

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

МАТЁКУБОВ ЎТКИР КАРИМОВИЧ

МОБИЛЬ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИ ИШОНЧЛИЛИГИНИ БАҲОЛАШ
МОДЕЛ ВА АЛГОРИТМЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари
ва қурилмалари. Мобиль, тола-оптик алоқа тизимлари

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

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

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

Матёкубов Ўткир Каримович

Мобиль алоқа тизимлари ишончилигини баҳолаш модел ва алгоритмларини
ишлаб чиқиш.....3

Матёкубов Уткир Каримович

Разработка моделей и алгоритмов оценки надежности систем мобильной
связи.....21

Matyokubov Utkir Karimovich

Development of models and algorithms for assessing the reliability of mobile
communication systems.....39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works43

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

МАТЁКУБОВ ЎТКИР КАРИМОВИЧ

МОБИЛЬ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИ ИШОНЧЛИЛИГИНИ БАҲОЛАШ
МОДЕЛ ВА АЛГОРИТМЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари
ва қурилмалари. Мобиль, тола-оптик алоқа тизимлари

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.2.PhD/T2215 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар: Давронбеков Дилмурод Абдужалилович
техника фанлари доктори, доцент

Расмий оппонентлар: Рахимов Бахтиёржон Неъматович
техника фанлари доктори, профессор

Ярмухамедов Алишер Агбарович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот: Ўзбекистон Республикаси Жамоат хавфсизлиги
университети

Диссертация ҳимояси Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил 24 август соат 14⁰⁰ даги мажлисида ZOOM платформаси орқали **on-line** шаклда бўлиб ўтади. **Zoom идентификатори: 330 044 4963; Код: 1.** (Манзил: 100084, Тошкент шаҳри, Амир Темур 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 (220 рақам билан рўйхатга олинган).
(Манзил: 100084, Тошкент, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (+99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2021 йил «12» август да тарқатилди.
(2021 йил «11» август даги 5 - рақамли реестр баённомаси).



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

Х.Э.Хужаматов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа
доктори (PhD), доцент

Р.М. Алиев
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар
раис ўринбосари, т.ф.д., доцент

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда ахборот-коммуникация технологиялари соҳасига бўлган эҳтиёжнинг ошиши, хусусан жамиятни узлуксиз мобиль алоқа хизматлари билан таъминлашда тизимнинг ишончлилигини баҳолаш модел ва алгоритмларини такомиллаштиришга катта эътибор қаратилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан мобиль алоқа тизимлари ишончлилигини баҳолаш моделлари ва алгоритмларини, турли алоқа линияли таянч станция – таянч станция контроллери тизимининг ишончлилик кўрсаткичларини баҳоловчи ва тузилмавий ишончлиликни ҳисобловчи дастурий таъминотлар ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада ривожланган мамлакатларда, жумладан АҚШ, Европа Иттифоқи, Япония, Жанубий Корея, Хитой ва Россияда мобиль алоқа тизимларини ишончлилигини баҳоловчи модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда.

Жаҳонда мобиль алоқа тизимларининг ишончлилигини баҳолашнинг моделлари, аналитик ифодалари ва алгоритмлари ҳамда таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимининг қурилиш тамойили ҳамда алгоритминини ишлаб чиқишга қаратилган қатор илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан алоқа линиялари турли хилда захираланган таянч станция – таянч станция контроллери тизими ишончлилигини баҳолашнинг моделлари ва аналитик ифодаларини, турлича вазиятларда мобиль алоқа тизимининг тузилмавий ишончлилигини ҳисоблашнинг алгоритмларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу билан бирга мобиль алоқа тизимидаги алоқа линияларининг тури ва захира алоқа линиялари сонининг тизим ишончлилигига таъсирини баҳолашнинг аналитик ифодаларини ишлаб чиқиш долзарб ҳисобланмоқда.

Республикамизда телекоммуникация ва ахборот технологиялари соҳасини янада такомиллаштиришга, мобиль алоқа тизимлари ишончлилигини оширишга қаратилган кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йилнинг 5 октябрдаги ПФ-6079-сонли “Рақамли Ўзбекистон-2030 стратегиясини тасдиқлаш ва уни самарали амалга ошириш чора тадбирлари тўғрисида”ги фармонида “аҳоли пунктларини Интернет тармоғига улаш даражаси, шу жумладан кенг полосали уланиш портларини 2,5 миллионгача кўпайтириш, 20 минг километр оптик-тонали алоқа линияларини қуриш ва мобиль алоқа тармоқларини ривожлантириш орқали 78 фоиздан 95 фоизга етказиш...”¹ каби вазифалар белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан мобиль алоқа тизимлари ишончлилигини баҳолаш моделлари, алгоритмлари ҳамда дастурий воситаларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йилнинг 7 февралдаги

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 5 октябрдаги ПФ-6079-сон « Рақамли Ўзбекистон-2030 стратегиясини тасдиқлаш ва уни самарали амалга ошириш чора тадбирлари тўғрисида» Фармони.

ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2018 йилнинг 7 мартдаги 185-сон “Алоқа, ахборотлаштириш ва телекоммуникация хизматлари сифатини янада яхшилашга доир чора-тадбирлар тўғрисида”ги Қарори, 2020 йилнинг 30 июнидаги 3275-сон “Телекоммуникация хизматларини кўрсатиш қоидаларини тасдиқлаш тўғрисида”ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда кўзда тутилган вазифаларни бажаришда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Ушбу тадқиқотлар фан ва технологиялари ривожланишининг IV бўлими “Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникацион технологияларни ривожлантириш” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сўнги йилларда мобиль алоқа тизимлари ишончлилигини баҳолашнинг моделлари, алгоритмлари ва унинг тузилмавий ишончлилигини ҳисоблашнинг дастурий воситаларини ҳамда таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш бўйича кенг қамровли илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Ушбу тадқиқот йўналишига P.G.James, R.R.Hain, S.Kishor, David W.Tipper (АҚШ), P.Tarvainen (Финляндия), P.Smith (Германия), Frank Yeong-Sung Lin, Yu-Shun Wang (Тайван), Upkar Varshney, Alisha D. Malloy (Грузия), В.В.Величко, Г.В.Попков, В.К.Попков, И.Л.Попов, О.Н.Ромашкова, В.А.Нетес, Б.Я.Дудник (Россия) ва бошқа таниқли ҳорижий олимларнинг илмий ишлари бағишланган. Шунингдек, белгиланган муаммони тадқиқ қилиш масалаларига республикамиз олимлари И.Х.Сиддиқов, А.Абдуазизов, А.М.Назаров, Р.И.Исаев, Д.А.Давронбеков, Н.Х.Гултўраев, Ш.Ю.Джаббаров, А.Х.Абдукадиров, Х.Э.Хужаматов, Ж.Д.Исроилов ва бошқаларнинг илмий ишлари бағишланган.

Олиб борилган таҳлил натижалари шуни кўрсатдики, таянч станция-таянч станция контроллери тизими ишончлилигини баҳолаш моделлари ва алгоритмлари, таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимининг қурилиш тамойили ва ишлаш алгоритми, алоқа линияларининг турли хилда захираланган таянч станция – таянч станция контроллери ишончлилигини баҳолашнинг модел ва аналитик ифодалари, мобиль алоқа тизимининг турлича вазиятлардаги тузилмавий ишончлилигини ҳисоблашнинг алгоритмлари ва дастурий воситаларини ишлаб чиқиш ҳамда амалиётга жорий этиш масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим ёки илмий тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети илмий тадқиқот ишлари режасининг 1-сонли “Тўртинчи авлод технологияларини қўллаган ҳолда, турли муҳитлардаги электромагнит майдони сатҳларининг тақсимланиши ва мобиль алоқа сифат кўрсаткичларининг баҳоланиши” (2018-2019) ва Uzb-Ind-2021-94-сонли “Energy Efficient Communication and

Data Flow in Smart City using CRN based IoT Framework (CRN-га асосланган IoT-дан фойдаланиладиган “Ақлли” шаҳар тизимларида энергия тежамкор алоқа ва маълумотлар оқими)” Ўзбекистон-Ҳиндистон ҳамкорлигидаги халқаро лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади мобиль алоқа тизимининг ишончлилигини баҳолашнинг моделларини, алгоритмларини ва аналитик ифодаларини ҳамда узлуксиз энергия билан таъминлаш тузилмасини ва ишлаш алгоритминини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

мобиль алоқа таянч станцияларидаги носозликлар сабабларини ва тизим ишончлилигига таъсирини тизимли таҳлил қилиш ҳамда мобиль алоқа таянч станцияларидаги носозликларни эҳтимоллар назарияси ва башоратлаш усуллари орқали баҳолаш;

турли алоқа линияларидан ташкил топган мобиль алоқа таянч станция-таянч станция контроллери тизими ишончлилигини баҳолашнинг моделлари, аналитик ифодалари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш;

турли хил захираланган алоқа линияларидан тузилган таянч станция-таянч станция контроллери тизими ишончлилигини баҳолашнинг моделлари ва аналитик ифодаларини ишлаб чиқиш;

фавқулодда вазиятлар таъсиридаги мобиль алоқа тизими тузилмавий ишончлилигини ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

мобиль алоқа таянч станцияларини узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимининг тузилмаси ва унинг ишлаш алгоритминини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида мобиль алоқа тизими, таянч станция, таянч станция контроллери, алоқа линиялари ва таянч станция электр энергия таъминоти тизими олинган.

Тадқиқотнинг предмети турли хил алоқа линияли таянч станция–таянч станция контроллери тизими ишончлилигини баҳолаш модел ва алгоритмлари ҳамда электр энергия таъминоти тизимини барқарорлаштириш жараёнлари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида қўйилган масалаларни ечишда математик моделлаштириш усуллари, эҳтимоллар ва ишонччилик назариялари усуллари, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таҳлил қилиш воситаларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

таянч станция, контроллер ҳамда мис кабель, оптик тола, радиореле алоқа линияли тизимнинг ишончлилигини баҳолаш моделлари ва алгоритмлари ишлаб чиқилган;

алоқа линиялари захираланган таянч станция - контроллер тизимини ишончлилигини баҳолаш моделлари ва аналитик ифодалари ишлаб чиқилган;

мобиль алоқа таянч станцияларининг вазият марказидаги ҳамда марказдан четдаги ҳолатлари тизимларининг тузилмавий ишончлилигини ҳисоблаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

таянч станциянинг узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимини қуриш тамойили ва ишлаш алгоритми яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

турли алоқа линияли таянч станция – таянч станция контроллери тизимининг ишончлилиги кўрсаткичларини баҳоловчи дастурий таъминот ишлаб чиқилган;

барча таянч станциялар вазият марказида жойлашганда мобиль алоқа тизимининг тузилмавий ишончилигини ҳисобловчи дастурий таъминот ишлаб чиқилган;

таянч станциялар вазият марказидан турли масофада бўлганда мобиль алоқа тизимини тузилмавий ишончилигини ҳисобловчи дастурий таъминот ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги муаммонинг тўғри баён қилиниши ва амалий тадқиқотларнинг тасдиқланиши, текширилган ҳисоблаш усуллари ва алгоритмларидан фойдаланиш, назарий ва амалий тадқиқотлар натижаларини умумий қабул қилинган мезонлар асосида қиёсий таҳлил қилиш билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти алоқа линияси захираланган ва захираланмаган ҳолатлар учун таянч станция – таянч станция контроллери тизими ишончилигини баҳолаш алгоритмлари, моделлари ва аналитик ифодаларини, мобиль алоқа тизимининг икки ҳолати учун тузилмавий ишончилиликни ҳисоблаш алгоритмларини ҳамда таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимининг қуриш тамойили ва алгоритми ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Диссертация иши натижаларининг амалий аҳамияти мобиль алоқа тизимлари ишончилигини ҳисоблаш жараёнини қисқартиришга имкон берадиган таянч станция – таянч станция контроллери тизимининг уч хил ҳолатдаги алоқа линиялари учун ишончилиликнинг миқдорий кўрсаткичларини баҳоловчи ҳамда мобиль алоқа таянч станцияларининг вазият марказида ва марказдан четдаги ҳолатларда тизимнинг тузилмавий ишончилигини ҳисоблашга имкон берувчи дастурий таъминотларни ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Мобиль алоқа тизимлари ишончилигини баҳолаш модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

таянч станция, контроллер ҳамда мис кабель, оптик тола, радиореле алоқа линияли ва алоқа линиялари захираланган таянч станция - контроллер тизимларининг ишончилигини баҳолаш моделлари, аналитик ифодалари, алгоритмлари ва дастурий таъминотлари Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги корхоналарда, хусусан «ALOQALOYINA» ДУК ҳамда «UNICON.UZ» ДУКга жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 2 июндаги 33-8/3972-сон маълумотномаси). Натижада мобиль алоқа тизимининг ишончилиги кўрсаткичларининг ҳисоблаш вақти 2 баробаргача қисқарган;

мобиль алоқа таянч станцияларининг вазият марказидаги ҳамда

марказдан четдаги ҳолатлари тизимларининг тузилмавий ишончлилигини ҳисоблаш алгоритмлари ва таянч станциянинг узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимини куриш тамойили ва ишлаш алгоритми «Ўзбектелеком» АК «Узмобиайл» филиалига ҳамда «FALCON TELECOM EXPERT» МЧЖга жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 2 июндаги 33-8/3972-сон маълумотномаси). Натижада мобиль алоқа тизимининг ишончлилиги ва тузилмавий ишончлилигини баҳолаш вақтини 2 баробаргача қисқартиришга эришилган, таянч станция – таянч станция контроллери тизимида иккита захира линиясидан фойдаланиб юқори даражадаги ишончлилик ҳамда самарадорликка эришилган, мобиль алоқа тизимидаги рад этишларни тадқиқ қилишда Тейла Вейджа моделида олинган натижалар реал носозликлардан 10 фоизгача фарқланган, таянч станция электр энергия таъминоти тизимининг узлуксиз ишлаш самарадорлигини 3-3,5 фоизга оширишга эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Ушбу тадқиқот натижалари 4 та халқаро, 7 та республика илмий-техник ва илмий-амалий конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқотлар мавзуси бўйича жами 25 та илмий ишлар чоп этилган, улардан 11 та мақолалар Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан тавсия этилган журналларда, шу жумладан 9 та ҳорижий, 2 та республика журналларида чоп этилган, шунингдек ЭҲМ учун дастурий маҳсулотларни рўйхатдан ўтказиш бўйича 3 та қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши 112 бетга эга бўлиб, кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯ ИШИНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Киришда диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, мақсад ва вазифалар шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предметлари аниқланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси илм-фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги аниқлаштирилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари келтирилган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, амалиётга жорий этилган тадқиқот натижалари, нашр этилган ишлар ва диссертация ишининг тузилмаси бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертация ишининг «Мобиль алоқа тизимида ишончлилик масалалари таҳлили ва ҳолати» деб номланган биринчи бобида мобиль алоқа тизими ишончлилигини миқдорий кўрсаткичларини назарий-аналитик таҳлили ва ишончлилик кўрсаткичларининг аналитик ифодалари келтирилган. Мобиль алоқа тизими ишончлилигини оширишдаги асосий ёндашувларнинг таҳлили ва ишончлиликни ошириш усуллари кўриб

чиқилган ҳамда таснифланган.

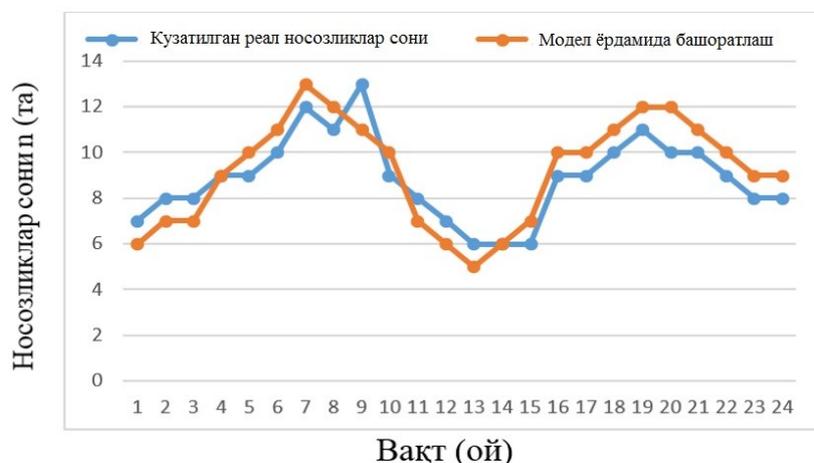
Тизим ишончилигининг миқдорий кўрсаткичларини назарий-аналитик таҳлили асосида мобиль алоқа тизими қайта тикланадиган тизимлиги ҳамда ишончилигининг миқдорий кўрсаткичлари сифатида қайта тикланиш эҳтимоллиги, қайта тикланиш интенсивлиги (жадаллиги), рад этиш интенсивлиги (бузилишларнинг жадаллиги), ўртача тикланиш вақти, рад этмасдан (бузилмасдан) ишлаш эҳтимоллиги, биринчи рад этишгача ишлаш эҳтимоллиги ҳамда комплекс (тайёрлик, оператив фойдаланиш, фойдаланиш коэффицентлари) кўрсаткичлар орқали баҳоланиши аниқланган.

Мобиль алоқа тизимлари ишончилигини оширишдаги асосий ёндашувлар таҳлил қилинган. Носозликлар асосан ташқи омиллар натижасида пайдо бўлиши аниқланиб тизимнинг асосий элементларидаги носозликлар сабаблари ва уларни бартараф қилиш усуллари келтирилган.

Мобиль алоқа тизими элементларининг ишончилигини ошириш усуллари таҳлил қилинган ҳамда ишончилиқни оширишда захиралаш усули самарали эканлиги аниқланган.

«Мобиль алоқа тизимларида носозликларни баҳолаш ва башоратлаш усуллари тадқиқ қилиш» деб номланган иккинчи боби мобиль алоқа тизими элементларининг эксплуатация кўрсаткичларини аниқлаш, таянч станциялар ишончилигини баҳолаш ва улардаги носозликларни башоратлаш усуллари тадқиқига бағишланган.

Таянч станцияларда рад этишларнинг содир бўлиш сабаблари аниқланган ва уларнинг миқдорий кўрсаткичларини ифодалари келтирилган. Таянч станцияларнинг ишончилиги эҳтимоллик тақсимот ёрдамида баҳоланган ва эҳтимолий бузилишларнинг сабаблари сифатсиз назорат ва хизмат, ишлаб чиқаришдаги нуқсонлар ҳамда эҳтиёт қисмларининг эскириши эканлиги аниқланган. Мобиль алоқа тизими носозликларини тадқиқ этиш мақсадида башоратлаш усуллари таҳлил қилинган ҳамда чизиқли тенденцияни, мавсумийликни ва кўшимча тенденцияларни ҳисобга оладиган Тейла-Вейджа модели танланган. Тейла-Вейджа модели ёрдамида башоратлаш натижалари реал носозликлардан 0-10% оралиғида фарқланиши аниқланган. Тейла-Вейджа модели ёрдамида олинган носозликларни башоратлаш натижалари 1-расмда келтирилган.



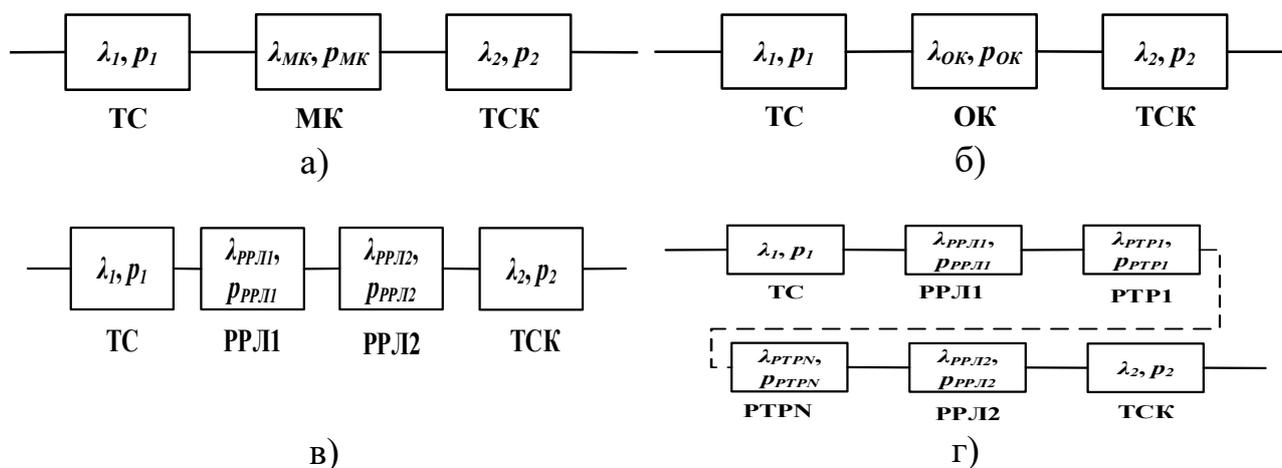
1-расм. Тейла-Вейджа модели ёраида носозликлар сонини башоратлаш

«Мобиль алоқа тизимларининг ишончлилигини баҳолаш моделларини ва алгоритмларини ишлаб чиқиш» номли учинчи боби алоқа линиялари захираланмаган ва захираланган ТС-ТСК (ТС – таянч станция, ТСК-таянч станция контроллери) тизими ишончлилигини баҳолаш моделлари, аналитик ифодалари ва алгоритмлари, алоқа линияларининг тури ва сонининг тизим ишончлилишига таъсирининг тадқиқи ҳамда мобиль алоқа тизимининг тузилмавий ишончлилигини ҳисоблашнинг алгоритмларини ишлаб чиқишга бағишланган.

Мобиль алоқа тизимининг ишончлилигини баҳолаш учун аналитик ифодаларни ишлаб чиқишда қуйидагилар қабул қилинган:

- мобиль алоқа тизими нормал ишлатиш даврида ишлайди;
- мобиль алоқа тизимидаги рад этишлар ва узилишлар экспоненциал тақсимот қонунига бўй сунади;
- мобиль алоқа тизимининг ташкил этувчиларидан исталганининг рад этиши бутун тизимнинг рад этишига олиб келади.

2-расмда ТС-ТСК алоқа линияси мис кабеллар (МК) (2,а-расм), оптик кабеллар (ОК) (2,б-расм), репитерсиз радиорелели алоқа линияси (РРЛ) (2,в-расм) ва репитерли радиорелели алоқа линияси (РТР) (2,г-расм) асосида ташкил қилинган тизимнинг ишончлилик бўйича элементлар уланишининг тузилмавий моделлари келтирилган.



2-расм. ТС-ТСК тизимнинг ишончлилик бўйича элементлар уланишининг тузилмавий моделлари

2,а-расмдаги ҳолат учун тизимнинг рад этиш интенсивлиги $\Lambda_{ум(МК)}$ ва тизимнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги $P_{ум(МК)}$ қуйидагича аниқланади:

$$\Lambda_{ум(МК)} = \lambda_1 + \lambda_{МК} + \lambda_2 = \lambda_1 + l_{МК} \cdot \lambda_3 + \lambda_2; \quad P_{ум(МК)} = e^{-(\lambda_1 + l_{МК} \cdot \lambda_3 + \lambda_2) \cdot t}; \quad (1)$$

бу ерда: λ_1 - ТСнинг рад этиш интенсивлиги [1/соат];

λ_2 - ТСКнинг рад этиш интенсивлиги [1/соат];

$\lambda_{МК}$ - мис кабелнинг рад этиш интенсивлиги [1/соат];

$$\lambda_{МК} = l_{МК} \cdot \lambda_3, \quad (2)$$

$l_{МК}$ – ТС-ТСК мис кабелли алоқа линиясининг узунлиги [км];

λ_3 - бир км узунликдаги мис кабелнинг рад этиш интенсивлиги $[1/(соат \cdot км)]$;

$\lambda_{ок}$ - оптик толани рад этиш интенсивлиги $[1/соат]$:

$$\lambda_{ок} = l_{ок} \cdot \lambda_4. \quad (3)$$

2,б-расмдаги ҳолат учун тизимнинг рад этиш интенсивлиги $\Lambda_{ум(ок)}$ ва тизимнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги $P_{ум(ок)}$ қуйидагича аниқланади:

$$\Lambda_{ум(ок)} = \lambda_1 + \lambda_{ок} + \lambda_2 = \lambda_1 + l_{ок} \cdot \lambda_4 + \lambda_2; \quad P_{ум(ок)} = e^{-(\lambda_1 + l_{ок} \cdot \lambda_4 + \lambda_2) \cdot t}; \quad (4)$$

бу ерда: $l_{ок}$ - ТС-ТСК оптик кабелли алоқа линиясининг узунлиги $[км]$;

λ_4 - бир км узунликдаги оптик кабелнинг рад этиш интенсивлиги $[1/(соат \cdot км)]$.

2,в- ва 2,г-расмлардаги ҳолатлар учун тизимнинг рад этиш интенсивликлари $\Lambda_{ум(ррл)}$, $\Lambda_{ум(рмп)}$ ва тизимнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимолликлари $P_{ум(ррл)}$, $P_{ум(рмп)}$ қуйидаги ифодалар билан аниқланади:

$$\Lambda_{ум(ррл)} = \lambda_1 + \lambda_{ррл1} + \lambda_{ррл2} + \lambda_2; \quad P_{ум(ррл)} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_{ррл1} + \lambda_{ррл2} + \lambda_2) \cdot t}, \quad (5)$$

бу ерда: $\lambda_{ррл1}, \lambda_{ррл2}$ - РРЛларнинг рад этиш интенсивлиги $[1/соат]$.

Агар $\lambda_{ррл1} = \lambda_{ррл2} = \lambda_{ррл}$ ва $P_{ррл1} = P_{ррл2} = P_{ррл}$ бўлса у ҳолда,

$$\Lambda_{ум(ррл)} = \lambda_1 + 2 \cdot \lambda_{ррл} + \lambda_2; \quad P_{ум(ррл)} = e^{-(\lambda_1 + 2 \cdot \lambda_{ррл} + \lambda_2) \cdot t}, \quad (6)$$

$$\Lambda_{ум(рмп)} = \lambda_1 + \lambda_{ррл1} + \lambda_{ррл2} + \sum_{i=1}^N \lambda_{рmpi} + \lambda_2; \quad P_{ум(рмп)} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{ррл1} + \lambda_{ррл2} + \sum_{i=1}^N \lambda_{рmpi}) \cdot t}, \quad (7)$$

бу ерда: $\lambda_{рmpi}$ - i -РТРларнинг рад этиш интенсивлиги $[1/соат]$.

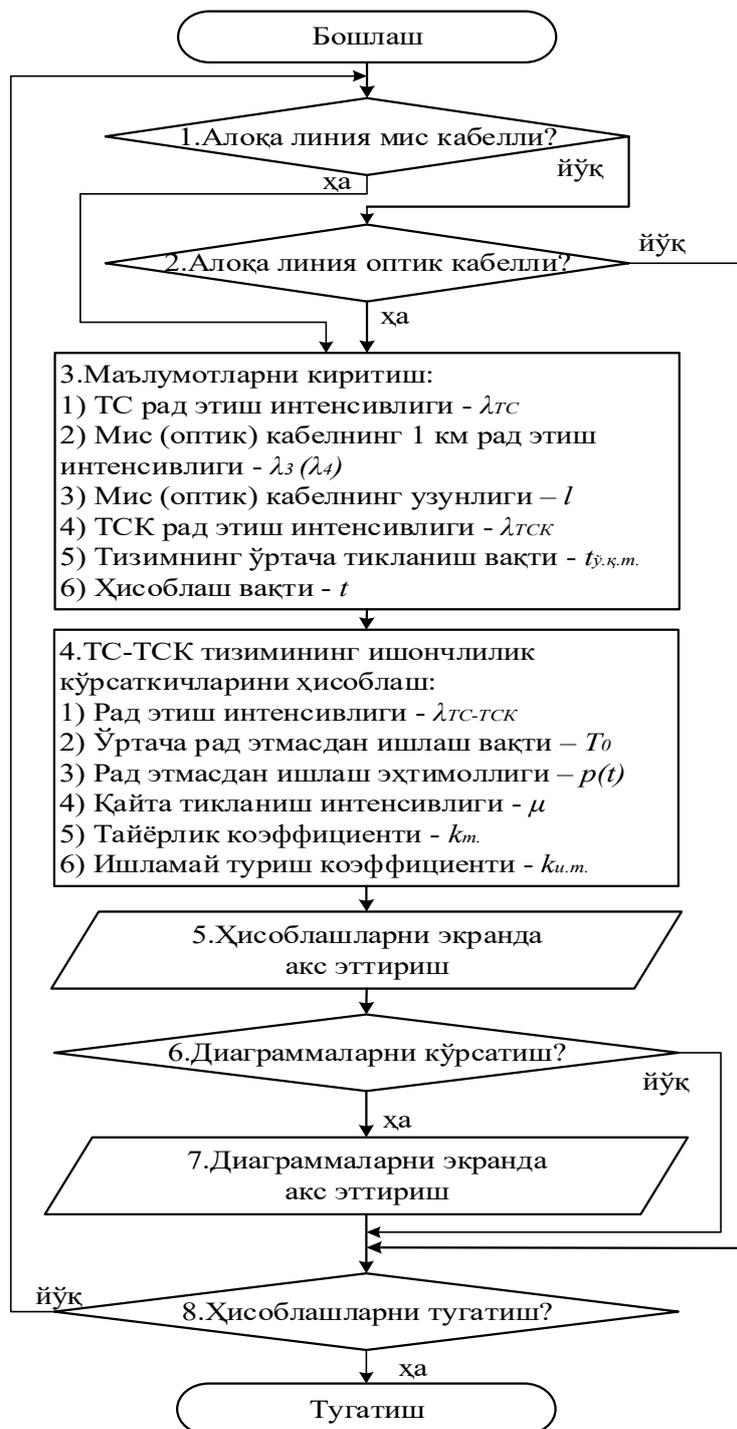
Агар $\lambda_{ррл1} = \lambda_{ррл2} = \lambda_{ррл}$, $\lambda_{рmpi} = \lambda_{рмп}$, $P_{ррл1} = P_{ррл2} = P_{ррл}$, $P_{рmpi} = P_{рмп}$ ва репитерлар сони N та бўлса у ҳолда,

$$\Lambda_{ум(рмп)} = \lambda_1 + 2 \cdot \lambda_{ррл} + N \cdot \lambda_{рмп} + \lambda_2; \quad P_{ум(рмп)} = e^{-(\lambda_1 + 2 \cdot \lambda_{ррл} + N \cdot \lambda_{рмп} + \lambda_2) \cdot t}. \quad (8)$$

ТС-ТСК тизимининг ишончлилик бўйича элементларни уланишининг тузилмавий моделлари ва аналитик ифодалари ёрдамида ишончлилик кўрсаткичларини ҳисоблаш алгоритмлари ҳамда дастурий таъминоти ишлаб чиқилган. Алоқа линияси мис кабел ҳамда оптик кабелдан тузилган ТС-ТСК тизимининг ишончлилигини баҳолаш алгоритми 3-расмда келтирилган.

Бу алгоритмда келтирилган блоклар қуйидаги вазифаларни бажаради:

1-блок ТС-ТСК тизими алоқа линияси мис кабелдан тузилганлигини аниқлаштиради. Алоқа линияси мис кабелдан тузилган бўлса 3-блокда ҳисоблашлар учун зарур бўлган дастлабки маълумотлар киритилади, акс ҳолда жараён 2-блокда давом эттирилади;



3-расм. Алоқа линияси мис кабел ёки оптик кабелдан тузилган ТС-ТСК тизимининг ишончлилигини баҳолаш алгоритми

2-блок ТС-ТСК тизими алоқа линияси оптик кабелдан тузилганлигини аниқлаштиради. Алоқа линияси оптик кабелдан тузилган бўлса жараён 3-блокда давом эттирилади, акс ҳолда 8-блокга ўтилади;

3-блокда ишончлилик кўрсаткичларини ҳисоблаш учун тизим элементларининг зарур бўлган дастлабки маълумотлари киритилади;

4-блокда алоқа линияси мис ёки оптик толали кабелдан тузилган ТС-ТСК тизимининг қуйидаги ишончлилик кўрсаткичлари ҳисобланади: ТС-ТСК тизимининг рад этиш интенсивлиги, ўртача рад этмасдан ишлаш вақти, рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги, қайта тикланиш интенсивлиги, тайёрлик

ва ишламай туриш коэффициенти;

5-блок натижаларни экранда акс эттириш вазифасини бажаради;

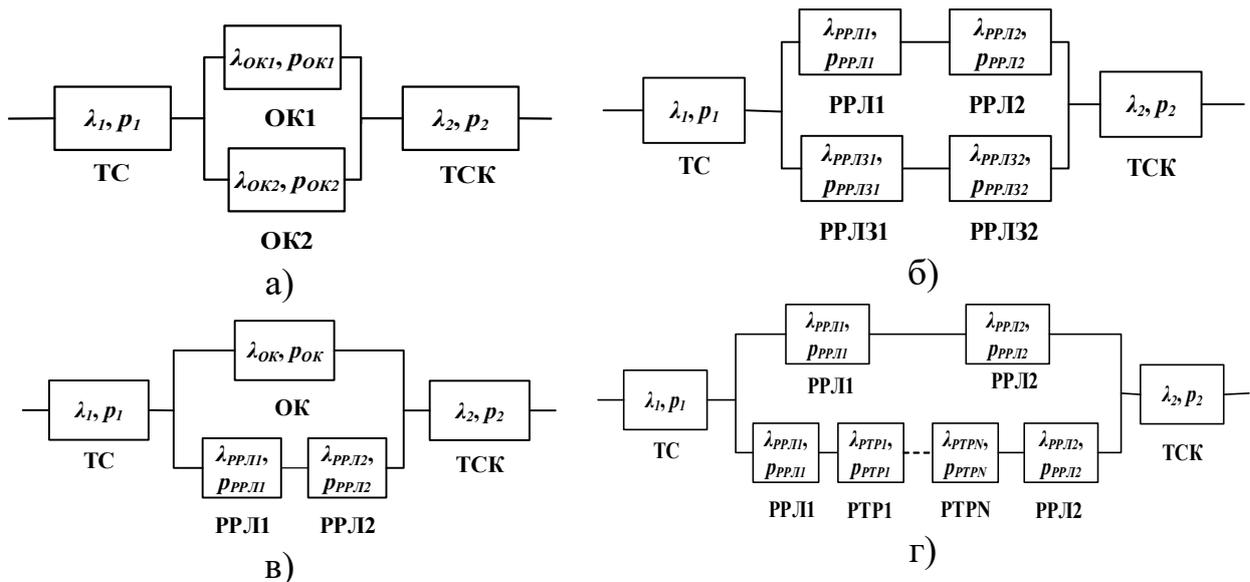
6-блок ҳисоблаш натижаларини диаграмма кўринишда акс эттиришни аниқлаштиради. Диаграмма зарур бўлмаса 8-блокга ўтилади;

7-блокда ҳисоблаш натижаларини диаграммалар ёрдамида солиштириш имконияти яратилади;

8-блокда ҳисоблашлар жараёни тугатилиши аниқланади. Агар ҳисоблашларни такрор ўтказиш керак бўлса 1-блокга ўтилади, акс ҳолда тугатилади.

Радиорелели алоқа линияси репитерли ва репитерсиз тузилган ТС-ТСК тизимининг ишончлилигини ҳисоблаш алгоритми ҳам ишлаб чиқилган ва бу диссертация ишида келтирилган.

Захираланган алоқа линияли ТС-ТСК тизимининг турли ҳолатлари (асосий ва захира алоқа линиялари – оптик кабелли (ОК), мис кабелли (МК), радиорелейли репитерсиз (РРЛ), радиорелели репитерли (РТР) ҳамда алоқа линиялари асосий/захира комбинациялари – ОК/МК, ОК/РРЛ, ОК/РТР, МК/РРЛ, МК/РТР, РРЛ/РТР) учун ишончлилик бўйича элементларни уланишининг тузилмавий моделлари (4-расм) ва ишончлиликни ҳисоблашнинг аналитик ифодалари ишлаб чиқилган.



4-расм. Захираланган алоқа линияли ТС-ТСК тизимининг ишончлилик бўйича элементлар уланишининг тузилмавий моделлари: а) алоқа линияси ОК/ОК; б) алоқа линияси РРЛ/ РРЛ; в) алоқа линияси ОК/РРЛ; г) алоқа линияси РРЛ/РТР

4,а-расмдаги ОК/ОК ҳолати учун ТС-ТСК тизимининг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллигини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари қуйидагича аниқланади:

$$P_{\text{ум}(ок1,ок2)} = p_1 \cdot p_2 \cdot [1 - (1 - p_{ок1}) \cdot (1 - p_{ок2})] = p_1 \cdot p_2 \cdot (p_{ок1} + p_{ок2} - p_{ок1} \cdot p_{ок2}), \quad (9)$$

бу ерда: p_1 - ТСнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги;

p_2 - ТСКнинг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллиги;

$P_{ок1}, P_{ок2}$ - оптик кабелли алоқа линияларининг рад этмасдан ишлаш эҳтимолликлари.

Агар $l_{ок1} = l_{ок2} = l_{ок}; P_{ок1} = P_{ок2} = P_{ок}$ бўлса у ҳолда:

$$P_{ум(ок,ок)} = 2 \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + l_{ок} \cdot \lambda_4)t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2l_{ок} \cdot \lambda_4)t} \quad (10)$$

4,б-расмдаги РРЛ/РРЛ ҳолати учун ТС-ТСК тизимининг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллигини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари қуйидагича аниқланади:

$$P_{ум(ррл,ррл)} = 2 \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \lambda_{ррл})t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 4 \cdot \lambda_{ррл})t}, \quad (11)$$

бу ерда $p_{ррл1} = p_{ррл2} = p_{ррл3} = p_{ррл4} = p_{ррл}, \lambda_{ррл1} = \lambda_{ррл2} = \lambda_{ррл3} = \lambda_{ррл4} = \lambda_{ррл}$;

$P_{ррл3}, P_{ррл4}$ - захира РТРларининг рад этмасдан ишлаш эҳтимолликлари.

4,в-расмдаги ОК/РРЛ ҳолати учун ТС-ТСК тизимининг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллигини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари қуйидагича аниқланади:

$$P_{ум(ок,ррл)} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \lambda_{ррл})t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + l_{ок} \cdot \lambda_4)t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + l_{ок} \cdot \lambda_4 + 2 \cdot \lambda_{ррл})t}, \quad (12)$$

бу ерда: $\lambda_{ррл1} = \lambda_{ррл2} = \lambda_{ррл}; P_{ррл1} = P_{ррл2} = P_{ррл}$.

4,г-расмдаги РРЛ/РТР ҳолати учун ТС-ТСК тизимининг рад этмасдан ишлаш эҳтимоллигини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари қуйидагича аниқланади:

$$P_{ум(ррлртр)} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \lambda_{ррл}^* + N \cdot \lambda_{ртр})t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{ррл})t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \lambda_{ррл} + 2 \cdot \lambda_{ррл}^* + N \cdot \lambda_{ртр})t}, \quad (13)$$

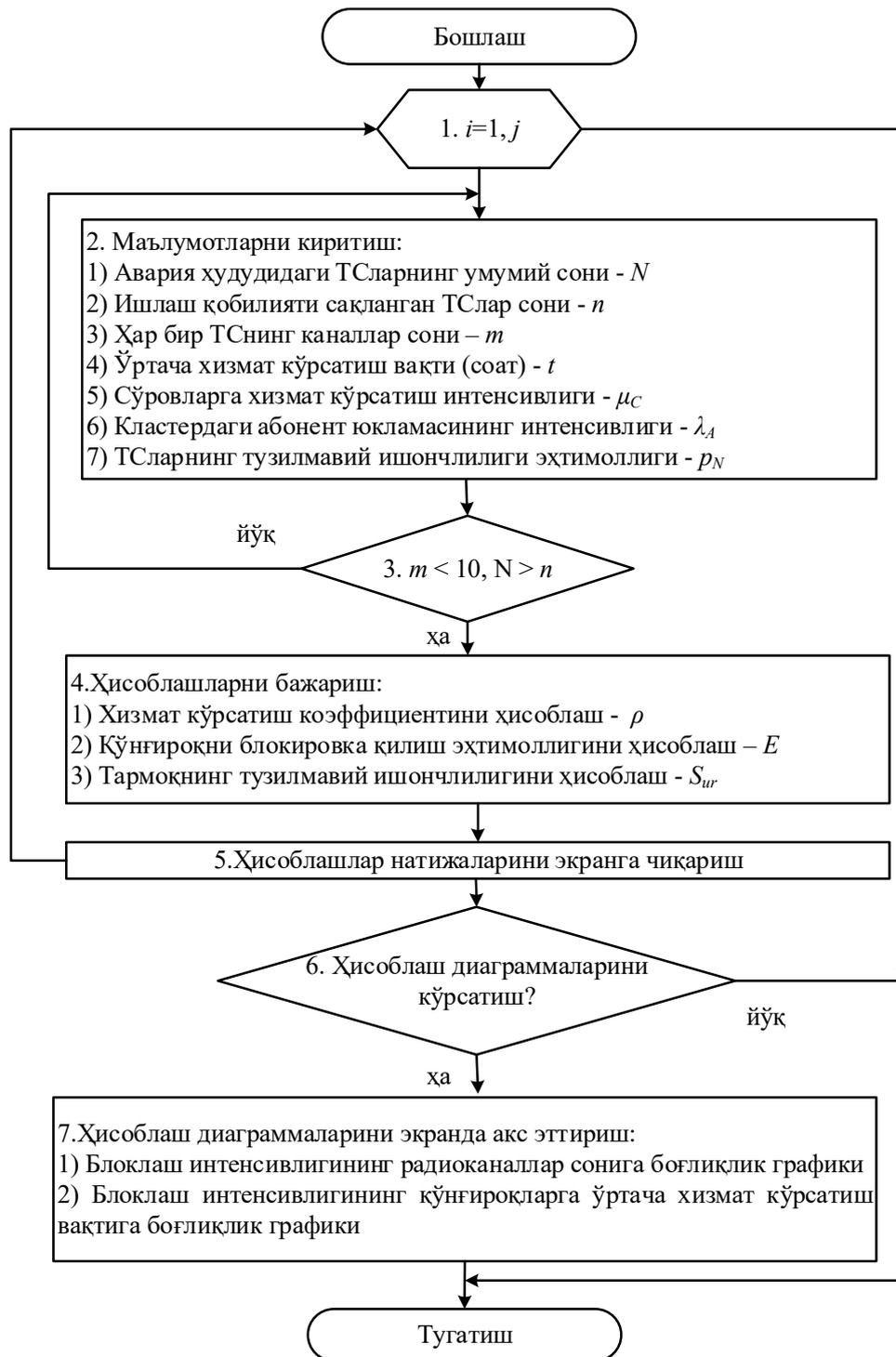
бу ерда: $\lambda_{ррл1} = \lambda_{ррл2} = \lambda_{ррл}^*, P_{ррл1} = P_{ррл2} = P_{ррл}, P_{ртр1} = \dots = P_{ртрN} = P_{ртр}, \lambda_{ртр1} = \dots = \lambda_{ртрN} = \lambda_{ртр}$.

Ишлаб чиқилган алоқа линияси МК/МК, РТР/РТР, МК/ОК, МК/РРЛ, МК/РТР, ОК/РТРлардан ташкил топган ТС-ТСК тизимининг ишончилилик бўйича элементлар уланишининг тузилмавий моделлари ва тизимнинг ишончилигини ҳисоблашнинг аналитик ифодалари диссертация ишида келтириб ўтилган.

ТС-ТСК тизимида захираланган алоқа линиялари сонининг ишончилиликка таъсири ўрганилган. ТС-ТСК тизими захираланган алоқа линиялари тури бир хил, тури ҳар хил ҳолатлар учун тизим ишончилиги бўйича ҳисоблашлар олиб борилган ва алоқа линияларини самарали захиралашда 2 та захира линиясидан фойдаланиш етарли эканлиги исботланган.

Мобиль алоқа тизимининг вазият марказида (5-расм) ҳамда марказдан четдаги ҳолатлари учун тузилмавий ишончилиликни ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган.

5-расмда келтирилган алгоритмдаги блоклар қуйидаги вазифаларни бажаради: 1-блок ҳисоблаш натижаларини солиштириш учун турлича маълумотлар киритилишини таъминлайди;



5-расм. Мобиль алоқа таянч станциялари вазият марказида бўлган ҳолат учун тузилмавий ишончилиликни ҳисоблаш алгоритми

2-блокда тизимнинг тузилмавий ишончилигини ҳисоблаш учун зарур бўлган дастлабки маълумотлар киритилади;

3-блокда ҳар бир таянч станциянинг каналлар сони, тизимдаги барча таянч станциялар сони ва ишлаш қобилияти сақланган таянч станциялар сони аниқлаштирилади. Киритилган маълумотлар ҳисоблаш учун етарли бўлса жараён 4-блокга акс ҳолда 2-блокга ўтказилади;

4-блокда тизимнинг тузилмавий ишончилилик кўрсаткичлари ҳисобланади;

5-блокда олинган ҳисоблаш натижаларини умумлаштириб экранда акс эттириш вазифаси бажарилади;

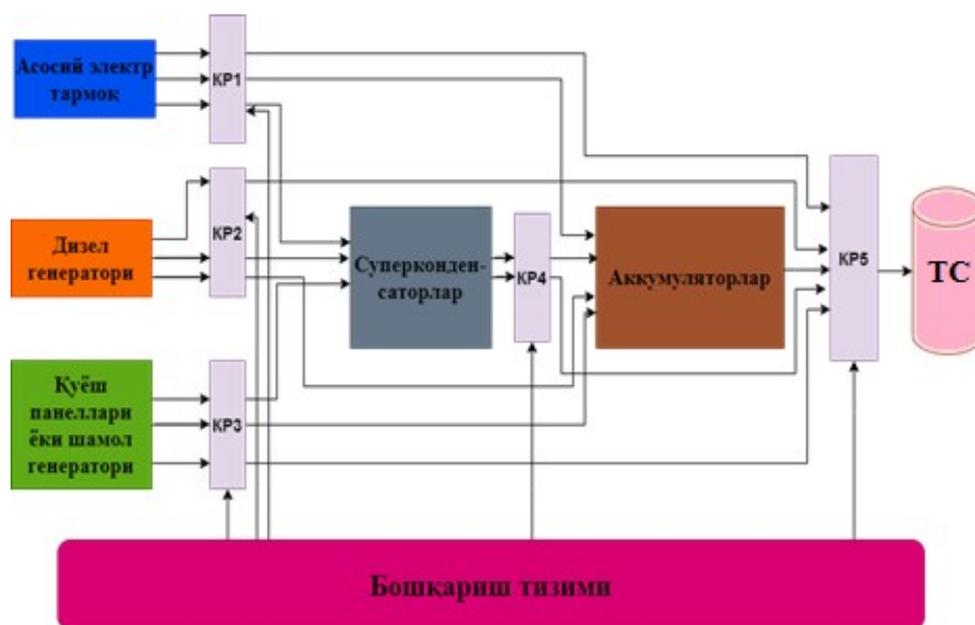
6-блокда тизимнинг тузилмавий ишончлилик кўрсаткичларини диаграмма кўринишида акс эттирилиши аниқлаштирилади. Агар диаграмма зарур бўлмаса ҳисоблаш жараёни тугатилади;

7-блокда ҳисоблаш натижаларини диаграммалар ёрдамида солиштириш имконияти яратилади.

Мобиль алоқа таянч станциялари вазият марказидан четда бўлган ҳолат учун тузилмавий ишончлиликни ҳисоблаш алгоритми ҳам ишлаб чиқилган ва бу диссертация ишида келтирилган.

«Мобиль алоқа таянч станциясини узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимининг тузилмаси ва ишлаш алгоритмини яратиш» номли тўртинчи бобда таянч станциялардаги носозликларни келиб чиқиш сабаблари ва таянч станцияларнинг электр энергия таъминоти самарадорлигини ошириш усуллари ўрганилиб, таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимининг тузилмаси ва унинг ишлаш алгоритми ишлаб чиқилган.

6-расмда ишлаб чиқилган таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимининг тузилмаси келтирилган.



6-расм. Таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимининг тузилмаси

6-расмдаги 1-КР, 2-КР, 3-КР, 4-КР, 5-КР контроллерлар бўлиб ўзига бириктирилган электр энергия манбаини тақсимлайди ва назорат қилади. Ҳар бир контроллер мустақил равишда бошқарилади ва бошқариш тизими компонентлар орасидаги электр энергия оқими назоратини эътиборга олади.

1-КР – асосий электр энергия манбаидан олинаётган энергияни керакли қисмини таянч станцияга узатади ва аккумулятор ва суперконденсаторларни керакли энергия тўплашини назорат қилади ҳамда нормал қийматга етганда уларни энергия манбаидан ажратади. Ушбу вазифаларни 2-КР ва 3-КР

контроллерлар ҳам бажаради, уларга бириктирилган энергия манбаини мос равишда дизель генератори ва қуёш панеллари ёки шамол генераторини улайди. 4-КРнинг вазифаси суперконденсатор энергиясини аккумуляторга узатиш ҳисобланади. Агарда таянч станция юқори энергияни талаб қилса, суперконденсатордан тўғридан-тўғри таянч станцияга электр энергияси узатилади. 5-КР тизимдаги энг асосий контроллер бўлиб, таянч станцияга тизимли, тартиблашган электр энергиясини узатилишини назоратлайди. У аввало электр манбаларидан келаётган электр энергияни мувофиқлаштиради.

7-расмда таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизими тузилмасининг ишлаш алгоритми келтирилган ва унинг ишлаш кетма кетлиги қуйидагича:

1-қадам. Қуйидаги ўзгарувчилар киритилади: ТС ишлаши $W_{ТС}$, суперконденсаторлар зарядланиши $W_{СК}$ ва аккумуляторлар зарядланиши $W_{АК}$ учун зарур бўлган нормал энергия; маҳаллий электр таъминоти энергияси $W_{МЭЭТ}$; дизель генератори ишлаб чиқарадиган энергия $W_{ДГ}$; қайта тикланувчан электр таъминоти манбалари ишлаб чиқарадиган энергия $W_{КТЭТМ}$;

2-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} \geq W_{уcм1}$ бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда 3-қадамга ўтилади ($W_{уcм1} = W_{ТС} + W_{СК} + W_{АК}$, бу ерда $W_{уcм.1}$ 1- истеъмолчи);

3-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} \geq W_{уcм2}$ бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда 4-қадам ($W_{уcм2} = W_{ТС} + W_{АК}$, бу ерда $W_{уcм.2}$ 2- истеъмолчи);

4-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} \geq W_{уcм3}$ ($W_{уcм3} = W_{ТС}$, бу ерда $W_{уcм.3}$ 3- истеъмолчи) бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда $W_{АК}$, $W_{СК}$ лар $W_{МЭЭТ}$, $W_{КТЭТМ}$, $W_{ДГ}$ лардан етарли энергия олишгача таянч станцияни электр энергияси билан таъминлайди. Бунда суперконденсатор энергияси охириги энергия манбаи ҳисобланади;

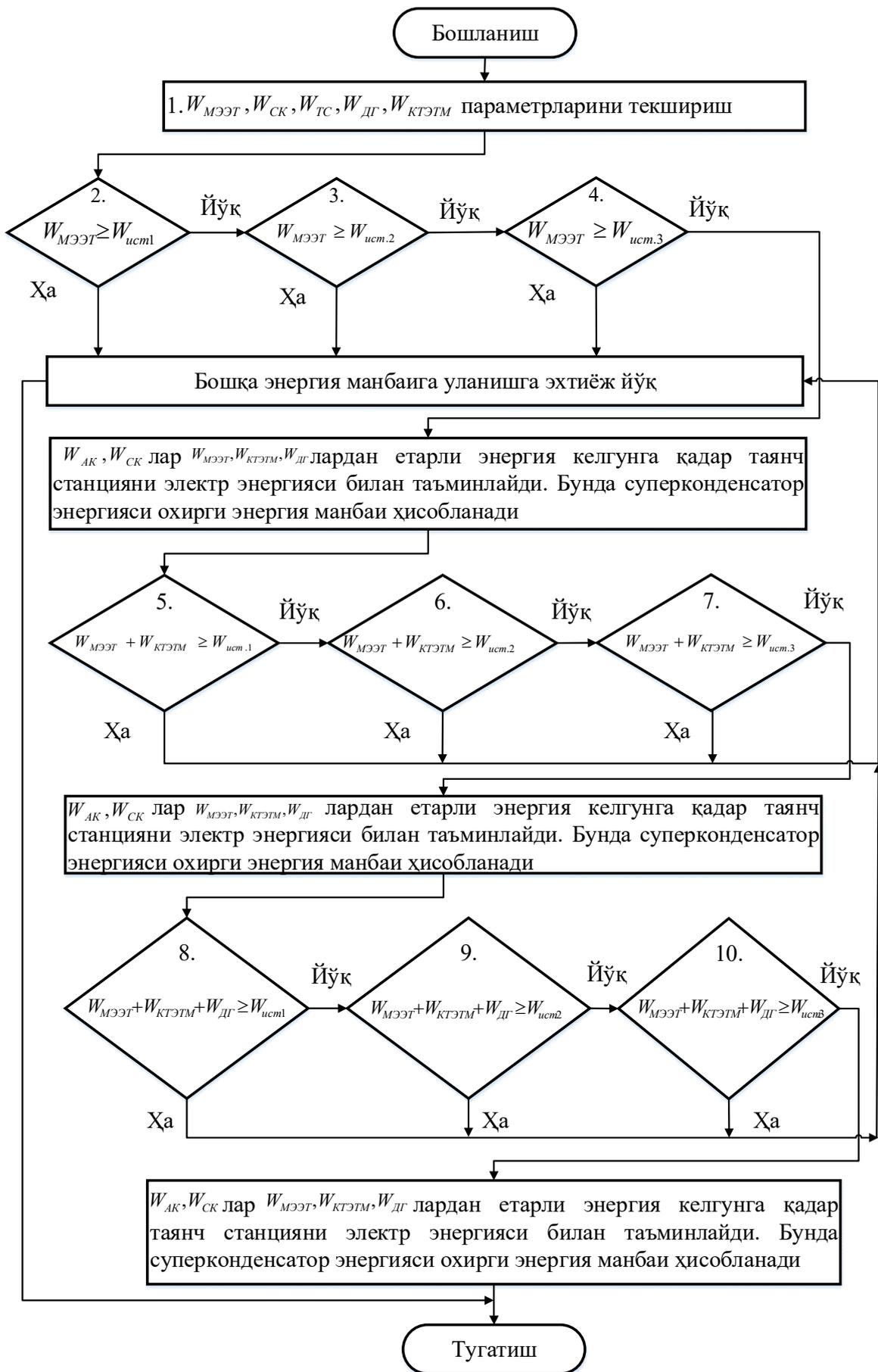
5-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} + W_{КТЭТМ} \geq W_{уcм1}$ бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда 6-қадам;

6-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} + W_{КТЭТМ} \geq W_{уcм2}$ бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда 7-қадам;

7-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} + W_{КТЭТМ} \geq W_{уcм3}$ бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда $W_{АК}$, $W_{СК}$ лар $W_{МЭЭТ}$, $W_{КТЭТМ}$, $W_{ДГ}$ лардан етарли энергия олишга қадар таянч станцияни электр энергияси билан таъминлайди.

8-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} + W_{КТЭТМ} + W_{ДГ} \geq W_{уcм1}$ бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда 9-қадамга ўтилади;

9-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} + W_{КТЭТМ} + W_{ДГ} \geq W_{уcм2}$ бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда 10-қадамга ўтилади;



7-расм. Таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизими тузилмасининг ишлаш алгоритми

10-қадам. Агар $W_{МЭЭТ} + W_{КТЭТМ} + W_{ДГ} \geq W_{исмз}$ бўлса бошқа энергия манбаига уланишга эҳтиёж йўқ акс ҳолда $W_{АК}$, $W_{СК}$ лар $W_{МЭЭТ}$, $W_{КТЭТМ}$, $W_{ДГ}$ лардан етарли энергия олишгача таянч станцияни электр энергияси билан таъминлайди, бунда суперконденсатор энергияси охириги энергия манбаи ҳисобланади.

ХУЛОСА

“Мобиль алоқа тизимлари ишончилигини баҳолаш модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш” мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги ҳулосалар тақдим этилади:

1. Мобиль алоқа тизимининг таянч станцияларини ишончилигини эҳтимоллик тақсимотлари ва башоратлаш усуллари ёрдамида станциялар иш фаолияти баҳоланган ҳамда эҳтимолий ишдан чиқишларнинг сабаблари аниқланган. Таянч станциялардаги носозликларни башоратлашда Тейла-Вейджа модели танланган ва олинган натижалар реал носозликлардан 0-10 фоиз оралиғида фарқланиши исботланган.

2. Мис кабел, оптик тола, радиореле алоқа линияли таянч станция – таянч станция контроллери тизимининг ишончилигини баҳолаш моделлари, алгоритмлари, аналитик ифодалари ҳамда дастурий таъминоти ишлаб чиқилган. Яратилган моделлар, алгоритмлар, аналитик ифодалар, ҳамда таянч станция – таянч станция контроллери тизимининг ишончилигини ҳисоблаш дастурий таъминоти ҳисоблаш вақтини 2 баробаргача қисқартиришга имкон берган.

3. Захираланган турли ҳил алоқа линияли таянч станция – таянч станция контроллери тизими ишончилигини баҳолаш моделлари ва аналитик ифодалари ишлаб чиқилган. Таянч станция – таянч станция контроллери тизимида захираланган алоқа линиялари сонининг ишончилиқка таъсири тадқиқ қилинган ҳамда иккита захира линияси юқори даражадаги ишончилиқни таъминлаши исботланган.

4. Мобиль алоқа тизимининг барча таянч станциялари вазият марказида ва уларнинг ишончилиғи бир хил ҳамда таянч станциялар вазият марказидан узоқлашганда уларни ишончилиғи ортиб боради деб ҳисобланган ҳолатлари учун тузилмавий ишончилиқни ҳисоблаш алгоритмлари, дастурий таъминотлари ишлаб чиқилган. Дастурий таъминотлар мобиль алоқа тизимининг тузилмавий ишончилигини ҳисоблаш вақтини 2 баробаргача қисқартириш имконини берган.

5. Таянч станцияни узлуксиз энергия билан таъминлаш мақсадида электр энергия тизимига суперконденсаторларни жорий қилиш тавсия этилган ҳамда таянч станцияларни узлуксиз энергия билан таъминлаш тизимини қурилиш тамойили ва ишлаш алгоритми яратилган. Таянч станциялар электр энергия тизимига суперконденсаторларни жорий қилиш таянч станция электр энергия тизимининг узлуксиз ишлаш самарадорлигини 3-3,5 фоизга ошириши асосланган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

МАТЁКУБОВ УТКИР КАРИМОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ
НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ**

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

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

Ташкент – 2021

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктор философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире увеличивается спрос в сфере информационно-коммуникационных технологий, в частности, уделяется большое внимание совершенствованию моделей и алгоритмов оценки надежности систем мобильной связи в бесперебойном обеспечении общества услугами. В этом направлении отдельное внимание уделяется, в том числе, разработке алгоритмов и моделей оценки надежности систем мобильной связи, показателей оценки надежности системы базовая станция – контроллер базовой станции с различными линиями связи и программного обеспечения расчета структурной надёжности. В связи с этим разработка моделей и алгоритмов оценки надежности систем мобильной связи в развитых странах, в том числе США, Евросоюз, Японию, Южную Корею, Китай и Россию, является одной из важных задач.

В мире проводится ряд исследовательских работ по разработке моделей, аналитических выражений и алгоритмов оценки надежности систем мобильной связи, а также принципов и алгоритмов построения систем обеспечения бесперебойной энергией базовых станций. В этой области особое внимание уделяется разработке моделей и аналитических выражений для оценки надежности системы базовая станция – контроллер базовой станции с различными типами резервных линий, алгоритмов расчета структурной надежности системы мобильной связи в различных ситуациях. Вместе с этим является важной разработкой аналитических выражений для оценки влияния типа линий связи в системе мобильной связи и количества резервных линий связи на надежность системы.

В Республике Узбекистан осуществляются масштабные мероприятия по дальнейшему совершенствованию сферы телекоммуникаций и информационных технологий. В Указе Президента Республики Узбекистан № УП-6079 от 5 октября 2020 года «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации» ставятся такие задачи, как «повышение с 78 до 95 процентов уровня подключения населенных пунктов к сети Интернет, в том числе за счет увеличения до 2,5 миллионов портов широкополосного доступа, прокладки 20 тысяч километров оптико-волоконных линий связи и развития сетей мобильной связи...»¹. Одним из важных для реализации этих задач считается разработка алгоритмов, моделей и программного обеспечения для оценки надежности систем мобильной связи.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан от 7 марта 2018 года №185 «О мерах по дальнейшему улучшению качества услуг связи, информатизации и

¹Указ Президента Республики Узбекистан «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» УП-6079 от октября 2020 года.

телекоммуникаций», Постановлении №3275 от 30 июня 2020 г. «Об утверждении правил оказания телекоммуникационных услуг», а также нормативных правовых актах, связанных с этой сферой.

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».

Степень изученности проблемы. В последние годы были проведены обширные исследования моделей, алгоритмов оценки надежности систем мобильной связи и программных средств расчета ее структурной надежности, а также организации обеспечения бесперебойной энергией базовых станций.

Данному направлению исследований посвящены научные труды PGJames, RRHain, S.Kishor, David W.Tipper (США), P.Tarvainen (Финляндия), P.Smith (Германия), Frank Yeong-Sung Lin, Yu-Shun Wang (Тайвань), Utkar Varshney, Alisha D. Маллой (Грузия), В.В.Величко, Г.В.Попкова, В.К.Попкова, И.Л.Попова, О.Н.Ромашковой, В.А.Нетес, Б.Я.Дудника (Россия) и других известных зарубежных ученых. Также выявленным проблемам исследования посвящены научные труды ученых нашей республики И.Х.Сиддикова, А.Абдуазизова, А.М.Назарова, Р.И.Исаева, Д.А.Давронбекова, Н.Х.Гултураева, Ш.Ю.Джаббарова, А.Х.Абдукадырова, Х.Э.Хужаматова, Ж.Д.Исроилова и других.

Результаты анализа показали, что недостаточно изучены вопросы разработки и реализации алгоритмов и моделей оценки надежности системы базовая станция - контроллер базовой станции, принципа построения и алгоритма работы системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций, моделей и аналитических выражений оценки надежности системы базовая станция - контроллер базовой станции при различных типах резервированных линий связи, алгоритмов и программных средств расчета структурной надежности системы мобильной связи в различных ситуациях.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнялась в рамках НИР №1 «Анализ моделей распределения уровней электромагнитного поля в различных средах и оценка качественных показателей мобильной связи, применительно к технологии четвертого поколения» (2018-2019) и проекта Uzb-Ind-2021-94 “Energy Efficient Communication and Data Flow in Smart City using CRN based IoT Framework” (Энергоэффективная связь и поток данных в умном городе с использованием CRN на основе IoT Framework) международного сотрудничества Узбекистан-Индия, выполненных в Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада аль-Хоразмий.

Целью исследования является разработка моделей, алгоритмов и аналитических выражений оценки надежности системы мобильной связи, а также структуры системы обеспечения бесперебойной энергией базовых

станций и алгоритма ее работы.

Задачи исследования:

выполнить систематизированный анализ причин отказов мобильных базовых станций и их влияния на надежность системы, а также оценку неисправностей в базовых станциях мобильной связи с помощью теории вероятностей и методов прогнозирования;

разработка моделей, аналитических выражений и алгоритмов оценки надежности системы базовая станция – контроллер базовой станции мобильной связи, состоящей из различных типов линий связи;

разработка моделей и аналитических выражений для оценки надежности системы базовая станция – контроллер базовой станции, состоящей из различных типов линий связи резервирования;

разработка алгоритмов расчета структурной надежности системы мобильной связи при воздействии чрезвычайных ситуаций;

разработка структуры и алгоритма работы системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций мобильной связи.

Объектом исследования являются система мобильной связи, базовая станция, контроллер базовой станции, линии связи и система обеспечения энергоэнергией базовых станций.

Предметом исследования является разработка алгоритмов и моделей оценки надежности системы базовая станция - контроллер базовой станции с различными линиями связи, а также процессы обеспечения устойчивости системы снабжения электроэнергией.

Методы исследования. Для решения задач, поставленных в диссертации, использовались методы математического моделирования, методы теории вероятностей и надежности, вычислительные алгоритмы и средства программного анализа.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны модели и алгоритмы оценки надежности системы базовой станции, контроллера с линиями связи медный кабель, оптическое волокно, радиорелейная линия;

разработаны модели и аналитические выражения оценки надежности системы базовая станция-контроллер с резервированными линиями связи;

разработаны алгоритмы расчета структурной надежности систем для случаев, когда базовые станции мобильной связи находятся в центре и в стороне от центра ситуации;

разработаны принцип построения и алгоритм работы системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработано программное обеспечение оценки показателей надежности системы базовая станция - контроллер базовой станции с различными типами линий связи;

разработано программное обеспечение расчёта структурной надежности системы мобильной связи для случая, когда все базовые станции находятся в центре ситуации;

разработано программное обеспечение расчёта структурной надежности

системы мобильной связи для случая, когда все базовые станции находятся на разном удалении от центра ситуации.

Достоверность результатов исследования основана корректной постановкой проблемы и подтверждением практических исследований, использованием проверенных методов и алгоритмов анализа, сопоставительным анализом результатов теоретических и практических исследований и их результатов на основе общепринятых критериев.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке алгоритмов, моделей и аналитических выражений оценки надежности системы базовая станция – контроллер базовой станций с резервированными и нерезервированными линиями связи, алгоритмов расчёта надежности структурной надежности системы мобильной связи для двух случаев, принципа построения и алгоритм работы системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в разработке программного комплекса расчёта количественных показателей оценки надежности системы базовая станция – контроллер базовой станций с тремя типами линий связи и структурной надежности системы мобильной связи для случаев, когда юзавские станции расположены в центре и удалении от центра ситуации, позволяющего сократить вычислительный процесс.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по разработке моделей и алгоритмов оценки надежности систем мобильной связи:

модели, аналитические выражения, алгоритмы и программное обеспечение оценки надежности систем базовой станции, контроллера с линиями связи медный кабель, оптическое волокно, радиорелейная линия и базовая станция-контроллер с резервированными линиями связи внедрены на предприятиях Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, в частности, ГУП «ALOQALOYINA» и ГУП «UNICON.UZ» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан № 33-8/3972 от 2 июня 2021 г.). В результате время расчета показателей надежности системы мобильной связи сократилось в 2 раза;

алгоритмы расчета структурной надежности систем для случаев, когда базовые станции мобильной связи находятся в центре и в стороне от центра ситуации, а также принцип построения и алгоритм работы системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций внедрены в филиале «Узмобиайл» АК «Узбектелеком» и ООО «FALCON TELECOM EXPERT» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан № 33-8/3972 от 2 июня 2021 г.). В результате время оценки надежности системы мобильной связи и структурной надежности сократилось в 2 раза, достигнута высокая надежность и эффективность при использовании двух резервных линий в системе базовая станция - контроллер базовой станции, при исследовании отказов в системе мобильной связи результаты, полученные на основе

модели Тейла Вейджа, отличались до 10% от реальных отказов, эффективность бесперебойной работы системы обеспечения электроэнергией базовых станций возросла на 3-3,5%.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 4 международных и 7 республиканских научно-технических и научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано всего 25 научных работ, из них 11 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 9 в иностранных, 2 в республиканских журналах, получены 3 свидетельства регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит 112 страниц и состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и значимость темы диссертации, сформулированы цели и задачи, определены предмет и объект исследования, определено соответствие исследования приоритетам развития науки и технологий в Республике Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, приведены практические результаты и научная новизна полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, даны сведения о результатах исследований, внедрённых в практику, сведения о структуре диссертации и опубликованных работах.

Первая глава диссертации **«Анализ и состояние проблем надёжности в системе мобильной связи»** содержит теоретический и аналитический анализ количественных показателей надёжности системы мобильной связи и аналитические выражения показателей надёжности. Рассмотрены и классифицированы анализ основных подходов к повышению надёжности системы мобильной связи и способы повышения надёжности.

На основе теоретико-аналитического анализа количественных показателей надёжности системы установлено, что система мобильной связи является восстанавливаемой системой и определены количественные показатели надёжности: вероятность восстановления, интенсивность восстановления, интенсивности отказов, среднее время восстановления, вероятность безотказной работы, вероятность работы до первого отказа и оценка через комплексные показатели (коэффициенты готовности, оперативного использования, использования).

Выполнен анализ основных подходов к повышению надёжности системы мобильной связи. Установлено, что неисправности в основном вызываются внешними факторами, приведены причины отказов основных элементов системы и методы их устранения.

Проанализированы методы повышения надёжности элементов системы мобильной связи и определено, что при повышении надёжности эффективным является метод резервирования.

Вторая глава под названием «Исследование методов оценки и прогнозирования неисправностей в системах мобильной связи», посвящена исследованию определения эксплуатационных показателей элементов системы мобильной связи, методов оценки надежности базовых станций и прогнозирования неисправностей в них.

Выявлены причины возникновения отказов в базовых станциях и приведены аналитические выражения их количественных показателей.

Выполнена оценка надежности базовых станций с помощью вероятностного распределения, и определено, что вероятностными причинами отказов являются некачественный контроль и обслуживание, производственные дефекты и износ комплектующих.

Для прогнозирования отказов системы мобильной связи были проанализированы методы прогнозирования и выбрана модель Тейла-Вейджа, которая учитывает линейную тенденцию, сезонность и дополнительные тренды. Используя модель Тейла-Вейджа было определено, что результаты прогнозирования отказов отличаются от реальных в диапазоне 0–10%. Результаты прогнозирования отказов, полученные с использованием модели Тейла-Вейджа, показаны на рис.1.



Рис.1. Прогнозирование количества неисправностей с помощью модели Тейла-Вейджа

Третья глава «Разработка моделей и алгоритмов оценки надежности систем мобильной связи» посвящена разработке моделей, аналитических выражений и алгоритмов оценки надежности системы БС-КБС (БС - базовая станция, КБС - контроллер базовой станции) с нерезервированными и резервированными линиями связи, исследованию влияния типа и количества линий связи на надежность системы, и алгоритмов расчета структурной надежности системы мобильной связи.

При разработке аналитических выражений для оценки надежности системы мобильной связи было принято следующее:

- система мобильной связи работает в нормальном периоде эксплуатации;

- отказы и сбои в системе мобильной связи подчиняются закону экспоненциального распределения;

- отказ любой из составляющей системы мобильной связи приводит к отказу всей системы.

На рис.2 приведены структурные модели соединения элементов системы БС-КБС с точки зрения надежности с линиями связи: медный кабель (МК) (рис.2, а), оптический кабель (ОК) (рис.2, б), радиорелейная линия связи (РРЛ) (рис.2, в) и радиорелейная линии связи с репитерами (РТР) (рис.2, г).

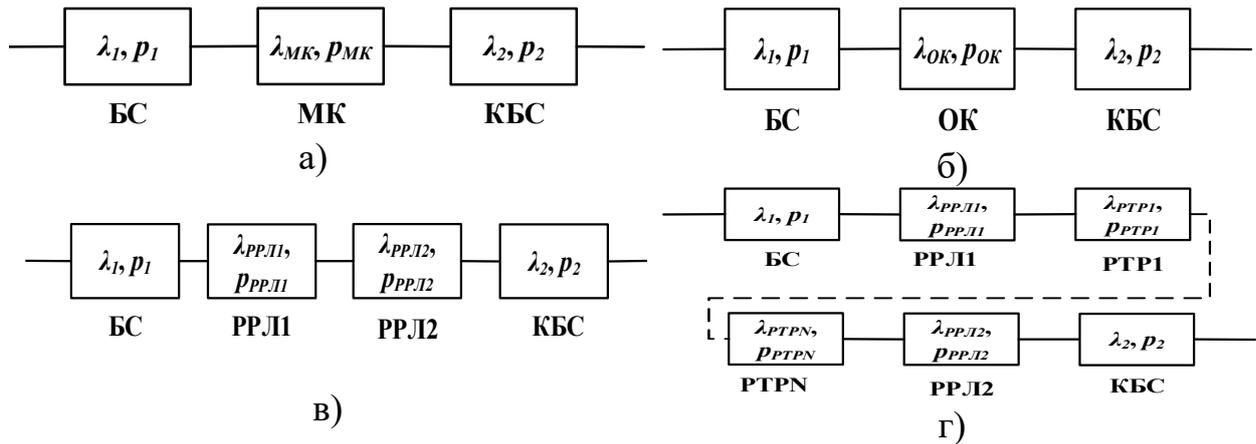


Рис. 2. Структурные модели соединения элементов системы БС-КБС по надежности

Для случая на рис.2,а интенсивность отказов системы $\Lambda_{общ(МК)}$ и вероятность безотказной работы системы $P_{общ.(МК)}$ определяются следующим образом:

$$\Lambda_{общ(МК)} = \lambda_1 + \lambda_{МК} + \lambda_2 = \lambda_1 + l_{МК} \cdot \lambda_3 + \lambda_2; \quad P_{общ.(МК)} = e^{-(\lambda_1 + l_{МК} \cdot \lambda_3 + \lambda_2) \cdot t}; \quad (1)$$

здесь: λ_1 - интенсивность отказов БС [1/час];

λ_2 - интенсивность отказов КБС [1/час];

$\lambda_{МК}$ - интенсивность отказов медного кабеля [1/час]:

$$\lambda_{МК} = l_{МК} \cdot \lambda_3, \quad (2)$$

$l_{МК}$ - длина медной кабельной линии связи БС-КБС [км];

λ_3 - интенсивность отказов медного кабеля длиной 1 км [1/(час · км)].

Для ситуации на рис.2,б интенсивность отказов системы $\Lambda_{общ(ОК)}$ и вероятность безотказной работы системы $P_{общ.(ОК)}$ определяются следующим образом:

$$\Lambda_{общ(ОК)} = \lambda_1 + \lambda_{ОК} + \lambda_2 = \lambda_1 + l_{ОК} \cdot \lambda_4 + \lambda_2; \quad P_{общ.(ОК)} = e^{-(\lambda_1 + l_{ОК} \cdot \lambda_4 + \lambda_2) \cdot t}; \quad (3)$$

здесь: $\lambda_{ОК}$ - интенсивность отказов оптического волокна [1/час]:

$$\lambda_{ОК} = l_{ОК} \cdot \lambda_4, \quad (4)$$

$l_{ок}$ - длина оптической кабельной линии связи БС-КБС [км];
 λ_4 - интенсивность отказов 1 км оптического кабеля [1/(час·км)].

Для случаев на рис.2,в и рис.2,г интенсивности отказов системы $\Lambda_{общ.(ppл)}$, $\Lambda_{общ.(рmp)}$, а также вероятности безотказной работы системы $P_{общ.(ppл)}$, $P_{общ.(рmp)}$ определяются следующими выражениями:

$$\Lambda_{общ.(ppл)} = \lambda_1 + \lambda_{ppл1} + \lambda_{ppл2} + \lambda_2; \quad P_{общ.(ppл)} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_{ppл1} + \lambda_{ppл2} + \lambda_2) \cdot t}. \quad (5)$$

здесь: $\lambda_{ppл1}, \lambda_{ppл2}$ - интенсивность отказов РРЛ [1/час].

Если $\lambda_{ppл1} = \lambda_{ppл2} = \lambda_{ppл}$ и $p_{ppл1} = p_{ppл2} = p_{ppл}$ то,

$$\Lambda_{общ.(ppл)} = \lambda_1 + 2 \cdot \lambda_{ppл} + \lambda_2; \quad P_{общ.(ppл)} = e^{-(\lambda_1 + 2 \cdot \lambda_{ppл} + \lambda_2) \cdot t}, \quad (6)$$

$$\Lambda_{общ.(рmp)} = \lambda_1 + \lambda_{ppл1} + \lambda_{ppл2} + \sum_{i=1}^N \lambda_{рmp_i} + \lambda_2; \quad P_{общ.(рmp)} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{ppл1} + \lambda_{ppл2} + \sum_{i=1}^N \lambda_{рmp_i}) \cdot t}, \quad (7)$$

здесь: $\lambda_{рmp_i}$ - интенсивность отказа i -й РТР [1/час].

Если $\lambda_{ppл1} = \lambda_{ppл2} = \lambda_{ppл}$, $\lambda_{рmp_i} = \lambda_{рmp}$, $p_{ppл1} = p_{ppл2} = p_{ppл}$, $p_{рmp_i} = p_{рmp}$ и количество повторителей равно N , то

$$\Lambda_{общ.(рmp)} = \lambda_1 + 2 \cdot \lambda_{ppл} + N \cdot \lambda_{рmp} + \lambda_2; \quad P_{общ.(рmp)} = e^{-(\lambda_1 + 2 \cdot \lambda_{ppл} + N \cdot \lambda_{рmp} + \lambda_2) \cdot t}. \quad (8)$$

На основе разработанных структурных моделей соединения элементов системы БС-КБС по надежности и аналитических выражений разработаны алгоритмы и программное обеспечение расчета показателей надежности. На рис.3 приведен алгоритм оценки надежности системы БС-КБС, с линиями связи из медного кабеля и оптического кабеля.

Представленные на этом алгоритме блоки выполняют следующие функции:

В блоке 1 определяется, что линия связи системы БС-КБС сделана из медного кабеля. Если линия связи сделана из медного кабеля, то в блок 3 вводятся исходные данные, необходимые для расчетов, иначе процесс продолжается в блоке 2;

В блоке 2 определяет, что линия связи системы БС-КБС состоит из оптического кабеля. Если линия связи выполнена на оптическом кабеле, то процесс продолжается в блоке 3, иначе переходит к блоку 8;

В блоке 3 вводятся исходные данные элементов системы, необходимые для расчета показателей надежности;

В блоке 4 вычисляются следующие показатели надежности системы БС-КБС, с линией связи из медного или волоконно-оптического кабеля: интенсивность отказов системы БС-КБС, среднее время безотказной работы, вероятность безотказной работы, интенсивность восстановления, коэффициенты готовности и простоя;

В блоке 5 выполняется задача отображения результатов на экране;

В блоке 6 определяется вывод результатов вычислений в виде

диаграммы. Если диаграмма не требуется, то переход к блоку 8;

В блоке 7 создаётся возможность сравнения результатов расчета с помощью диаграмм;

В блоке 8 определяется завершение процесса расчета. Если расчеты необходимо провести снова, то переход к блоку 1, иначе – завершение.

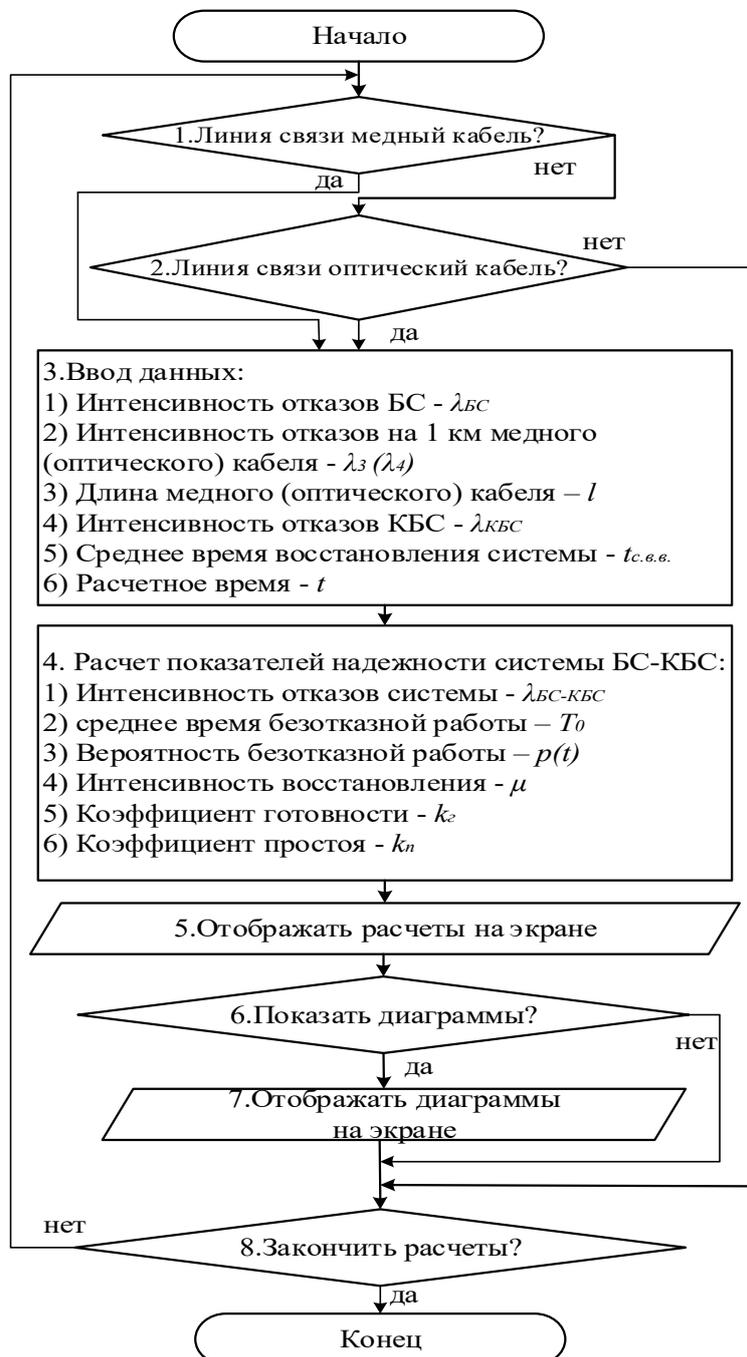


Рис.3. Алгоритм оценки надежности системы БС-КБС с линиями связи из медного кабеля и оптического кабеля

Также разработан алгоритм расчета надежности системы БС-КБС с радиорелейной линией связи с репитерами и без репитеров, который приведен в диссертации.

Разработаны структурные модели соединения элементов по надежности системы БС-КБС для различных вариантов резервных линий связи (основная

и резервная линии связи - оптический кабель (ОК), медный кабель (МК), радиорелейная линия связи (РРЛ) без репитера, основная и резервная линия связи - радиорелейная линия связи с репитерами (РТР) и комбинации основная/резервная линии связи - ОК/МК, ОК/РРЛ, ОК/РТР, МК/РРЛ, МК/РТР, РРЛ/РТР) (рис.4) и аналитические выражения для расчета надежности.

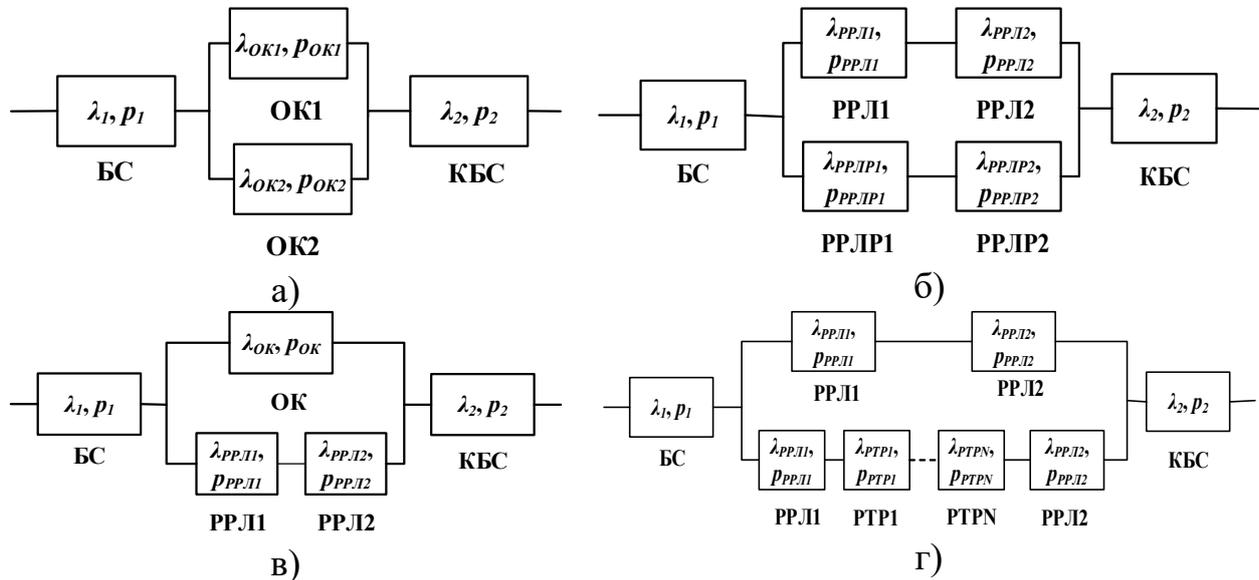


Рис.4. Структурные модели соединения элементов по надежности системы БС-КБС с резервной линией связи: а) линия связи ОК/ОК; б) линия связи РРЛ/РРЛ; в) линия связи ОК/РРЛ; г) линия связи РРЛ/РТР

Для случая на рис.4,а (ОК/ОК) аналитическое выражение для расчета вероятности безотказной работы системы БС-КБС имеет следующий вид:

$$P_{\text{общ}(ок,ок2)} = p_1 \cdot p_2 \cdot [1 - (1 - p_{ок1}) \cdot (1 - p_{ок2})] = p_1 \cdot p_2 \cdot (p_{ок1} + p_{ок2} - p_{ок1} \cdot p_{ок2}), \quad (9)$$

здесь: p_1 - вероятность безотказной работы БС;

p_2 - вероятность безотказной работы КБС;

$p_{ок1}, p_{ок2}$ - вероятность безотказной работы оптических кабельных линий СВЯЗИ.

Если $l_{ок1} = l_{ок2} = l_{ок}; p_{ок1} = p_{ок2} = p_{ок}$ тогда:

$$P_{\text{общ}(ок,ок)} = 2 \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + l_{ок} \cdot \lambda_4) \cdot t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot l_{ок} \cdot \lambda_4) \cdot t} \quad (10)$$

Для случая на рис.4,б (РРЛ/РРЛ) аналитическое выражение для расчета вероятности безотказной работы системы БС-КБС имеет следующий вид:

$$P_{\text{общ}(ррл,ррл)} = 2 \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \lambda_{ррл}) \cdot t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 4 \cdot \lambda_{ррл}) \cdot t}, \quad (11)$$

здесь: $p_{ррл1} = p_{ррл2} = p_{ррл\bar{1}} = p_{ррл\bar{2}} = p_{ррл}$, $\lambda_{ррл1} = \lambda_{ррл2} = \lambda_{ррл\bar{1}} = \lambda_{ррл\bar{2}} = \lambda_{ррл}$;

$p_{ррл\bar{1}}, p_{ррл\bar{2}}$ - вероятность безотказной работы резервных РРЛ.

Для случая на рис.4,в (ОК/РРЛ) аналитическое выражение для расчета вероятности безотказной работы системы БС-КБС имеет следующий вид:

$$P_{\text{оби(ок, ррл)}} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \lambda_{\text{ррл}})t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + l_{\text{ок}} \cdot \lambda_4)t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + l_{\text{ок}} \cdot \lambda_4 + 2 \cdot \lambda_{\text{ррл}})t}, \quad (12)$$

здесь: $\lambda_{\text{ррл1}} = \lambda_{\text{ррл2}} = \lambda_{\text{ррл}}; P_{\text{ррл1}} = P_{\text{ррл2}} = P_{\text{ррл}}$.

Для случая на рис.4,г (РРЛ/РТР) аналитическое выражение для расчета вероятности безотказной работы системы БС-КБС имеет следующий вид:

$$P_{\text{оби(ррл, ртр)}} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \lambda_{\text{ррл}} + N \cdot \lambda_{\text{ртр}})t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{\text{ррл}})t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + 2 \cdot \lambda_{\text{ррл}} + 2 \cdot \lambda_{\text{ррл}} + N \cdot \lambda_{\text{ртр}})t}, \quad (13)$$

Здесь: $\lambda_{\text{ррл1}} = \lambda_{\text{ррл2}} = \lambda_{\text{ррл}}^*; P_{\text{ррл1}} = P_{\text{ррл2}} = P_{\text{ррл}}; P_{\text{ртр1}} = P_{\text{ртр2}} = P_{\text{ртр}}; \lambda_{\text{ртр1}} = \lambda_{\text{ртр2}} = \lambda_{\text{ртр}}^*$.

Разработанные структурные модели соединения элементов по надежности системы БС-КБС, линия связи которой состоит из МК/МК, РТР/РТР, МК/ОК, МК/РРЛ, МК/РТР, ОК/РТР и аналитические выражения расчета надежности системы приведены в диссертации.

Изучено влияние количества резервных линий связи в системе БС-КБС на надежность. Выполнены расчеты надежности системы БС-КБС с однотипными и с разнотипными резервными линиями связи и доказано, что для эффективного резервирования линий связи достаточно использовать 2 резервные линии связи.

Разработаны алгоритм расчета структурной надежности, когда системы мобильной связи находится в центре (рис.5) и вне центра чрезвычайной ситуации.

Блоки в алгоритме, приведённые на рис.5, выполняют следующие функции:

Блок 1 обеспечивает ввод количества расчетов для сравнения результатов;

В блоке 2 вводятся исходные данные, необходимые для расчета структурной надежности системы;

В блоке 3 определяется количество каналов каждой базовой станции, количество всех базовых станций в системе и количество базовых станций, на которых сохраняется производительность. Если введенных данных достаточно для расчета, то происходит процесс перехода к блоку 4, в противном случае – переход к блоку 2;

В блоке 4 выполняется расчёт показателей структурной надежности системы;

В блоке 5 выполняется отображение результатов вычислений на экране;

В блоке 6 определяется представление показателей структурной надежности системы в виде диаграммы. Если диаграмма не требуется, то процесс расчета прекращается;

В блоке 7 можно сравнить результаты расчетов с помощью диаграмм.

Также был разработан алгоритм расчета структурной надежности для случая, когда базовые станции мобильной связи находятся вне центра ситуаций, который представлен в диссертации.

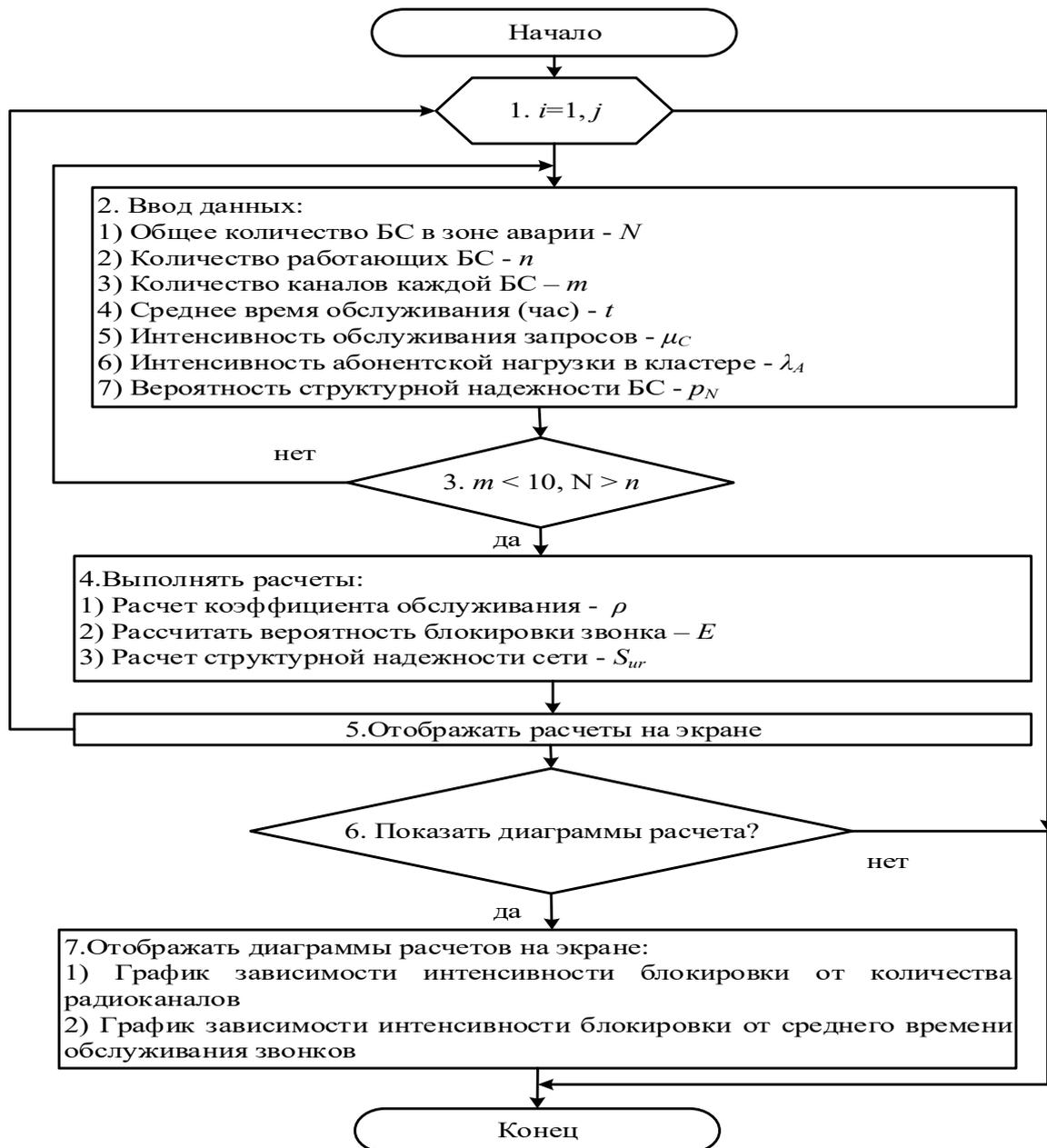


Рис.5. Алгоритм расчета структурной надежности для случая, когда базовые станции мобильной связи находятся в центре ситуации

В четвертой главе «Разработка структуры и алгоритма работы системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций мобильной связи» исследуются причины отказов базовых станций и способы повышения эффективности электроснабжения базовых станций, разрабатывается структура и алгоритм работы системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций.

На рис.6 приведена структура разработанной системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций.

Контроллеры КР1, КР2, КР3, КР4, КР5 на рис.6 распределяют и управляют подключенными к ним источниками питания. Каждый контроллер управляется независимо и система управления контролирует поток электроэнергии между компонентами.

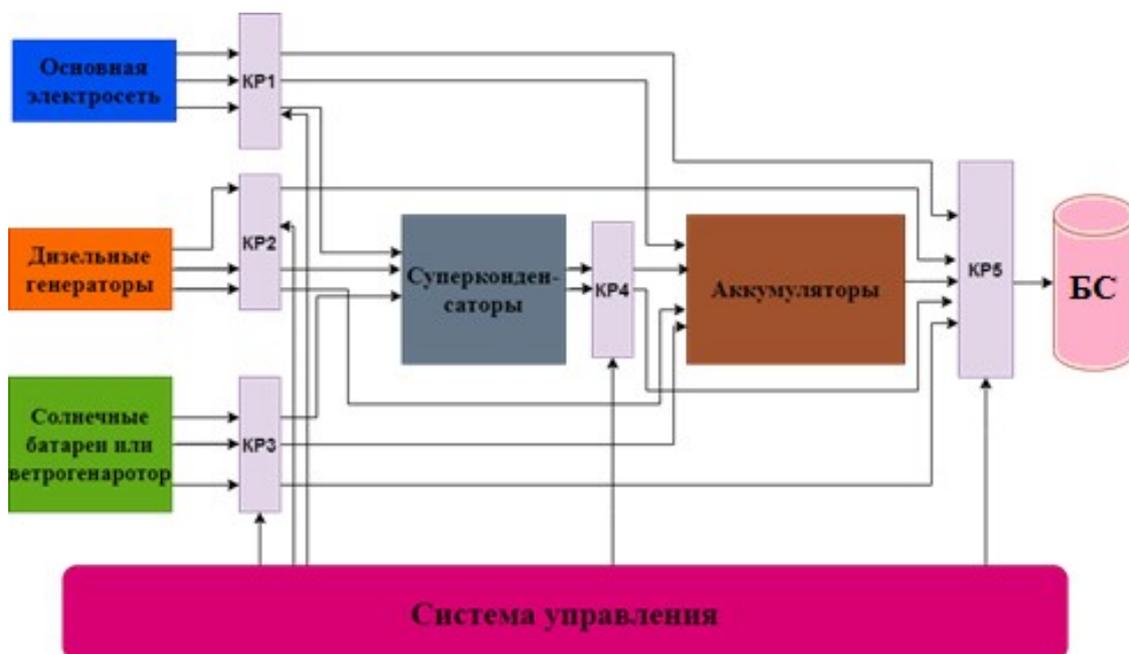


Рис.6. Структура системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций

КР1 - передает требуемую часть энергии от основного источника питания на базовую станцию и контролирует накопление необходимой энергии батареями и суперконденсаторами и отключает их от источника питания, когда она достигает нормального значения. Эти функции также выполняют контроллеры КР2 и КР3, которые коммутируют подключенный к ним источник питания соответственно к дизельному генератору и солнечным панелям или ветрогенератору. КР4 предназначен для передачи энергии суперконденсатора аккумулятору. Если базовой станции требуется большая энергия, то электроэнергия передается напрямую от суперконденсатора к базовой станции. КР5 – является самым базовым контроллером в системе, управляющим систематической, последовательной передачей энергии на базовую станцию. Он в первую очередь координирует электроэнергию, поступающую от источников электропитания.

На рис.7 показан алгоритм работы структуры системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций и имеет следующую последовательность работы:

Шаг 1. Вводятся следующие переменные: нормальная энергия, необходимая для работы БС W_{BC} , зарядки суперконденсатора $W_{СК}$ и зарядки аккумулятора $W_{АК}$; энергия местного электроснабжения $W_{МЭ}$; энергия, производимая дизельным генератором $W_{ДГ}$; энергия, произведенная из возобновляемых источников энергии $W_{ВИЭ}$;

Шаг 2. Если $W_{МЭ} \geq W_{ном1}$, то нет необходимости подключаться к другому источнику энергии, в противном случае перейти к шагу 3 ($W_{ном1} = W_{BC} + W_{СК} + W_{АК}$, где $W_{ном.1}$ потребитель 1);

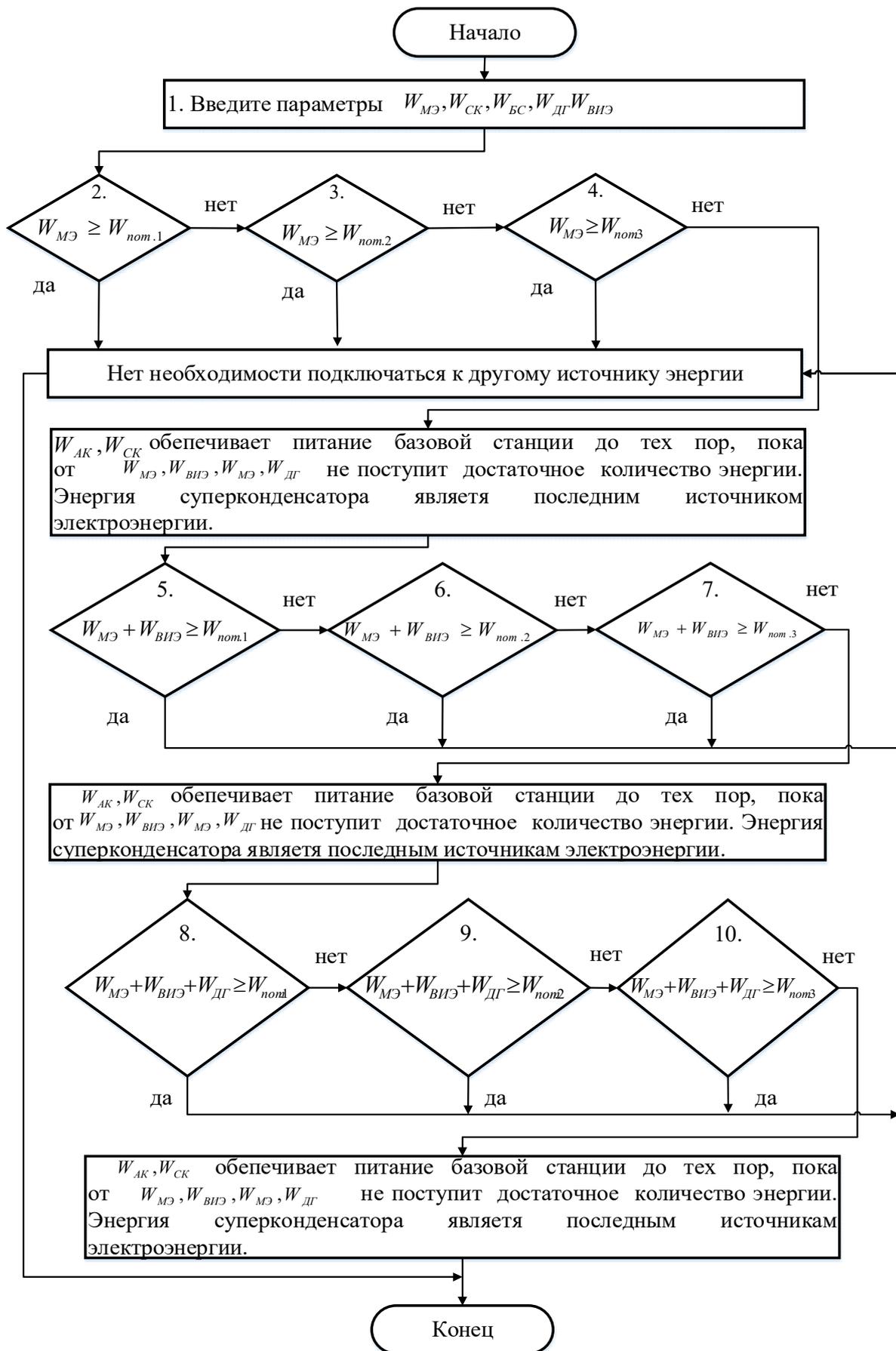


Рис.7. Алгоритм работы структуры системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций

Шаг 3. Если $W_{МЭ} \geq W_{ном2}$, то нет необходимости подключаться к другому источнику энергии, иначе перейти к шагу 4 ($W_{ном2} = W_{БС} + W_{АК}$, где $W_{ном.2}$ потребитель 2);

Шаг 4. Если $W_{МЭ} \geq W_{ном3}$ ($W_{ном3} = W_{БС}$, здесь $W_{ном.3}$ потребитель 3), то нет необходимости подключаться к другому источнику питания, в противном случае базовая станция будет снабжаться электричеством до тех пор, пока $W_{АК}, W_{СК}$ не получит достаточно энергии от $W_{МЭ}, W_{ВИЭ}, W_{ДГ}$. В этом случае энергия суперконденсатора является конечным источником энергии;

Шаг 5. Если $W_{МЭ} + W_{ВИЭ} \geq W_{ном1}$ нет необходимости подключаться к другому источнику питания, иначе перейти к шагу 6;

Шаг 6. Если $W_{МЭ} + W_{ВИЭ} \geq W_{ном2}$ нет необходимости подключаться к другому источнику питания, в противном случае перейти к шагу 7;

Шаг 7. Если $W_{МЭ} + W_{ВИЭ} \geq W_{ном3}$, нет необходимости подключаться к другому источнику питания, в противном случае базовая станция будет снабжаться электричеством до тех пор, пока $W_{АК}, W_{СК}$ не получит достаточно энергии от $W_{МЭ}, W_{ВИЭ}, W_{ДГ}$;

Шаг 8. Если $W_{МЭ} + W_{ВИЭ} + W_{ДГ} \geq W_{ном1}$, то нет необходимости подключаться к другому источнику питания, иначе переход к шагу 9;

Шаг 9. Если $W_{МЭ} + W_{ВИЭ} + W_{ДГ} \geq W_{ном2}$, то нет необходимости подключаться к другому источнику питания, иначе переход к шагу 10;

Шаг 10. Если $W_{МЭ} + W_{ВИЭ} + W_{ДГ} \geq W_{ном3}$ нет необходимости подключаться к другому источнику питания, в противном случае базовая станция будет снабжаться электричеством до тех пор, пока не будет получено достаточное количество энергии из $W_{АК}, W_{СК}$ то $W_{МЭ}, W_{ВИЭ}, W_{ДГ}$, и в этом случае энергия суперконденсатора является конечным источником энергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований в диссертации доктора философии (PhD) на тему «Разработка моделей и алгоритмов оценки надежности систем мобильной связи» представлены следующие выводы:

1. С помощью распределений вероятностей и методов прогнозирования надежности базовых станций системы мобильной связи была оценена работоспособность базовых станций и определены причины возможных отказов. Для прогнозирования отказов в базовых станциях выбрана модель Тейла-Вейджа и доказано, что полученные результаты отличаются от реальных отказов на 0–10%.

2. Разработаны модели, алгоритмы и аналитические выражения для оценки надежности системы базовая станция – контроллер базовой станции с линиями связи медный кабель, оптическое волокно, радиорелейная линия. Разработанные модели, аналитические выражения, алгоритмы и программное обеспечение для расчета надежности системы базовая станция – контроллер базовой станции позволили сократить время расчета до 2 раз.

3. Разработаны модели и аналитические выражения для оценки надежности системы базовая станция – контроллер базовой станции для различных типов резервных линий связи. Исследовано влияние количества резервных линий связи в системе базовая станция – контроллер базовой станции и доказано, что высокая надежность обеспечивается двумя резервными линиями.

4. Разработаны алгоритмы, программное обеспечение расчета структурной надежности системы мобильной связи, когда все базовые станции находятся в центре ситуации и имеют одинаковую надежность и когда надежность возрастает по мере удаления базовых станций от центра ситуации. Программное обеспечение позволило сократить время расчета структурной надежности системы мобильной связи в 2 раза.

5. Для обеспечения бесперебойной энергией базовой станции предложено ввести в систему электроэнергии суперконденсатор, а также разработаны принцип построения и алгоритм работы системы обеспечения бесперебойной энергией базовых станций. Обосновано, что введение суперконденсаторов в электроэнергосистему базовой станции позволит на 3–3,5% повысить эффективность бесперебойной работы системы электроэнергии.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

MATYOKUBOV UTKIR KARIMOVICH

**DEVELOPMENT OF MODELS AND ALGORITHMS FOR ASSESSING
THE RELIABILITY OF MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS**

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

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

Tashkent – 2021

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2021.2.PhD/T2215.

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 Scientific Council website www.tuit.uz and on the website of «Ziyonet» Information and Educational portal www.ziyonet.uz.

Scientific adviser:	Davronbekov Dilmurod Abduljalilovich Doctor of Technical Sciences, Docent
Official opponents:	Raximov Baxtiyorjon Nematovich Doctor of Technical Sciences, Professor Yarmukhamedov Alisher Agbarovich Candidate of Technical Sciences, Docent
Leading organization:	University of Public Security of the Republic of Uzbekistan

The defense of the thesis will held on August 24, 2021 year at 14⁰⁰ hours at the meeting of the Scientific Council DSc.13/30.12.2019.T.07.02 at the Tashkent University of Information Technologies in **on-line** mode on the Zoom platform. **Zoom ID: 330 044 4963. Access code: 1.** (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 could be reviewed in the Resource of Tashkent University of Information Technologies. (registration number № 220). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street., 108. Tel.: (99871) 238-65-44).

The abstract of dissertation is distributed on « 12 » August 2021.
(protocol at the register № 5 , on « 11 » August 2021).



I.X.Siddikov
Chairman of the Scientific Council awarding Scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

X.E.Xujamatov
Scientific Secretary of Scientific Council awarding Scientific degrees,
PhD of Technical Sciences, Associate professor

R.M.Aliev
Vice-Chairman of the Academic Seminar at the of Scientific Council awarding Scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work development of models, algorithms and analytical expressions for assessing the reliability of a mobile communication system, as well as the structure of the system for providing uninterrupted energy to base stations and the algorithm of its operation.

The object of the research work mobile communication system, base station, base station controller, communication lines, and base station power supply system.

The scientific novelty of the research work is as follows:

developed models and algorithms for assessing the reliability of the base station system, controller with communication lines, copper cable, optical fiber, radio relay line;

developed models and analytical expressions for assessing the reliability of the base station-controller system with redundant communication lines;

developed algorithms for calculating the structural reliability of systems for cases when the base stations of mobile communication are in the center and away from the center of the situation;

developed the design principle and operation algorithm of the system for providing uninterrupted energy to base stations.

Implementation of research results.

Based on the results obtained on the development of models and algorithms for assessing the reliability of mobile communication systems:

models, analytical expressions, algorithms and software for assessing the reliability of base station systems, controller with communication lines, copper cable, optical fiber, radio relay line and base station controller with redundant communication lines have been introduced at the enterprises of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan, in particular, State Unitary Enterprise "ALOQALOYIHA" and State Unitary Enterprise "UNICON.UZ" (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan No. 33-8 / 3972 dated June 2, 2021). As a result, the time for calculating the reliability indicators of the mobile communication system was reduced by 2 times;

algorithms for calculating the structural reliability of systems for cases when the base stations of mobile communication are located in the center and away from the center of the situation, as well as the principle of construction and the algorithm of operation of the system for providing uninterrupted energy of base stations have been introduced in the Uzmobil branch of Uzbektelecom JSC and FALCON LLC TELECOM EXPERT "(certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan No. 33-8 / 3972 dated June 2, 2021). As a result, the time for assessing the reliability of the mobile communication system and structural reliability was reduced by 2 times, high reliability and efficiency were achieved when using two redundant lines in the base station - base station controller system; when investigating failures

in the mobile communication system, the results obtained on the basis of the Tail Wage model , differed by up to 10% from real failures, the efficiency of the uninterrupted operation of the base station power supply system increased by 3-3.5%.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of four chapters, conclusion, list of references, application. The volume of dissertation is 112 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (часть I, part I)

1. Matyokubov U.K., Davronbekov D.A. The impact of mobile communication power supply systems on communication reliability and viability and their solutions // International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 29, No. 5, (2020), pp. 3374 – 3385 Scopus Q4.

2. Matyokubov U.K., Davronbekov D.A. Some issues of improving the survivability of mobile communication systems in emergency situations // Electronic journal of actual problems of modern science, education and training ISSN 2181-9750. – 2020. - №3. pp 1-19., (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

3. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. Мобил алоқа тизими элементларидаги бузилишларни прогнозлаш орқали тизим яшовчанлигини ошириш // Muhammad al-Xorazmiy avlodlari. – 2020. - №1. -85-89 б. (05.00.00, №10).

4. Matyokubov U.K., Davronbekov D.A. Increasing energy efficiency of base stations in mobile communication systems // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. - 2020. - №1. pp. 22-27., (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

5. Matyokubov U.K., Davronbekov D.A. Approaches to the organization of disasterresistant mobile network architecture in Uzbekistan // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. - 2020. - №2. pp. 34-42., (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

6. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. Телекоммуникация тармоқлари яшовчанлигини таъминлашнинг баъзи масалалари // Ахбороткоммуникациялар: Тармоқлар, Технологиялар, Ечимлар. (54) 2020. -№2. -25-32 б. (05.00.00, №2).

7. Davronbekov D.A., Matyokubov U.K. Reliability of the BTS-BSC system with different types of communication lines between them // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. Vol. 9, No. 4, (2020), pp. 6684 – 6689 Scopus Q4.

8. Davronbekov D.A., Matyokubov U.K. The role of network components in improving the reliability and survivability of mobile communication networks // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent. - 2020. - №3. pp. 7-14., (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

9. Davronbekov D.A., Matyokubov U.K., Abdullaeva M.I. Evaluation of reliability indicators of mobile communication system bases // "Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies". Vol.3, Article1. 2020. pp. 1-9., (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

10. Davronbekov D.A., Matyokubov U.K. Calculate the reliability of the BTS-BSC network with the reserved line connection // Chemical Technology, Control and Management: Vol. 2021 : Iss. 1 , Article 11. pp. 76-84., (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

11. Davronbekov D.A., Matyokubov U.K. The use of supercapacitors to stabilize the power supply system of the base station of mobile communication // Scientific-Technical Journal. Vol.3, Article 1. 2021. - №1. pp 6-19., (ОАК Раёсатининг 30.07.2020 йилдаги қарори билан "Uzbekistan Research Online" рақамли платформасидаги журналларда эълон қилинган инглиз тилидаги мақолалар диссертациялар асосий илмий натижаларини эълон қилишга тавсия этилган хорижий илмий нашрларда чоп этилган илмий мақолаларга тенглаштирилган).

II бўлим (часть II, part II)

12. Davronbekov D.A., Matyokubov U.K. The effect of the number of backup communication lines in the BTS-BSC system on reliability // Scientific Collection «InterConf», №40. Proceedings of the 2 nd International Scientific and Practical Conference «Scientific community: interdisciplinary research». Hamburg-2021. -P. 679-684

13. Matyokubov U.K., Davronbekov D.A. Use of mobile communication network services in emergency management // International scientific-practical online conference on "emergency management and public health research in Asia" <http://spheraproject.net>: Маърузалар тўплами. 1 том. Самарқанд, 2020. -110-113 б.

14. Ў.К.Матёкубов, Д.А.Давронбеков Таянч станцияларнинг ҳолатини баҳолаш орқали модернизация зарурлигини аниқлаш // «Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар» мавзусида халқаро илмий-амалий конференция. Маърузалар тўплами. 1 том. Андижон, 2020. -255-260 б.

15. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. Мобил алоқа тизимлари яшовчанлигини оширишда тармоқ ресурсларни тақсимлаш // Международная отраслевая научно-техническая конференция «Тенденции и перспективы развития науки и образования в условиях глобализации» (Вып. 56): Сборник трудов, - Украина, -2020. 534-539 б.

16. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. Мобил алоқа тизимлари яшовчанлигига таъсир қилувчи омиллар таҳлили // “Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” мавзусидаги Республика илмий-техник анжумани: Маърузалар тўплами. 1 том. Тошкент, 2020. 182-185 б.

17. Матёкубов Ў.К. Мобил алоқа тизимларида ишонччилик ва яшовчанлик хусусиятлари // “Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” мавзусидаги Республика илмий-техник анжумани: Маърузалар тўплами. 1 том. Тошкент, 2020. 179-182 б.

18. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. Телекоммуникация транспорт тармоқларида алоқа каналларини самарали бошқариш орқали тармоқ яшовчанлигини ошириш // “Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари” республика илмий-техник анжумани: Маърузалар тўплами. 1 том. Фарғона, 2020. 268-271 б.

19. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. UMTS тармоқ архитектураси элементларининг тармоқнинг яшовчанлигига таъсирини таҳлил қилиш // “Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари” республика илмий-техник анжумани: Маърузалар тўплами. 1 том. Фарғона, 2020. 506-509 б.

20. Матёкубов Ў.К. Метрик алгоритмдан фойдаланган ҳолда мобил алоқа тармоқларининг яшовчанлигини ошириш // “Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари” республика илмий-техник анжумани: Маърузалар тўплами. 1 том. Фарғона, 2020. 513-516 б.

21. Матёкубов Ў.К. Уяли тармоқларнинг таянч станция қуйи тизимининг энергия самарадорлигини ошириш // “Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари” мавзусида Республика миқёсида илмий-амалий конференция. Маърузалар тўплами. 1 том. Наманган, 2020. 368-370 б.

22. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. Интеграциялашган ахборот тармоқлари яшовчанлигини баҳолаш ва яшовчанлик элементларини таснифлаш // “Ижтимоий соҳаларни рақамлаштиришда инновацион технологияларнинг ўрни ва аҳамияти” республика илмий-амалий анжумани: Маърузалар тўплами. 1 том. Қарши, 2020.-401-404 б.

23. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. BTS-BSC тизими оралиғидаги хар хил турдаги алоқа линиялари ишончилиги // Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигининг, Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган датурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳномаси №DGU 09101. -29.09.2020.

24. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. Уяли алоқа тармоғи яшовчанлигини ҳисоблаш. Ҳолат 1. // Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигининг, Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган датурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳномаси №DGU 10182. -13.01.2021.

25. Давронбеков Д.А., Матёкубов Ў.К. Уяли алоқа тармоғи яшовчанлигини ҳисоблаш. Ҳолат 2. // Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлигининг, Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган датурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳномаси №DGU 10181. -13.01.2021.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали
таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тиллари матнларни
мослиги текширилди (9.08.2021 й.).

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 3,25. Адади 100. Буюртма № 36/21.

Гувоҳнома № 851684.
«Тірографф» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.