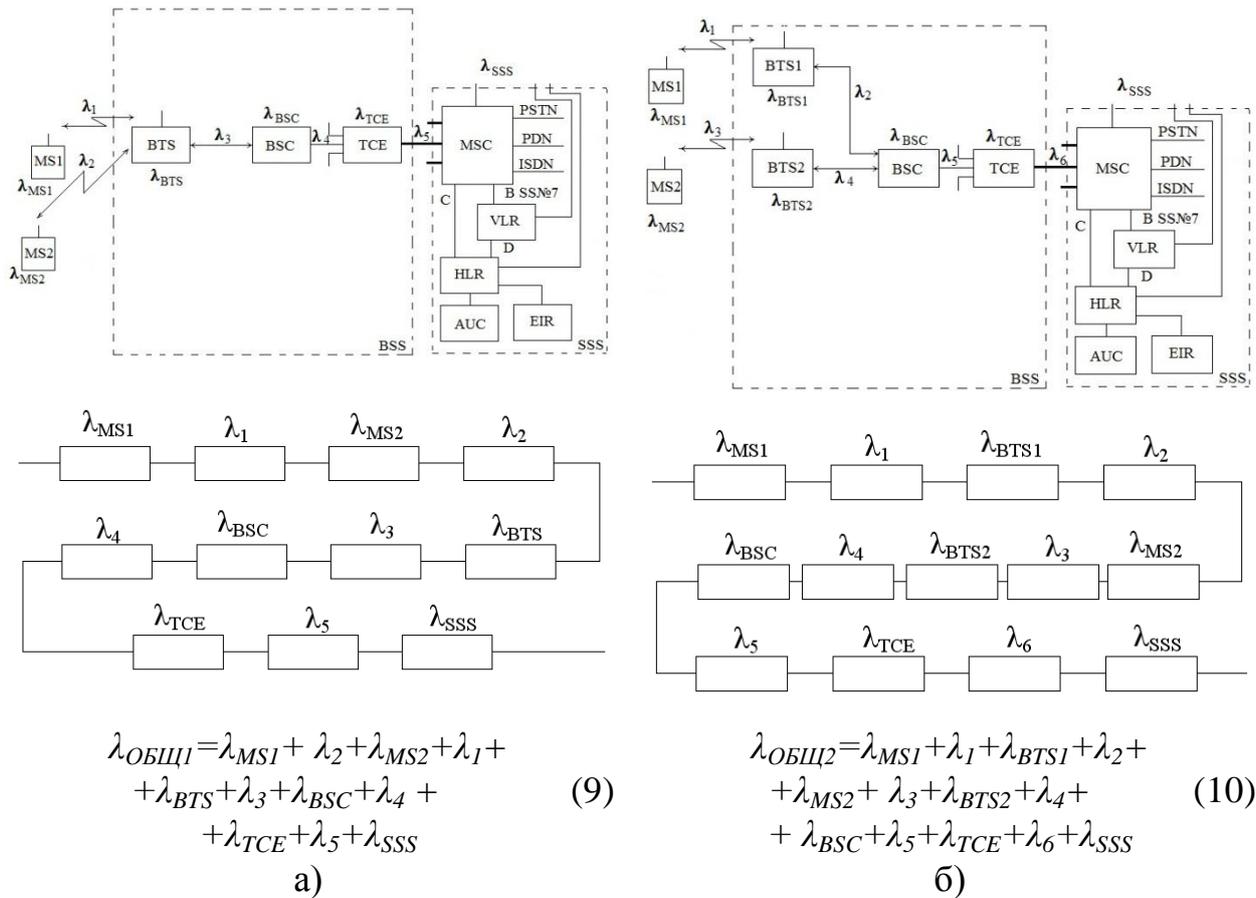


Рис.6. Структурные схемы системы мобильной связи стандарта GSM-900, соединения по надежности и аналитические выражения для случаев: а) два абонента сети обслуживаются одной базовой станцией; б) два абонента сети обслуживаются двумя базовыми станциями одного оператора в зоне одного контроллера BSC

Установлено, что использование в магистральных высокоскоростных волоконно-оптических системах передачи (ВОСП) со спектральным уплотнением каналов оптических усилителей бегущей волны (УБВ) приводит к искажению спектральной характеристики группового оптического сигнала, которые после многократного усиления, приводят к полной или частичной потере составляющих группового сигнала, находящихся на краях полосы усиливаемого спектра. Доказано, что

линеаризация проходной характеристики каждого усилителя бегущей волны позволяет уменьшить эти искажения.

Разработано устройство для диагностики и оптимизации спектральных характеристик оптоволоконных систем передачи информации, которое позволяет линеаризовать проходные спектральные характеристики ВОСП, и экспериментально доказано, что совместное применение оптического усилителя УБВ и акустооптического перестраиваемого фильтра (АОПФ) является эффективным для линеаризации контура проходной спектральной характеристики в ВОЛС с оптическим спектральным уплотнением. Средний выигрыш в линеаризации составляет 1,8 - 2,0 дБ. Это позволяет увеличить длину регенерационного участка и приводит, в общем случае, к увеличению надежности ВОЛС.

Предложен способ изготовления заготовки активированных оптических волокон и доказано, что применение модифицированных оптических волокон на высокоскоростных ВОСП позволяет сохранить линейную форму сигнала на одном уровне за счет повышения спектральной эффективности и пропускной способности оптического кабеля, что обеспечивает увеличение расстояния до 100 км без применения промежуточных усилителей. Доказано, что использование коротко-дистанционных волоконно-оптических усилителей в высокоскоростных ВОСП увеличивает значение отношения мощности оптического сигнала к шуму на 3 дБ (в два раза), что позволяет увеличить промежуточную дистанцию регенерационных пунктов на 30% и в 1,5 раза уменьшить количество регенерационного оборудования, тем самым позволяя сократить количество дорогостоящего регенерационного оборудования.

Выполнена оценка выигрыша показателей надежности для ситуации, когда на стандартном участке ВОЛС длиной 200 км имеются только ВОК и необслуживаемые регенерационные пункты (НРП) (рис.7).

Было принято, что участок ВОЛС работает в период нормальной эксплуатации, интенсивность отказов составляющих постоянна, отказы в ВОК и НРП подчинены экспоненциальному закону:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (11)$$

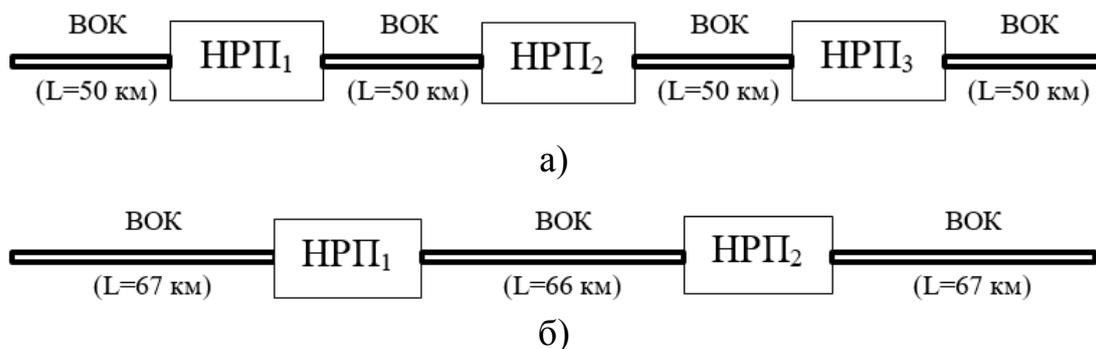


Рис.7. Участок ВОЛС длиной 200 км: а) стандартный; б) с использованием коротко-дистанционных оптических усилителей и модифицированных оптических волокон

Интенсивность отказов участка ВОЛС определяется соотношением:

$$\lambda_{\text{общ}} = L \cdot \lambda_{\text{ок}} + n_{\text{НРП}} \cdot \lambda_{\text{НРП}}, \quad (12)$$

где L – длина волоконно-оптического кабеля;

$\lambda_{\text{ок}}$ – интенсивность отказов волоконно-оптического кабеля;

$n_{\text{НРП}}$ – количество НРП;

$\lambda_{\text{НРП}}$ – интенсивность отказов НРП.

В результате выполненных расчетов определено, что применение коротко-дистанционных оптических усилителей и модифицированных оптических волокон, при равных прочих условиях, в зависимости от длины участка ВОЛС (рис.9):

- увеличивает среднее время наработки на отказ на 7-8%;

- позволяет увеличить вероятность безотказной работы участка ВОЛС в среднем на 2,5-3% за год.

Установлено, что в настоящее время в сетях сотовой связи как в межинтерфейсных, так и в межблочных и межмодульных соединениях находят широкое применение ВОЛС (рис.10, а).

Выявлено, что наибольшее применение в ВОЛС систем мобильной связи находят оптоволоконные кабели и SFP модули, которые являются компактными оптическими приемо-передатчиками (рис.10, б). Современные модели SFP модулей, как правило, имеют встроенную систему DDM (Digital Diagnostics Monitoring), позволяющую отслеживать в реальном времени такие параметры как: напряжение, температуру модуля, ток смещения и мощность лазера (TX), уровень принимаемого сигнала (RX).

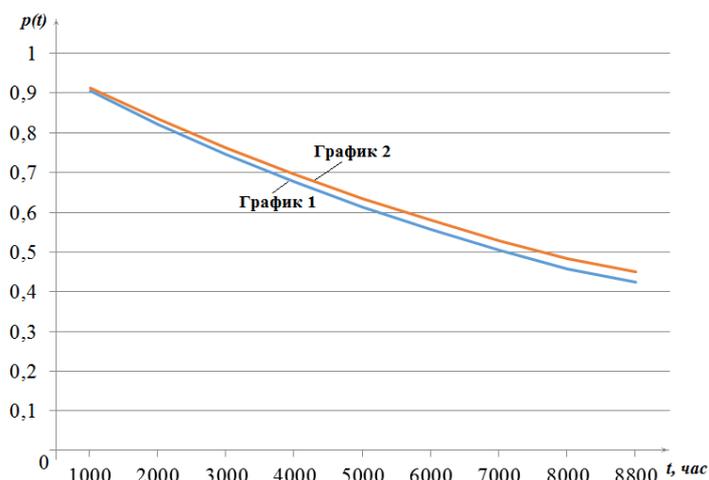


Рис.9. Вероятность безотказной работы участка ВОЛС: график 1 – вероятность безотказной работы стандартного участка ВОЛС; график 2 - вероятность безотказной работы участка ВОЛС с модифицированным оптическим кабелем

Определено, что для первичной диагностики оптического волокна наиболее важными и достаточными являются следующие показатели:

- целостность оптоволокна;

- потери излучения в оптоволокне (затухания).

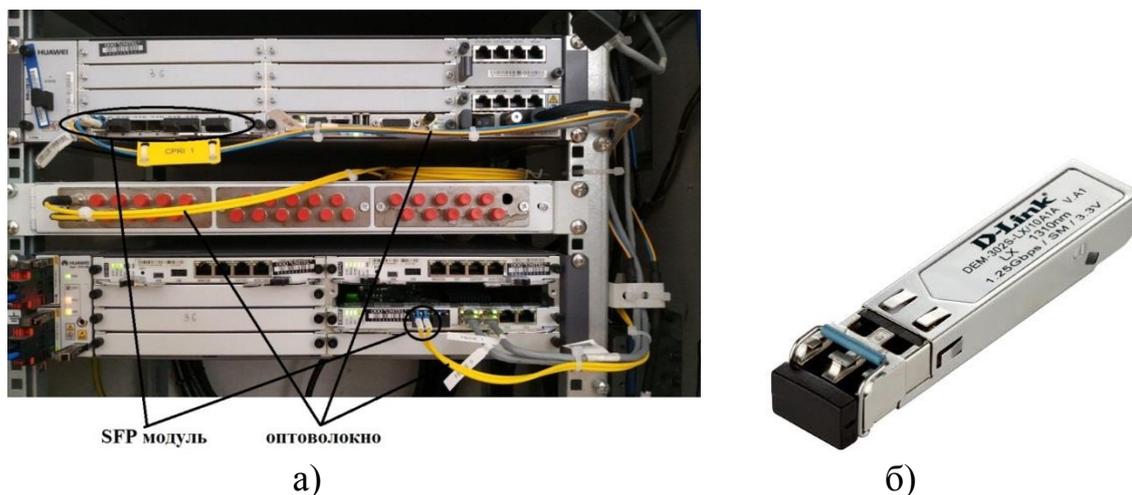


Рис.10. Пример оборудования системы мобильной связи с ВОЛС

Предложена методика тестирования и диагностики оптоволоконна (рис.11). Оптический сигнал с необходимыми свойствами, сформированный в устройстве диагностики оптического волокна (УДОВ), с выхода светодиода СД поступает в оптоволокно. С выхода оптоволоконна оптический сигнал поступает на фотодиод ФД и далее в УДОВ, где производится его обработка. По результатам обработки принимается решение по дальнейшей эксплуатации оптоволоконна.

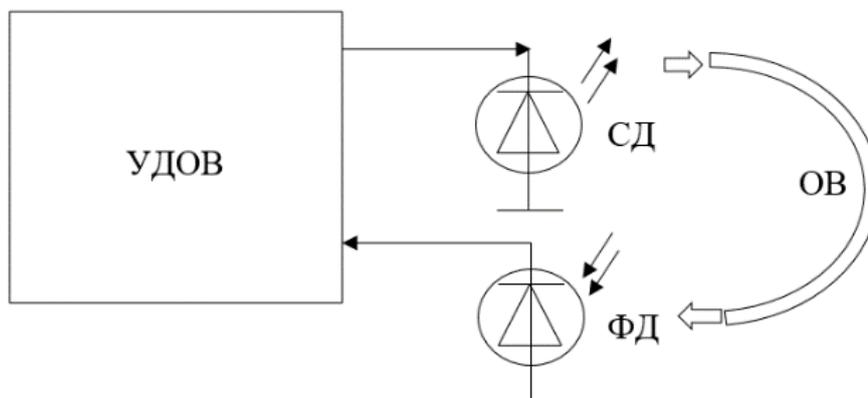


Рис.11. Методика диагностики оптоволоконна: УДОВ - устройство диагностики оптического волокна; СД – светодиод; ФД – фотодиод; ОВ – оптическое волокно

На основе анализа установлено, что для предлагаемой методики диагностики по надежности элементов ВОЛС достаточно знать уровень принимаемого сигнала (Rx) и мощность передатчика (лазера) (Tx). Используя значения этих параметров можно провести диагностику работоспособности SFP модуля и целостности оптоволоконного кабеля.

Разработана структурная схема устройства диагностики SFP модуля и оптоволоконного кабеля (рис.12).

Устройство состоит из микроконтроллера МК, блока управления БУ, блока индикации БИ, устройства памяти УП, коннектора со сменным SFP модулем. Блок управления предназначен для установки режима работы и управления всем устройством в целом. В блоке индикации БИ происходит

индикация, т.е. вывод, всей текущей визуальной информации. В устройстве памяти УП хранится программа работы устройства и обработки информации. Микроконтроллер МК с запрограммированным в него программным обеспечением управляет работой всего устройства в целом.

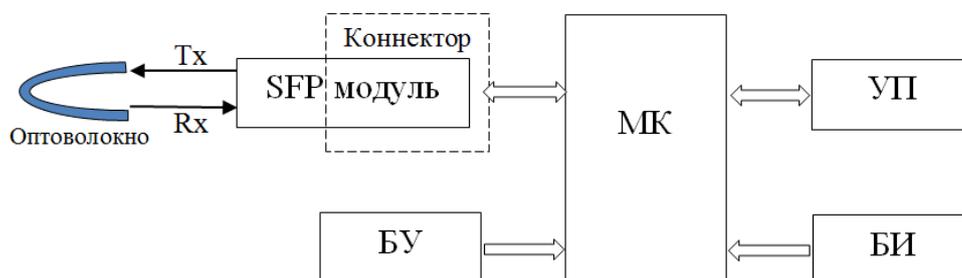


Рис.12. Структурная схема устройства диагностики элементов ВОЛС

В пятой главе «Разработка устройства диагностики элементов ВОЛС систем мобильной связи» выполнена реализация устройства диагностики элементов ВОЛС систем мобильной связи и проведены эксперименты по разработанной методике.

Разработана функциональная схема устройства диагностики элементов ВОЛС (рис.13). Основную функциональную роль выполняет микроконтроллер (МК), который также является главным управляющим элементом всей схемы. Устройство включает в себя жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), задача которого отобразить всю необходимую информацию, связанную с данными тестирования оптического волокна и SFP модуля, которые получает МК от оптического модуля. Дополнительно имеются блок часов и внешняя, энергонезависимая память EEPROM. Связь между персональным компьютером (ПК) и устройством осуществляется с помощью специализированной интегральной микросхемы, преобразователя протокола передачи данных USN-USART. Для обеспечения автономности и мобильности в устройстве диагностики в качестве источника питания используется аккумуляторная батарея.

Разработанное устройство позволяет на этапах построения и эксплуатации ВОЛС систем мобильной связи выполнять следующую диагностику:

- проверка оптического волокна на целостность;
- проверка наличия в SFP модуле системы DDM;
- проверка на работоспособность SFP модуля.
- определение уровня сигнала на выходе передатчика (лазера) (Tx);
- определение уровня принимаемого сигнала (Rx).

Выбрана элементная база и разработана принципиальная схема устройства диагностики элементов ВОЛС. Внешний вид устройства приведен на рис.14. Разработана и описана методика проведения диагностики элементов ВОЛС, в частности, проверки на целостность оптического волокна и работоспособности SFP модуля.

При проведении экспериментов использовались SFP модуль Huawei MXPD-033S 155m-1310nm-15km-SM-ESFP, который является одномодовым трансивером с двумя LC портами и одномодовое оптическое волокно на длину волны 1310 нм, с LC коннекторами на концах, длиной 3 метра с размерами оптического волокна 9/125 мкм. Оптическое волокно соответствует международному стандарту ITU-T Rec.G.652. Потери в волокне, не более 0,4 дБ/км.

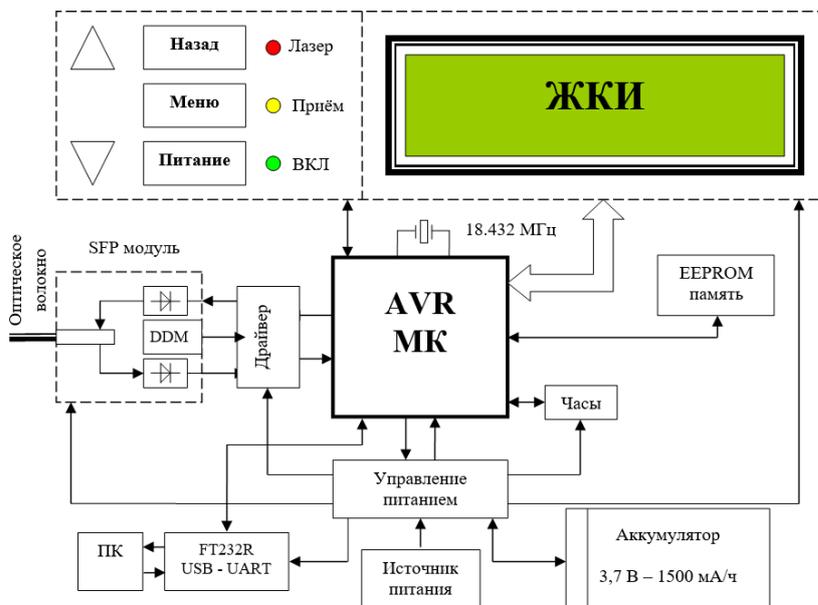


Рис.13. Функциональная схема устройства диагностики элементов ВОЛС

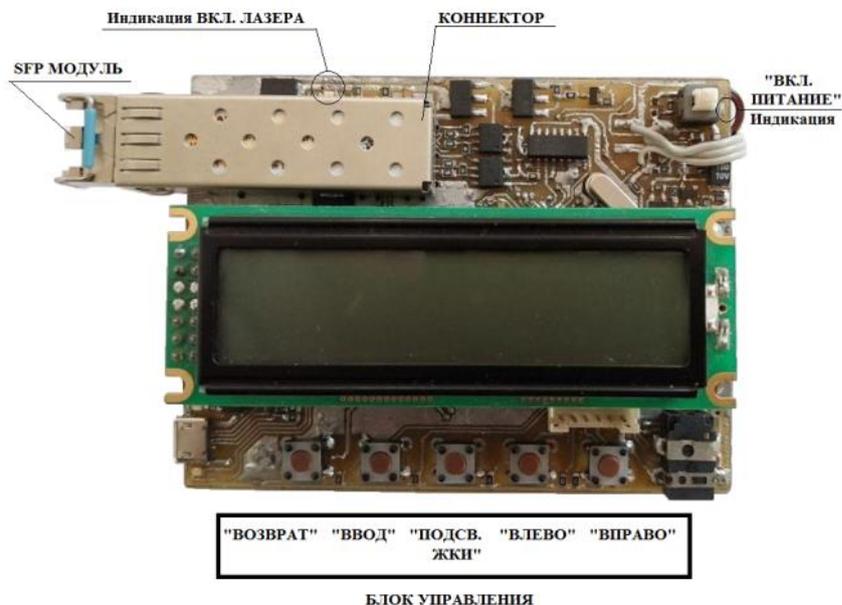


Рис.14. Внешний вид устройства диагностики элементов ВОЛС

С помощью разработанного устройства была проведены эксперименты проверка целостности оптического волокна и работоспособности некоторых моделей SFP модулей, используемых в блоках системы мобильной связи.

Результаты проведенных экспериментов показали, что с помощью разработанного устройства можно выполнить диагностику работоспособности SFP модулей и проверку целостности оптического волокна с достаточной достоверностью. Проведенные испытания показали, что разработанное устройство позволяет сократить время диагностики в среднем на 10-20%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обосновано, что одним из самых важных этапов по обеспечению требуемых показателей надежности современных ИМС с высокой степенью интеграции, при разработке, является прогнозирование надежности, которое заключается в определении показателей надежности на какой-то прогнозируемый период времени. Приведен алгоритм прогнозирования надежности ИМС при разработке. Предложенные методы расчета и прогнозирования надежности ИМС позволяют определить надежность микросхемы с высокой достоверностью.

2. Определены соотношения для расчета надежности резервированного и нерезервированного ЗУ, и выявлено, что резервирование позволяет уменьшить количество отказов и увеличить надежность ЗУ. Разработано устройство тестирования микросхем ЗУ и приведен алгоритм работы системы диагностики микросхем ЗУ. Устройство позволяет тестировать микросхемы ОЗУ, ПЗУ и флеш-памяти, применяемые в РТС.

3. Разработана методика диагностики ЦАП, где в качестве метрики по диагностике ЦАП, которая несет наибольшую информацию по диагностике и на основе которой можно сделать выводы о достоверности работы и работоспособности ЦАП на этапе разработки, использован показатель пикового отношения сигнала к шуму PSNR. Разработано программное обеспечение диагностики ЦАП, которое служит для исследования и разработки ЦАП, используемых в РТС.

4. Сформулирована концепция описания сложной РТС, разработаны способы разбиения сложной РТС «снизу – вверх», от простого элемента к сложной системе и «сверху-вниз», от сложной системы к простому элементу.

5. Доказано, что для того чтобы найти закон распределения суммы отказов МКСУ и ПО, распределенных по различным законам, необходимо произвести композицию двух законов распределения. Выведены аналитические выражения, позволяющие оценить общую безотказность комплекса МКСУ-ПО при различных сочетаниях законов распределений отказов в МКСУ и в ПО. Усовершенствована методика расчета надежности ПО и разработано программное обеспечение, позволяющее с большей достоверностью выполнить расчет надежности ПО МКСУ РТС на основе имеющихся статистических данных по отказам и сбоям в программном обеспечении.

6. Определены критерии, несущие максимальную информацию по надежности системы мобильной связи и разработаны аналитические выражения расчета надежности системы мобильной связи стандарта GSM-900 для двух частных случаев: два абонента сети обслуживаются одной базовой станцией; два абонента сети обслуживаются двумя базовыми станциями одного оператора в зоне одного контроллера BSC. Разработано программное обеспечение расчета надежности системы мобильной связи стандарта GSM-900 для этих двух случаев.

7. Разработаны принципы и методы увеличения надежности ВОЛС. Установлено, что совместное применение оптического УБВ и АОПФ позволяет линеаризовать проходные спектральные характеристики ВОЛС, средний выигрыш в линеаризации составляет 1,8 - 2,0 дБ, тем самым увеличивается длина регенерационного участка и соответственно возрастает надежность ВОЛС. Доказано, что применение модифицированных оптических усилителей увеличивает значение отношения мощности оптического сигнала к шуму на 3 дБ (в два раза), позволяет увеличить длину участка ВОЛС, что уменьшает количество промежуточных усилителей и регенерационного оборудования, и в свою очередь ведет, при равных прочих условиях, к увеличению среднего времени наработки на отказ на 7-8%, увеличению вероятности безотказной работы участка ВОЛС в среднем на 2,5-3% за год.

8. Выявлено, что в межблочных и межмодульных соединениях систем мобильной связи наибольшее применение находят волоконно-оптические кабели и SFP модули. Разработана методика и устройство диагностики элементов ВОЛС, которые позволяют определить работоспособность SFP модуля и целостность оптоволокна во время выполнения монтажных и пусконаладочных работ, в процессе эксплуатации ВОЛС, что является вполне достаточным и информативным. Преимуществом разработанного устройства диагностики элементов ВОЛС является возможность расширения его функциональных возможностей за счет модернизации программного обеспечения, наличие сменных SFP модулей, а также низкая цена.

9. Разработанные программные продукты внедрены в ГУП «UNICON.UZ», в ГУП «Aloqaloyiha», в филиале Uzmobilе АК «Узбектелеком». В результате это дало возможность сократить время вычислительного процесса в 8-10 раз.

Разработанные методы линеаризации спектральных характеристик ВОЛС с помощью совместного применения оптического усилителя бегущей волны и акустооптического перестраиваемого фильтра, а также эффективного применения волоконно-оптических усилителей на базе модифицированных оптических сред внедрены в ООО УПТС «Uzneftgazaloqa». В результате увеличилось среднее время наработки на отказ на 7-8% и увеличилась вероятность безотказной работы участка ВОЛС в среднем на 2,5-3% за год.

Разработанные методика и устройство диагностики элементов ВОЛС внедрены в ГУП «Республиканский центр управления сетями телекоммуникаций Узбекистана», в ГУП «Aloqaloyiha», в филиале Uzmobilе АК «Узбектелеком». В результате время выполнения диагностики элементов ВОЛС, целостности оптического волокна и работоспособности SFP модулей, сократилось в среднем на 10-20%.

Годовой экономический эффект от внедрения устройства диагностики элементов ВОЛС - 750,0 млн.сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.28.12.2017.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

DAVRONBEKOV DILMUROD ABDUJALILOVICH

**PRINCIPLES AND METHODS FOR ENSURING THE RELIABILITY ON
ELEMENTS OF RADIO TECHNICAL SYSTEMS**

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

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

Tashkent – 2019

The theme of doctoral (DSc) dissertation was registered with the number of B2019.3.DSc/T306 at the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation has been prepared at the Tashkent University of Information Technologies.

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

Scientific adviser: **Nazarov Abdulaziz Muminovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Bakhrarov Sagdulla Abdullaevich**
Doctor of Physical-Mathematics Sciences,
Professor, Academycian

Yusupbekov Azizbek Nodirbekovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Aliev Ravshan Maratovich
Doctor of Technical Sciences

Leading organization: **Joint Stock Company «Uzbektelecom»**

The defense will take place «__» _____ 2019 at ___ on the meeting of Scientific council DSc.28.12.2017.T.07.02 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (99871) 238-64-43; fax: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation is available at the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under № _____). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (99871) 238-65-44).

Abstract of dissertation sent out on «__» _____ 2019.

(mailing report №. ____ on «__» _____ 2019.)

I.Kh.Siddikov

Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees, doctor of
technical sciences, professor

J.Kh.Djumanov

Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees, doctor of
technical sciences

A.Abdukayumov

Chairman of academic seminar under the
scientific council awarding scientific
degrees, doctor of technical sciences,
professor

INTRODUCTION (abstract of the dissertation of doctor of science (DSc))

The aim of research. It consists in the development of principles and effective methods for calculating and ensuring the reliability of elements of radio technical systems (RTS), software for microcontroller control systems (MCS) of radio technical systems, as well as the radio technical systems themselves.

The objects of research. Software, microcontroller control systems, elements of radio technical systems and fiber-optic technology.

Scientific novelty of research is as follows:

developed recommendations for predicting the reliability of high degree integration integrated circuits and diagnostic technique for digital-to-analog converters;

formulated the principles and concept of the description, developed methods for breaking up a complex RTS;

developed methodology for calculating the reliability of the RTS MCS software and improved analytical expressions for calculating RTS MCS- software complex reliability under various combinations of the laws of distribution of failures in MCS and in software;

developed principles and methods for increasing the reliability of fiber-optic communication lines (FOCL) using linearization of the through-pass spectral characteristics of FOCLs and modified optical amplifiers;

developed analytical expressions and a method for calculating the reliability of a GSM-900 standard mobile communication system;

determined informative parameters of reliability FOCL elements used in mobile communication systems, developed technique and device for diagnosing the integrity of optical fiber and SFP modules working capacity.

Implementation of research results. On the basis of methods for calculating, improving and ensuring the reliability of elements of radio technical systems, using linearization of the pass-through spectral characteristics of fiber-optic communication lines and modified optical amplifiers:

developed recommendations for predicting the reliability of integrated circuits of a high degree of integration and a diagnostic technique for digital-to-analog converters, formulated principles and a description concept, developed methods for splitting complex RTS were introduced into the «UNICON.UZ» SUE in the examination of design and estimate documentation and conducting research works, in the «Aloqaloyiha» SUE for the diagnosis of digital-to-analog converters (Act of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan №33-8/6299 of September 10, 2019). As a result, this made it possible to reduce the time of the computing process by 8-10 times;

an improved methodology for calculating the reliability of the microcontroller control systems (MCS) RTS software and developed analytical expressions for calculating the reliability of the RTS MCS-software complex for various combinations of failure distribution laws in MCS and in software are implemented in the UNICON.UZ SUE, in the «Aloqaloyiha» SUE for design and calculation process the main reliability indicators of the RTS MCS software (Act of the

Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan №33-8/6299 of September 10, 2019). As a result, this made it possible to increase the reliability of calculations of reliability indicators;

a patent was obtained for the invention of the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan for “A device for diagnosing and optimizing the spectral characteristics of fiber-optic information transmission systems” (№ IAP 04465 - 2009). As a result, the average linearization gain of 1.8 - 2.0 dB was obtained, which allows to increase the length of the regeneration section and the reliability of the FOCL;

a patent was obtained for the invention of the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan for “A method of manufacturing a blank for activated optical fibers” (№ IAP 04944 - 2012). As a result, ceteris paribus, the mean time between failures increased by 7-8% and the likelihood of failure-free operation of the FOCL section increased by an average of 2.5-3% per year;

the developed analytical expressions and the method for calculating the reliability GSM-900 standard mobile communication system were introduced in the «UNICON.UZ» SUE in the examination of design and estimate documentation and research work, in the «Aloqaloyiha» SUE in the design and calculation of the main indicators of the reliability of the system GSM-900 standard mobile communications, at the «Uzmobile» branch of «Uzbektelecom» JSC, in the process of designing and operating mobile communication networks to ensure basic reliability indicators (Act of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan №33-8/6299 of September 10, 2019). As a result, this made it possible to reduce the time of the computing process by 8-10 times;

certain informative parameters of the reliability of FOCL elements used in mobile communication systems, the developed methodology and device for diagnosing the integrity of optical fiber and SFP modules working capacity were implemented in the «Republican center telecommunications management of Uzbekistan» SUE for design and operation of telecommunication systems, in the «Aloqaloyiha» SUE for diagnostics of fiber-optic cables and SFP modules during the design of real communication systems, in the «Uzmobile» branch of «Uzbektelecom» JSC in the design process testing and operation of mobile communication networks to ensure the main indicators of reliability, in «Uzneftgazaloqa Ltd» in the design work of the enterprise (Act of the Ministry for Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan №33-8/6299 of September 10, 2019). As a result, the time taken to diagnose FOCL elements, the integrity of the optical fiber, and SFP modules working capacity was reduced by an average of 10-20%.

The volume and structure of the dissertation. The dissertation consists of five chapters, conclusion, list of references, applications. The volume of dissertation is 195 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Давронбеков Д.А. Методы оценки надежности цифровых элементов радиотехнических систем: монография. – Т.: ТАТУ, 2017. – 168 с.
2. Давронбеков Д.А., Абдурахманов К.П., Султонова М.О., Исроилов Ж.Д., Кириакиди А.С. Идентификация мобильных устройств по IMEI: монография. – Т.: Ташкент, ТАТУ, 2019. – 108 с.
3. Патент Руз № IAP 04465 / Раджабов Т.Д., Назаров А.М., Давронбеков Д.А., Симонов А.А., Хакимов З.Т., Пичко С.В. Устройство для диагностики и оптимизации спектральных характеристик оптоволоконных систем передачи информации // Расмий ахборотнома. – 2012. – №1(129).
4. Патент РУз № IAP 04944. Способ изготовления заготовки активированных оптических волокон / Раджабов Т.Д., Иногамов А.М., Камардин А.И., Симонов А.А., Давронбеков Д.А., Таженев К.Е.// Расмий ахборотнома. – 2014. – №9(161).
5. Давронбеков Д.А. Комплексный учет отказов в вычислительной системе // Aloqa dunyosi. – 2007. – №4. – С.16-19, (05.00.00).
6. Раджабов Т.Д., Давронбеков Д.А., З.Т.Хакимов. Исследование спектральных характеристик оптических сигналов ВОСП с использованием АОПФ // Инфокоммуникации: Сети-Технологии-Решения». – 2008. – №1. – С.3-7, (05.00.00, №2).
7. Давронбеков Д.А. Один из подходов к понятию сложной радиотехнической системы // Вестник ТУИТ. – 2008. – №4. – С.53-57, (05.00.00, №31).
8. Т.Д.Раджабов, Д.А.Давронбеков, Хакимов З.Т. Использование фильтров на ПАВ в радиотехнических системах // Вестник ТУИТ.-2009.- №1-С.59-61, (05.00.00, №31).
9. Т.Д.Раджабов, Д.А.Давронбеков, З.Т.Хакимов. Оптимизация спектральных характеристик ВОЛС // Вестник ТУИТ. – 2009. – №2. – С.62-64, (05.00.00, №31).
10. Давронбеков Д.А., Писецкий Ю.В., Халилова П.Ю. Оценка качества работы аналого-цифровых преобразователей по информативным параметрам // Вестник ТУИТ. – 2010.- №1. – С.72-76, (05.00.00, №31).
11. Писецкий Ю.В., Давронбеков Д.А. Оценка качества аналого-цифровых преобразователей по экспериментальным зависимостям // Вестник ТУИТ. – 2010. – №4. – С.87-88, (05.00.00, №31).
12. Давронбеков Д.А., Писецкий Ю.В., Турсунов Б.Б. Программы исправления последствий сбоев в автоматических системах // Вестник ТашГТУ. – 2011. – №1-2. – С.31-34, (05.00.00, №16).

13. Давронбеков Д.А., Турсунов Б.Б. Резервирование как способ повышения надежности радиотехнических систем // Вестник ТУИТ. – 2011. – №1 – С.90-93, (05.00.00, №31).

14. Давронбеков Д.А. Методика оценки надежности программного обеспечения МКСУ РЭА // Вестник ТУИТ. – 2013. – №4. – С.80-91, (05.00.00, №31).

15. Nazarov A.M., Rakhmonov A.R., Khurbanbayev Sh.Z., Mavlyanov A.Sh., Davronbekov D.A. The Device for Diagnostics of Optical Fiber Cables // European Journal of Technical and Natural Sciences. –2017. – №5.– P.82-88, (12) Index Copernicus, IСV=78.57.

16. Давронбеков Д.А., Султонова М.О., Исроилов Ж.Д. Мобил терминалларни ўғрилашдан ҳимоя қилиш учун IMEI тизими // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari. – 2018. – №3 (5). – Б.94-97, (05.00.00, №10).

17. Давронбеков Д.А. Анализ количественных показателей надежности элементов и компонентов сложных радиотехнических систем // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari. – 2019. – №2(8). – С.89-92, (05.00.00, №10).

18. Д.Давронбеков, А.Назаров. Об одном из способов диагностики элементов ВОЛС систем мобильной связи // International Scientific Journal «Science and World». – 2019. – №6(70). Vol.I. – P.18-25, (14) ResearchBib.

II бўлим (II часть; II part)

19. Раджабов Т.Д., Давронбеков Д.А., Писецкий Ю.В. Микроконтроллерная система учета отказов цифровых систем // Aloqa dunyosi. – 2006. – №1/6 [3(6)]. – С.26-29.

20. Д.А.Давронбеков, З.Т.Хакимов. Перспективы применения фильтров на ПАВ в современных системах телекоммуникаций // «Фан ва таълимда ахборот-коммуникация технологиялари» Республика илмий-амалий конференцияси: Маърузалар тўплами. II том. – Тошкент, 2006. –С.37-38.

21. Давронбеков Д.А. Модели оценки надежности программного обеспечения в зависимости от технологии его разработки // Вестник ТУИТ. – 2007. – №1. – С.76-80.

22. Джаббаров Ш.Ю., Джураев О.Р., Давронбеков Д.А., Рахматов К.Р. Алгоритм поиска неисправностей в цифровых устройствах средствами компактного тестирования // Вестник ТУИТ. – 2007. – №4. – С.59-62.

23. Hakimov Z.T., Davronbekov D.A. Equalization of Spectral Characterist of Optical Signals by Acousto-Optic Filters // 2007 3rd IEEE/IFIP International Conference in Central Asia on Internet, ICI 2007. – Tashkent, 2007. (SCOPUS), (<https://ieeexplore.ieee.org/document/4401704/>)

24. Давронбеков Д.А., Ташманов Е.Б. Методы контроля работоспособности цифровых ИМС РЭА // Шестая Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технологии связи»: Труды. – Ташкент, 2008. – С.105-107.

25. Давронбеков Д., Нурмухамедов Г., Буриходжаев О. Методика расчета интенсивности отказов цифровых интегральных микросхем // Шестая Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технологии связи»: Труды. – Ташкент, 2008. – С.179-181.

26. Radjabov T.D., Khakimov Z.T., Davronbekov D.A. Development of the Stand for Researches Spectral Characteristics of the Optical Fibre // The 9th International Conference on Electronics, Information, and Communication, ICEIC2008: Proceedings. – Tashkent, 2008. – P.410-411.

27. Давронбеков Д.А. Один из способов представления сложной радиотехнической системы // II Международный научно-технический симпозиум «Новые технологии в телекоммуникациях»: Сборник тезисов. - Вышков, 2009. – С.46-47.

28. Давронбеков Д.А., Турсунов Б.Б. Методы оценки надежности радиотехнических систем // «Электроника, автоматика и измерительная техника»: Межвузовский сборник научных трудов. – Уфа, 2011. – С.91-97.

29. B.Tursunov, D.Davronbekov. Methods of the Estimation of Structural Reliability of Radio Engineering Systems // International Conference on IT Promotion in Asia 2011. – Tashkent, 2011. – P.366-367.

30. D.Davronbekov. Testing and Diagnostics Fiber-Optic Communication Link // International Conference on IT Promotion in Asia 2011. – Tashkent, 2011. – P.218-219.

31. Давронбеков Д.А., Турсунов Б.Б. Один из способов диагностики ЦАП РЭА // Международная конференция «Актуальные проблемы развития инфокоммуникаций и информационного общества». – Ташкент, 2012 – С.216-218.

32. Radjabov T.D., Rakhimov B.N., Davronbekov D.A. Optoelectronic Devices for Automatic Diagnosis of the Physical Properties of Mechanical Disturbances, Damage Dams // Seventh World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, WCIS-2012. Vol.II. – Tashkent, 2012. – P.246-248

33. T.D.Radjabov, A.M.Nazarov, D.A.Davronbekov, Yu.V.Piseckiy, N.I.Gudkova, A.Tadjieva. Applying of the Fiber Laser for the Humidity Control in the Cable Water Drain of the Fiber-Optical Line // 2013 International Conference in Central Asia on Internet (ICI 2013). – Tashkent, 2013.

34. Давронбеков Д.А. Один из способов оценки структурной надежности сотовой системы связи // Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых, исследователей, магистрантов и студентов «Информационные технологии и проблемы телекоммуникаций»: Сборник докладов, Часть 4. – Ташкент, 2013 – С.23-24.

35. T.Radjabov, Z.Khakimov, D.Davronbekov, A.Nazarov. Improve the Spectral Characteristics of High-Speed Broadband Telecommunications Networks // XVIII Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи»: Материалы конференции. - Минск, 2013. – С.34-36.

36. Davronbekov D.A. Application of the Signature Analysis for Diagnosing of Random Access Memories of Radio-Electronic Equipment // Transactions of the

International Scientific conference «Perspectives for the Development of Information Technologies ITPA 2014». – Tashkent, 2014. – P.287-289.

37. Davronbekov D.A. Diagnosing of Read-Only Memories of Radio-Electronic Equipment // XIX Международная научно-техническая конференция «Современные средства связи»: Материалы конференции. – Минск, 2014. – С.72-73.

38. Д.А.Давронбеков, Т.А.Уразов. Волоконно-оптические полупроводниковые излучатели и приёмники // VII Международная научная конференция «Приоритетные направления в области науки и технологии в XXI веке»: Сборник статей, Том 1.-Ташкент, 2014.-С.175-178.

39. D.A.Davronbekov, U.V.Pisetskiy, T.A.Urazov. Diagnostic Methods Fiber Optic Communication Lines // Transactions of the International Scientific conference «Perspectives for the Development of Information Technologies ITPA 2014». – Tashkent, 2014. –P. 283-286.

40.Д.А.Давронбеков, Х.К.Абдуллаева. Один из способов диагностики волоконно-оптических линий связи // «Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va kelajak rivoji» Xalqaro ilmiy-texnik konferensiya: maq:olalar to`plami. 1-Tom. – Toshkent, 2015. – B.334-336.

41. Давронбеков Д.А., Уразов Т.А. Разработка структурной схемы устройства для тестирования волоконно-оптических линий связи, применяемых в радиотехнических системах // Республиканская научно-техническая конференция «Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий»: Сборник докладов. Часть 3. – Ташкент, 2015. – С.276-279.

42. Davronbekov D.A. Features of Determination of Software's Reliability // Олий ўқув юртлари профессор-ўқитувчиларнинг илмий ишлар тўплами. – ТДТУ, Тошкент. – 2015. – Б.238-239.

43. D.Davronbekov, Abdullaeva Kh.K. Technical Features of the CDMA Technology // Олий ўқув юртлари профессор-ўқитувчиларнинг илмий ишлар тўплами. – ТДТУ, Тошкент. – 2015. – Б.235-236

44. Д.А.Давронбеков, Х.К.Абдуллаева. Планирование и оптимизация сети сотовой связи по совокупности показателей качества // Олий ўқув юртлари профессор-ўқитувчиларнинг илмий ишлар тўплами. – ТДТУ, Тошкент. – 2015. – Б.297-299.

45. Д.А.Давронбеков. К определению понятия живучести сетей связи // Республиканская научно-техническая конференция «Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий»: Сборник докладов. Часть 3. – Ташкент, 2015. – с.141-143.

46. Д.А.Давронбеков. Основные свойства живучести систем связи // Республиканская научно-техническая конференция «Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий»: Сборник докладов. Часть 3. – Ташкент, 2015. – с.150-152.

47. Д.А.Давронбеков. Об одном из способов оценки надежности беспроводных сетей широкополосного доступа // VIII Международная научная конференция «Современные направления в науке и технологии»: Сборник статей. – Ташкент, 2016. – С.588-591.

48. Давронбеков Д.А. Особенности расчета надежности интегральных микросхем телекоммуникационного оборудования // «Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясини ахборот коммуникация технологиялари асосида ривожлантириш истиқболлари» Республика илмий амалий анжумани: Материаллар тўплами.- Қарши, 2016 – Б.586-587.

49. Давронбеков Д.А., Назаров А.М. Особенности функционального контроля запоминающих устройств микроконтроллерных систем управления РЭА // X международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии информационного общества»: Сборник трудов. –Москва, 2016. – С.173

50. Davronbekov D.A. Features Measurement Parameters and Control Functioning of Integrated Chips // 2016 International Conference on Information Science and Communications Technologies, ICISCT 2016. (SCOPUS) (<https://ieeexplore.ieee.org/document/7777379>)

51. Д.Давронбеков, Б.Турсунов. Программа для ЭВМ «Diagnostics DAC REA» // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство №DGU 02500, 28.05.2012.

52. Давронбеков Д.А., Хакимов З.Т., Писецкий Ю.В., Турсунов Б.Б., Иргашов Р.Ю. Calculating of REA software reliability // Программа для ЭВМ. Свидетельство о депонировании объектов интеллектуальной собственности № 1681 электронного депозитария autor.uz. 10.01.2014.

53. Давронбеков Д.А., Исроилов Ж.Д. Программа расчета топологии фильтра на поверхностно-акустических волнах // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 06872, 28.08.2019 г.

54. Давронбеков Д.А., Исроилов Ж.Д. Программа расчёта надежности системы мобильной связи GSM-900 // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Свидетельство № DGU 06873, 28.08.2019 г.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди. (08.10.2019 й.).

Босишга рухсат этилди: 01.11.2019 йил
Бичими 60x45 ¹/₈, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 4. Адади: 100. Буюртма: № _____.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.