

A
Ш 34

АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ЮРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
8.12.2017.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ШАХОБИДДИНОВ АЛИШЕР ШОПАТХИДДИНОВИЧ

**МЕГАПОЛИС ШАРОИТИДА МОБИЛ АЛОҚА СТАНЦИЯЛАРИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТ МАЙДОНИ САТҲЛАРИНИНГ ТАҚСИМОТ
МОДЕЛЛАРИ**

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

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (РbD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

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

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ШАХОБИДДИНОВ АЛИШЕР ШОПАТХИДДИНОВИЧ

МЕГАПОЛИС ШАРОИТИДА МОБИЛ АЛОҚА СТАНЦИЯЛАРИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТ МАЙДОНИ САТҲЛАРИНИНГ ТАҚСИМОТ
МОДЕЛЛАРИ

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

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PHD/Т83 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.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Назаров Абдулазиз Муминович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Абдукаюмов Абдурашид
техника фанлари доктори, профессор

Абдуқодиров Алишер Хабибуллаевич
техника фанлари номзоди, доцент

Етақчи ташкилот:

«Ўзбектелеком» акциядорлик компанияси

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.28.12.2017.T.07.02 рақамли Илмий Кенгашнинг 2018 йил «10» сентябр соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100200, Тошкент шаҳри, Амир Темуր шох 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 (2548 - рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100200, Тошкент, Амир Темуր шох кўчаси, 108-уй. Тел.: (+99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2018 йил «28» сентябр да тарқатилди.
(2018 йил «14» сентябр даги 3 - рақамли реестр баённомаси)



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

Б.Н. Рахимов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент

Х.К. Арипов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, ф-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда симсиз алоқа тизимлари орқали турли хилдаги маълумотларни (матн, графика, овоз, видеотасвир) юқори тезликда узатувчи восита ва технологияларни ишлаб чиқишга катта эътибор қаратилмоқда. Ушбу йўналишда алоқа тизимлари орқали телефония, интернет, рақамли телевидение, электрон ҳукумат ва бошқа ахборот хизматларини кўрсатиш самарадорлигини ошириш имкониятлари яратилмоқда. Халқаро электр алоқа иттифоқининг 2017 йил ҳисоботида кўра, «...дунёда ахборот-коммуникация технологияларининг ривожланиш индекси бўйича Исландия, Жанубий Корея ва Швейцария юқори кўрсаткичларга эришган»¹. Бу борада бир қатор мамлакатларда, жумладан, АҚШ, Япония, Буюк Британия, Франция, Германия, Финляндия, Хитой, Жанубий Корея ва Россияда рақамли телевидение, интернет ва мобил алоқа соҳаларини ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда симсиз алоқа каналларининг ҳалақитбардошлиги ва спектрал самарадорлигини оширишга, каналлараро интерференцияни камайтиришга, модуляция тавсифларини такомиллаштиришга, мобил алоқа каналида маълумот узатиш тезлиги ва сифатини оширишга қаратилган илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, мобил алоқа тармоқларида радиочастота ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш, каналнинг энергетик параметрларини такомиллаштириш, радиоканалнинг тавсифларини баҳолаш усулларини ишлаб чиқиш, мобил алоқа тармоғи техник воситаларининг параметрларини оптималлаштириш, бир ҳудудда ишловчи кўп сонли радиотехник объектларнинг ўзаро электромагнит мослашганлигини таъминловчи техник чора-тадбирларни ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда.

Республикамизда рақамли телевидение, интернет, симли ва симсиз алоқа тизимларини ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратиш орқали замонавий технологиялар асосида аҳолига хизмат кўрсатиш тизимини такомиллаштириш бўйича чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «...республика ҳудудларида мобил алоқа операторларининг 1843 та база станцияларини ўрнатиш..., ... мобил алоқа операторларининг тармоқлари қамрови ҳудудларини кенгайтириш...»² вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда, жумладан мураккаб архитектурали ҳудудларда мобил алоқа база станцияларининг қамров ҳудудини кенгайтириш, каналнинг тавсифларига таъсир этувчи ташқи омилларни инobatта олиш усулларини ишлаб чиқиш, майдон сатҳларини ҳисобловчи тақсимот моделларини такомиллаштириш ва электромагнит мослашганлик

¹ Халқаро электр алоқа иттифоқи расмий сайти. <http://www.itu.int/net4/ITU-D/di/2017/>

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

талабларини таъминловчи чора-тадбирларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2014 йил 12 февралдаги ПК-2126-сон «Мобил алоқа миллий оператори фаолиятини ташкил этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2018 йил 7 мартдаги 185-сон «Алоқа, ахборотлаштириш ва телекоммуникация хизматлари сифатини янада яхшилашга доир чора-тадбирлар тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. “Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сўнги йилларда мобил алоқа диапазонлари радиотўлқинларининг тарқалиш хусусиятлари, майдон сатҳларининг тақсимот қонунлари ва ҳисоблаш моделлари бўйича илмий тадқиқотлар ўтказилган ҳамда етарли даражада назарий ва амалий натижалар олинган. Жумладан, хорижий олимлардан Y. Okumura, E. Ohmori, M. Hata, F. Ikegami (Япония), W. Lee (Хитой), J. Deygout, H. Xia, N. Bertoni (AQШ), C. Giovanelli (Финляндия) ва бошқалар машҳур. Бундан ташқари, бу муаммолар Е.Р. Милютин, Г.О. Василенко, Н.Д. Дымович, П.И. Трифонов (Россия), F. Pallares (Испания), Y. Zhang (Хитой), A. Kuchar (Чехия), G. Wolfle (Германия), M. Haridim, B. Levin (Исроил), A. Davidson, T. Rappaport (AQШ) ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Ўзбекистонда Д.Н. Ликонцев, Г.Ф. Габзалилов, А.Х. Абдуқодиров, А.А. Нигманов, В.В. Царёвлар ультрақисқа тўлқин диапазони радиотўлқинларининг шаҳар шароитида тарқалиши бўйича математик моделлар, усуллар ва алгоритмларни ишлаб чиқишга ўз ҳиссаларини қўшганлар.

Ҳозирги кунда мегаполис шароитида 900 МГц диапазони радиотўлқинларининг тарқалиш хусусиятларини таҳлил қилишга, майдон сатҳларининг тақсимот қонуниятларида шаҳар қурилиш архитектурасининг таъсирини инобатга олувчи ва автомобиль туннелларида электромагнит майдоннинг сусайишини ҳисобловчи моделларни ишлаб чиқишга, радиосигналнинг сусайишига об-ҳавонинг таъсирини аниқлашга, радиосигналларни турли тўсиқлардан аксланиш хоссаларини таҳлил қилишга бағишланган илмий изланишлар етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент ахборот технологиялари университети

илмий тадқиқот ишлари режасининг А5-038-сон «Радиочастота ресурсларини мобил алоқа тармоқлари томонидан қўлланилишини оптималлаштириш» (2012-2013), 2-сон «Мобил алоқа антенналарини бир таянчда бирлаштириб ўрнатиш технологиясини ишлаб чиқиш» (2014-2017), 3-сон «Кўчма радионазорат станциялари томонидан мобил алоқа тармоқларининг ишончли қабул зонасини ва сифатини баҳолаш услубиятини ишлаб чиқиш» (2016-2017) лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади мегаполис шароитида 900 МГц диапазонида мобил алоқа станцияларининг электромагнит майдони сатҳлари тақсимотини ҳисоблаш моделларини такомиллаштиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Тошкент шаҳри архитектурасининг мобил алоқа база станциялари электромагнит майдон сатҳларига таъсирини инobatга олувчи тақсимот моделларини ишлаб чиқиш;

якка баланд бинолар ва жойнинг дўнглигини инobatга олувчи параметрларнинг Тошкент шаҳри учун ишлаб чиқилган тақсимот моделларида қўлланилишини асослаш;

автомобиль туннелларида электромагнит майдоннинг сусайишини ҳисоблаш моделини ишлаб чиқиш;

дифракцияланувчи тўлқин сатҳига бино деворларининг акслантириш хоссалари, том ва бинонинг устки қисмларидаги қор ва муз қатламларининг таъсирини инobatга олиш усулини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида шаҳар шароитида 900 МГц диапазонида ишловчи мобил алоқа тармоғи олинган.

Тадқиқот предметини шаҳар шароитида ишловчи мобил алоқа база станциялари майдони сатҳларининг тақсимотини ҳисоблаш моделлари ва усуллари ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида математик таҳлил қилиш, математик статистика, иммитацион моделлаштириш, экспериментал тадқиқ қилиш, мобил алоқа база станциялари майдони сатҳларининг тақсимотини ҳисоблаш усуллари ва алгоритмларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

мобил алоқа станцияларининг 900 МГц диапазонида электромагнит майдон сатҳларини ҳисобловчи Окамура-Хата моделлари янги эмпирик коэффициентларни қўллаш асосида такомиллаштирилган;

Окамура-Хата моделлари электромагнит майдон қийматида якка баланд бинодаги сусайишни ва жой дўнглигининг таъсирини инobatга олувчи коэффициентларни киритиш асосида такомиллаштирилган;

Икегами модели электромагнит майдон сатҳини аниқлашда об-ҳаво таъсирини киритиш орқали такомиллаштирилган;

автомобиль туннелларида электромагнит майдоннинг сусайишини ҳисоблаш усули тўғрибурчакли тўлқин ўтказгич модели асосида такомиллаштирилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари-қуйидагилардан иборат:

мобил алоқа станциялари электромагнит майдони сатҳларини

ҳисоблашда, Окамура-Хата моделида якка баланд бинолар ва жойнинг дўнглиги ҳисобидан юзага келадиган сусайишларни инobatта олиш орқали қабул нуктасидаги электромагнит майдоннинг сусайиш қийматини ҳисобловчи модели ишлаб чиқилган;

экспериментал тадқиқотлар асосида маҳаллий ҳом-ашёдан тайёрланган қурилиш материалларининг тўлқинларни акслантириш қийматлари аниқланган;

автомобиль туннелларида майдон сатҳларининг сусайишини тўғрибурчакли тўлқин ўтказгич модели асосида ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

Икегами моделида бино томини қоплаган қор ва муз қатламларида мобил алоқа сигналларининг сусайишини инobatта олиш усули ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги тадқиқот жараёнида математик таҳлил, математик статистика, радиотўлқинларнинг тарқалиш назарияси, имитацион моделлаштириш усуллари ва алгоритмларидан фойдаланиш асосида назарий ҳисоблашларнинг амалий натижалар билан мутаносиблигига эришганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқотлар натижаларининг илмий аҳамияти Тошкент шаҳрида экспериментал тадқиқотлар асосида олинган майдон сатҳларининг сусайиш қонуниятлари олинганлиги, улар мобил алоқа база станцияларини электромагнит мослашганлик нуктаи-назаридан оптимал жойлашувини аниқлашда фойдали эканлиги, Окамура-Хата моделига киритилган, якка бинолар ва рельефнинг дўнглиги ҳисобидан юзага келадиган сусайишларни инobatта олувчи коэффициентлар шаҳар шароитида майдон сатҳини ҳисоблаш аниқлигини ошириши, Икегами модели асосида қор ва муз қатламидаги сусайишларни инobatта олиш усули эркин йўналган кўчада майдон сатҳларини ҳисоблаш имкониятини бериши, туннель деворларининг «самарали солиштирама ўтказувчанлиги» тушунчаси автомобиль туннелларидаги майдон сатҳларининг сусайишини ҳисоблашда деворларининг нотекислиги ва акслантириш хоссаларини инobatта олиши билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти экспериментал тадқиқотлар асосида маҳаллий ҳом-ашёдан тайёрланган қурилиш материалларининг тўлқинларни акслантириш қийматлари шаҳар шароитида радиосоъяли ҳудудлардаги майдон сатҳини аниқ ҳисоблаши, мобил алоқа тармоғида қувват оқимининг зичлиги 1 мкВт/см^2 дан $2,5 \text{ мкВт/см}^2$ га оширилганда база станцияларининг миқдорини иқтисод қилиш даражаси кўрсатилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Мегалолис шароитида мобил алоқа станциялари электромагнит майдони сатҳларининг тақсимот моделлари асосида:

мобил алоқа станциялари электромагнит майдони сатҳларини ҳисобловчи такомиллаштирилган Окамура-Хата моделлари Ахборот технологиялари ва коммуникацияларни ривожлантириш вазирлиги

тасарруфидаги «Электромагнит мослашув маркази» давлат унитар корхонасига жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 24 майдаги 33-8/3733-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида Тошкент шаҳри учун якка бинолар ва рельефнинг дўнглиги натижасида юзага келадиган қўшимча сусайишларни ҳисоблаш имконияти яратилган;

тўғрибурчакли тўлқин ўтказгич модели асосида автомобиль туннелларида сигналларнинг сусайишини ҳисоблаш усули Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги «Электромагнит мослашув маркази» давлат унитар корхонасига жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 24 майдаги 33-8/3733-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида турли узунликдаги автомобиль туннелларида 900 ва 1800 МГц частота диапазонлари мобил алоқа сигналларининг сусайиш қийматларини башорат қилиш имконияти яратилган;

мобил алоқа сигналларининг тўсиқлардан аксланиш қийматлари ва қор қатламида сусайишини ҳисоблаш усули Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлиги тасарруфидаги «UNICON.UZ» давлат унитар корхонасига жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 24 майдаги 33-8/3733-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида қор қатламида 900 ва 1800 МГц частота диапазонларида мобил алоқа сигналларининг сусайиш қийматлари, маҳаллий хом-ашёдан ишлаб чиқарилган сариқ ва қизил пишиқ ғиштларнинг электродинамик параметрлари, акслантириш қийматларини инobatта олиш имконияти яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 16 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқот мавзуси бўйича жами 35 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 9 та мақола, шундан 1 таси хорижий, шу билан бирга 2 та республика, 2 та МДҲ журналларида нашр қилинган ҳамда 1 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномаси олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 119 бетни ташкил этади ва 40 та расм, 13 та жадвалдан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асослаб берилган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган, тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, натижаларнинг ишончлилиги асослаб берилган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалга жорий қилиш ҳолати, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Шаҳар радиоканаллари тавсифларининг таҳлили**» номли биринчи бобида шаҳар шароитида ультрақисқа тўлқинларнинг тарқалиш хусусиятлари ва шаҳар қурилишининг сигнал сатҳига таъсири кўриб чиқилган, тўлқинларнинг кўпнурли тарқалиш хусусиятлари келтирилган. Автомобиль туннелларида электромагнит майдон сатҳларининг тақсимот хусусиятлари кўриб чиқилган. Алоҳида бинолар ва шаҳар қурилишининг электромагнит майдон сатҳларига таъсири баҳоланган. Бунга кўра шаҳар шароитида турли қурилишларнинг мобил алоқа база станцияси (МABS) майдони сатҳининг сўниш қонуниятини ва бино деворларининг акслантириш хоссаларини аниқлаш ҳамда автомобиль туннелларида сигналнинг сусайишини ифодаловчи моделни ишлаб чиқиш лозим.

Шаҳар шароитида майдон сатҳларининг сусайиш модели прототипини танлашда бугунги кунда маълум бўлган детерминистик (дифракцион) ва статистик (эмпирик) моделларни таҳлил қилиш талаб қилинади.

Диссертациянинг «**Шаҳар радиоканалида тақсимот моделлари ва майдон сатҳларини ҳисоблаш**» номли иккинчи бобида шаҳар шароитида майдон кучланганлиги сатҳлари тақсимотининг асосан ҳорижда олинган дифракцион ва эмпирик моделлари кўриб чиқилган ва таҳлил қилинган.

Дифракцион моделларнинг камчилиги сифатида бино ва балкон ўлчамлари, томларнинг шакллари ва кўча кенглигини тўлиқ билиш талаб этилишини айтиб ўтиш лозим. Буни эса худуднинг рақамлаштирилган аниқ ҳаритасисиз инobatга олиш имкони йўқ. Шу билан бирга, дифракцион моделни кўзгалмас қабул нуктасидаги майдон сатҳини ҳисоблаш учун, яъни стационар радиоалоқада қўллаган маъқул.

Эмпирик моделлар майдон сатҳларининг (сусайишларнинг) яқинлаштирилган қийматларини аниқлаш имкониятини беради ва аниқ турдаги шаҳар қурилишида қўлланилиши мумкин. Одатда, эмпирик моделларда ҳисоблаш ифодаларига экспериментал тадқиқот натижасида олинган тузатиш коэффициентлари киритилади.

Дастлабки таҳлиллар асосида, ушбу ишда фойдаланиш учун Окамура-Хатанинг “Уртача шаҳар” учун модели танланган (модель Халқаро электр алоқа иттифоқи томонидан тавсия этилган). Модель шаҳар шароитида узатишдаги йўқотишлар қиймати L ни ҳисоблаш имкониятини беради. Унинг қўлланилиш бўйича параметрлар диапазони қуйидагича: база станциясининг

баландлиги $h_b = 30 \dots 200$ м, абонент терминали антеннасининг баландлиги $h_m = 1 \dots 10$ м ва ҳисоблаш масофалари $r = 1 \dots 20$ км.

$$L = 6875 - 1382 \lg h_b + 27,72 \lg f - (1,1 \lg f - 0,7) h_m + (449 - 6,55 \lg h_b) \cdot \lg r, \text{ дБ}, \quad (1)$$

бу ерда f – тўлқин частотаси МГц бирликда, r – масофа км бирликда.

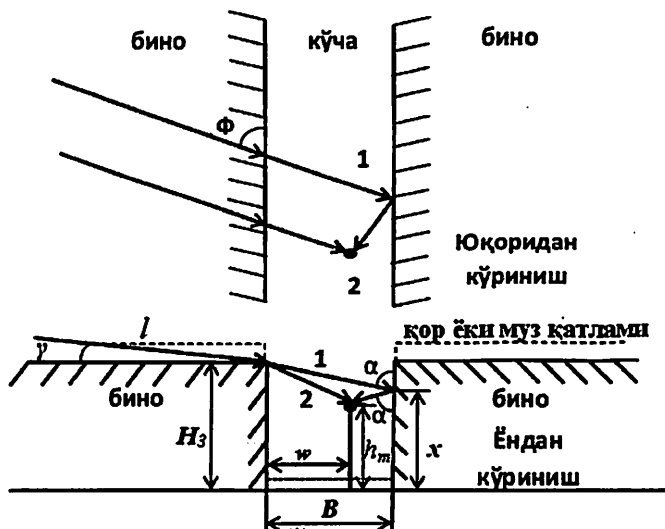
Бироқ ифоданинг ушбу кўриниши мантиқан тўғри эмас. Чунки ўлчов бирликларига эга бўлган параметрлар логарифмланаяпти. Шунинг учун ҳам, ушбу ифодани қуйидаги кўринишда ёзишни таклиф қиламиз:

$$L = 68,75 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [44,9 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0), \text{ дБ} \quad (2)$$

бу ерда h_0 – 1 м га тенг бўлган бирлик баландлиги; f_0 – 1 МГц га тенг бўлган бирлик частота; r_0 – 1 км га тенг бўлган бирлик масофа.

Шунга қарамай, ушбу модель Тошкент шаҳри учун бевосита қўлланила олмайди. Чунки ушбу модель томонидан ҳисобланган натижаларнинг экспериментал тадқиқот натижалари билан солиштирилиши уларнинг қийматлари ўртасида анчагина катта фарқ мавжудлигини кўрсатди.

Адабиётларда келтирилган дифракцион ва эмпирик формулаларнинг тахлили ҳеч бир ҳисоблаш усули об-ҳаво шароитини инobatта олмаслигини кўрсатди. Ёғингарчиликларнинг майдон кучланганлигига таъсирини аниқлаш мақсадида Икегами модели бўйича ифодага муружаат қилинди. Бу ифода кўзгалмас нуқтада, бўйлама йўналган кўчадан бошқа барча кўчаларда, антенналар орасида тўғри кўриниш мавжуд бўлмаган ҳолда майдон кучланганлигини ҳисоблаш имконини беради (1-расм).



1-расм. Қабул нуқтасида майдон сатҳини аниқлаш

Аввалига ёғингарчилик мавжуд бўлмаган ҳолат учун ҳисоб ифодаларини кўриб чиқамиз. Қабул нуқтасида асосий тўлқин сифатида бино томида дифракцияланган тўлқин намоён бўлади. Бу тўлқин бино деворларидан кўп қаррали аксланиш ҳисобига мураккаб тузилишли майдон ҳосил қилади.

Кичик қийматли γ силжиш бурчақлари ҳолатида бино томидаги дифракцияни иккита нурлар, понасимон тўсиқда дифракцияланган нурлар сифатида кўрсатиш мумкин. 1-расмда бино томида дифракцияланган 2 та нур ҳолати кўрсатилган. Понасимон тўсиқда дифракцияланган тўлқиннинг майдон кучланганлиги қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$E = \frac{0,225E_0}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{\lambda w / \sin \Phi}}{H_3 - h_m}, \text{ В/м}, \quad (3)$$

бу ерда E_0 - эркин фазодаги майдон кучланганлиги, В/м; w - бино деворидан қабул қилувчи антеннагача бўлган масофа, м; Φ - қабул нуқтаси ва кўча йўналиши ўртасидаги бурчак; H_3 - шаҳар қурилишининг баландлиги, м; h_m - абонент терминали баландлиги, м; λ - тўлқин узунлиги, м.

1-расмдан кўриниб турибдики, аксланган тўлқин тўғри тўлқинга нисбатан қуйидаги қийматга кўпроқ масофа босиб ўтади:

$$\Delta r \cong \left[(2B - w)^2 \csc^2 \Phi + (H_3 - h_m)^2 \right]^{0.5} - \left[w^2 \csc^2 \Phi + (H_3 - h_m)^2 \right]^{0.5}, \quad (4)$$

бу ерда B - кўчанинг кенглиги, м.

Қабул нуқтасида майдон кучланганлигини ҳисоблаш ифодаси қуйидаги кўринишга эга:

$$E = \frac{0,871\sqrt{P_s}}{r} \cdot \frac{\sqrt{\lambda w / \sin \Phi}}{(H_3 - h_m)} \cdot \left\{ 1 + 2R \cos \left\{ \theta + (2\pi / \lambda) \times \left[(2B - w)^2 \csc^2 \Phi + (H_3 - h_m)^2 \right]^{0.5} - \left[w^2 \csc^2 \Phi + (H_3 - h_m)^2 \right]^{0.5} \right\} + R^2 \right\}^{0.5}. \quad (5)$$

Келтирилган ифода узатувчи ва қабул қилувчи антенналар орасида тўғри кўриниш мавжуд бўлмаган ҳолатда, кичик қийматли γ ($\gamma < 5 \dots 10^0$) бурчаги қийматлари учун ўринлидир.

Вертикал қутбланишли тўлқин учун бино деворларидан аксланиш қиймати R ни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$R = \frac{\left| \varepsilon_t \sin \alpha - \sqrt{\varepsilon_t - \cos^2 \alpha} \right|}{\left| \varepsilon_t \sin \alpha + \sqrt{\varepsilon_t - \cos^2 \alpha} \right|}, \quad (6)$$

бу ерда $\varepsilon_t = \sqrt{\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2}$ - бино деворларининг комплекс диэлектрик сингдирувчанлиги модули қиймати; ε - бино деворининг нисбий диэлектрик

сингдирувчанлиги; σ - бино деворининг солиштирма электр ўтказувчанлиги, См/м; α - бино деворидан аксланиш жойидаги силжиш бурчаги (1-расм).

Тўлқиннинг Φ бурчаги ўзгарганда α нинг қиймати жуда кам ўзгаради, шунинг учун ҳам уни Φ бурчакка боғлиқ эмас дейиш мумкин.

Об-ҳаво шароитининг ўзгариши (ёмғир ва қор) натижасида бино деворларининг комплекс диэлектрик сингдирувчанлиги қиймати ўзгаради ва натижада тўлқиннинг аксланиш коэффиценти модули R ва албатта майдон кучланганлиги қийматлари ўзгаради. Ҳақиқатда бу қийматлар кам ўзгаради. Шунинг учун ҳам қабул нуктасидаги майдон кучланганлигига томда тўпланган қор ва муз қатлами кучлироқ таъсир кўрсатади. Бунда тўлқин том қиррасида дифракцияланишдан аввал, томдаги қор ёки муз қатлаמידан ўтиши керак. Қор ёки муз қатлаמידан ўтишда тўлқин босиб ўтадиган масофа куйидагига тенг:

$$l = S / (\cos \gamma \sin \Phi), \quad (7)$$

бу ерда S - бино томининг кенлиги.

Қор ёки муз қатлами киритадиган сусайишни қўшимча кўпайтма F_{ext} ёрдамида аниқланади:

$$F_{ext} = \exp[-(2\pi/\lambda) \cdot p \cdot l], \quad (8)$$

бу ерда $p = \sqrt{0,5(-\epsilon_n + \sqrt{\epsilon_n^2 + (60\lambda\sigma_n)})}$ - қўшимча параметр, ϵ_n - қор ёки музнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги; σ_n - қор ёки музнинг солиштирма ўтказувчанлиги, См/м.

Қор учун $\epsilon_n = 1,4$ ва $\sigma_n = 10^{-3}$, муз учун $\epsilon_n = 3,2$ ва $\sigma_n = 10^{-3}$.

Қор қатлами учун олиб борилган ҳисоблашлар шуни кўрсатдики, 900 МГц частотада тўлқиннинг қатлам орқали босиб ўтадиган масофаси $l = 10$ м бўлганда $F_{ext} = 0,207$ га тенг бўлади. Демак, майдон кучланганлиги деярли 5 марта, яъни 13,7 дБга камаяди. Муз қатлами учун олиб борилган шу каби ҳисоблашлар $F_{ext} = 0,352$ га тенглигини кўрсатди. Демак, муз қатлами учун майдон кучланганлиги деярли 3 марта, яъни 9,1 дБга камаяди. 1800 МГц частотаси учун амалга оширилган ҳисоблашлар 900 МГц частотага нисбатан кичикроқ натижа кўрсатди.

Шундай қилиб, хулоса қилиш мумкинки, ёмғир ёғиши натижасида деворнинг намланиши ҳисобига қабул нуктасидаги майдон кучланганлиги кам ўзгаради. Бу нуктадаги майдон кучланганлигига асосий таъсирни бино томидаги қор ёки муз қатлами киритади.

Диссертациянинг «Мегаполис шароитида майдон тақсимотининг экспериментал тадқиқи ва мобил алоқанинг экологик аспекти» мавзусидаги учинчи бобида 900 МГц диапазонида шаҳар шароитида майдон кучланганлигининг тақсимотини экспериментал тадқиқ қилиш натижалари келтирилган. Бунда тадқиқот ўтказилишидан аввал, шаҳарнинг тадқиқот ўтказиладиган ҳудудлари шартли равишда куйидагиларга бўлинган: ўрта

зичликдаги қурилишли худудлар (тўрт ва беш қаватли бинолар), кичик зичликдаги қурилишли худудлар (бир ва икки қаватли бинолар), бўйлама ва кўндаланг кўчалар (МАБСнинг антеннасига нисбатан олинган). Ўлчаш трассаларини танлашда уларда тўлқинларнинг тарқалиш шартлари ўхшаш бўлишига эътибор берилган.

Ўлчашлар Rohde & Schwarz фирмасининг кўчма ўлчаш комплексида бажарилган.

Ўлчаш вақтини 1 мс ёки 10 мс қийматини танлашда автомобилларнинг 35...40 км/соат ўртача ҳаракатланиш тезлиги ва танловларнинг репрезентативликни қаноатлантириш шартларидан келиб чиқилди.

Қабул нуқтасига бир вақтнинг ўзида кўплаб нурлар тушишини ва уларнинг фазаларини инobatга олиш имконияти йўқлигини ҳисобга олсак, майдон кучланганлигининг тасодикий қиймат эканлиги юзага келади. Шунинг учун ҳам ўлчаш натижаларига ишлов бериш учун ишончлилик интервалини аниқлаш лозим:

$$I_p = (\tilde{E}_{pp} - t_p \sqrt{\tilde{D}/n}; \tilde{E}_{pp} + t_p \sqrt{\tilde{D}/n}), \quad (9)$$

бу ерда \tilde{E}_{pp} - майдон кучланганлигининг ўртача қиймати; \tilde{D} - тасодикий қийматнинг дисперсияси; t_p - ишончлилик интервалининг ярми; n - ўлчашлар миқдори.

Илмий тадқиқотлар учун, танловларнинг репрезентативлигини сақлаган ҳолда, ишончлилик эҳтимоллигининг $\beta = 0,95$ бўлиши етарли. Бунда ўлчашлар сони $n = 60$ бўлганда ишонч интервали $2t_p = 2$ га тенг. Ўлчаш натижаларига ишлов беришда ишончлилик интервалига кирмаган сонлар ташлаб юборилган.

Экспериментал маълумотларга ишлов беришда олинган натижалар ҳисоблаш ифодаларига жорий қилинди ва Тошкент шаҳри учун такомиллаштирилган Окамура-Хата моделлари ифодаларига эга бўлинди.

Тадқиқотлар натижасида якка турувчи баланд бинолар 15...25 дБ миқдоридида кўшимча йўқотиш киритиши аниқланди. Шу билан бирга, худуднинг баъзи жойларида “понасимон тўсиқда кучайиш” ҳодисаси ҳам кузатилди.

Якка турувчи баланд бинолар томонидан киритиладиган йўқотишларни Окамура-Хата моделида инobatга олиш учун L_{hrb} коэффициентидан фойдаланилган. Ушбу коэффициент асосан кичик зичликли худудларда қўлланишга лойиқ.

Маълумки, Окамура-Хата модели квазиясси сирт бўйлаб тарқалаётган тўлқинларнинг сусайишини ҳисоблашга мўлжалланган. Радиотўлқинларнинг шаҳар шароитида тарқалиш хусусиятларини таҳлил қилиш асосида худуднинг дўнглигини инobatга олиш лозимлиги аниқланди. Бунинг учун ушбу ишда Окамура-Хата моделига тузатувчи коэффициент киритилиши тақлиф қилинган.

Жойнинг дўнглигини инобатга олувчи коэффициент қуйдаги кўринишга эга:

$$K_x = A \cdot \Delta h, \text{ дБ}, \quad (10)$$

бу ерда A - эмпирик коэффициент (дўнглик даражаси $\Delta h = 20 \dots 80$ м бўлган жойлар учун $0,2 \dots 0,225$ дБ/м).

Якка турувчи баланд бинолар ва жойнинг дўнглигини инобатга олувчи коэффициентлар билан Окамура-Хата модели ифодаси қуйдаги кўринишга эга бўлади:

- ўрта зичликдаги қурилишли шаҳар ҳудудлари учун:

$$L = -27,55 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [31,9 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{hrb} + K_x, \text{ дБ}; \quad (11)$$

- кичик зичликдаги қурилишли шаҳар ҳудудлари учун:

$$L = -32,17 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [25 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{hrb} + K_x, \text{ дБ}; \quad (12)$$

- бўйлама кенг кўчалар учун:

$$L = -29,55 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [27 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + K_x, \text{ дБ}; \quad (13)$$

- қўндаланг кенг кўчалар учун:

$$L = -27,41 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [37 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{hrb} + K_x, \text{ дБ}. \quad (14)$$

Бунда майдон кучланганлиги қуйдаги ифода орқали аниқланади:

$$E = E_0 - L, \text{ дБ}, \quad (15)$$

бу ерда E_0 - эркин фазодаги майдон кучланганлиги.

Маълумки, бино деворлари у орқали тарқалаётган электромагнит тўлқинларга сусайиш киритади. Халқаро электр алоқа иттифоқи (ХЭАИ) нинг маълумотларига кўра ғиштли деворнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги $\epsilon = 3,75$, солиштирма ўтказувчанлиги эса $\sigma = 0,038$ См/м га тенг.

Диссертация ишида маҳаллий хом-ашёдан тайёрланган пишиқ ғиштнинг электродинамик параметрлари тадқиқ қилинди.

Унга кўра қуйдаги натижалар олинди:

- сариқ пишиқ ғишт учун $\epsilon = 2,5$; $\sigma = 0,004$ См/м;

- қизил пишиқ ғишт учун $\epsilon \approx 2,2$; $\sigma = 0,04$ См/м.

Шундай қилиб, таъкидлаш мумкинки, сариқ пишиқ ғиштда тўлқиннинг аксланиши қизил пишиқ ғиштга кўра камроқ.

Деворларнинг тўлқинларни акслантириш хоссалари ϵ ва σ параметрлари қийматларига боғлиқ бўлганлиги сабабли, улардаги аксланиш коэффицентининг модули ХЭАИ тавсияномасида келтирилган қийматга нисбатан сариқ ғиштда 1,41 марта, қизил ғиштда 1,59 марта кам.

Юқоридагиларни инобатга олган ҳолда айтиш мумкинки, маҳаллий хом-ашёдан тайёрланган ғиштли деворлардан тўлқинларнинг аксланиши камроқ ва аксинча, сигналларнинг деворлар орқали сингиш даражаси юқорироқ.

Олинган натижалар Икегами модели ёрдамида ихтиёрий йўналишга эга кўчаларда майдон кучланганлигини ҳисоблашда фойдали бўлади.

Бугунги кунда амалда бўлган 0295-11-сонли Ўзбекистон Республикаси Санитария қондалари ва меъёрларида 2011 йилдан буён тўлқин қуввати оқимининг зичлиги (ҚОЗ) 1 мкВт/см^2 дан $2,5 \text{ мкВт/см}^2$ га оширилган.

ҚОЗ нинг 2,5 марта ортиши тўлқиннинг база станциясидан қия тарқалиш масофаси r_n нинг $\sqrt{2,5}$ марта (1,581 марта) ортишини кўрсатади. Тўлқиннинг қия тарқалиш масофаси қуйидаги ифода ёрдамида ҳисобланади:

$$r_n = 4,472 \sqrt{P_1 \cdot G_1 \cdot \eta_{\text{афт}} \cdot K_\phi^2 \cdot K_r^2 \cdot (F(\phi) \cdot F(\Delta))^2}, \quad (16)$$

бу ерда P_1 - антенна киришидаги қувват, Вт; G_1 - изотроп нурлатгичга нисбатан кучайтириш коэффиценти; $\eta_{\text{афт}}$ - антенна-фидер трактидаги йўқотишлар коэффиценти; K_ϕ - ернинг таъсирини инобатга олувчи кўпайтма; K_r - антеннанинг горизонтал текисликдаги йўналганлик диаграммаси нотекислигини инобатга олувчи коэффицент; $F(\phi)$ - антеннанинг горизонтал текисликдаги меъёрланган йўналганлик диаграммаси қиймати (кучланиш бўйича); $F(\Delta)$ - антеннанинг вертикал текисликдаги меъёрланган йўналганлик диаграммаси қиймати (кучланиш бўйича).

Қия тарқалиш масофаси r_n тўлқиннинг горизонтал тарқалиш масофаси r дан кўп фарқ қилмаслигини (одатда 15...20 %) инобатга олсак, ҚОЗ нинг 2,5 марта ортиши ҳисобидан қия тарқалиш масофасининг 1,26...1,34 марта ортишини ҳисоблашимиз мумкин. Бунда база станциясининг қамров ҳудуди 1,6...1,8 марта ортади. База станциясининг нурлатиш қуввати унинг трафикага боғлиқлигини ҳисобга олсак (трафик ўртача 50 % га тенг) 900 МГц диапозони учун амалдаги база станциялари микдорини икки марта қисқариши мумкин. Бунда база станцияларининг янги жойлашув нуқталарини аниқлашда, ушбу диссертацияда тақлиф этилаётган такомиллаштирилган Окамура-Хата моделини қўллаш мумкин.

Бугунги кунда Тошкент шаҳрида 900 МГц диапозонида 400 дан ортиқ база станциялари мавжудлигини инобатга олсак, станциялар иқтисоди 200 донани ташкил қилишини таъкидлаш мумкин. Келтирилган фикрлар абонентларнинг шаҳардаги зичлигини ҳисобга олмайди. Шунинг учун ҳам база станцияларининг иқтисоди 100 донани ташкил қилиши мумкин. Ҳар бир

база станциясининг бир секторида 3 дона ишчи частота ишлатилишини эътиборга олсак, жами 900 дона частота иқтисод қилиниши келиб чиқади. Бу турдаги чора-тадбирлар шаҳарда электромагнит шароитни анча яхшиланишига олиб келади.

Диссертациянинг «Туннелларда ва ишончсиз қабул жойларида мобил алоқани ташкил қилиш масалалари» номли тўртинчи бобида автомобиль туннелларида ва ишончсиз қабул жойларида мобил алоқани ташкил қилишнинг ўзига ҳос хусусиятлари кўриб чиқилган.

Куйида тўғрибурчакли автомобиль туннелларида сигналларнинг сусайиши кўриб чиқилган. Маълумки, ультрақисқа тўлқинлар туннелларда тарқалганда кучли сусаяди. Метрли тўлқин диапазони узун (300 м гача) туннелларда радиоалоқани ўрнатиш учун фақатгина ретрансляторлар ёрдамида қўлланилиши мумкин. Бироқ дециметрли тўлқин диапазонида туннеллар тўлқинлар учун канал ҳосил қилиш хоссасига эга ва бунинг натижасида дециметрли тўлқинлар метрли тўлқинларга нисбатан анча яхши тарқалади.

Туннелларнинг ўлчамлари чегараланганлиги сабабли, турли радиоқурилмаларни фазовий ажратиш имконияти мавжуд эмас. Шунинг учун туннелларда электромагнит мослашув масалалари жуда ҳам муҳимдир. Бунда туннелларда сигналларнинг сусайишини ҳисоблаш долзарб масалага айланади.

Аввалроқ, қатор олимлар томонидан майдон сусайишини ҳисоблашда туннелни думалоқ шаклдаги диэлектрик тўлқин ўтказгич сифатида тасвирлаш ва геометрик оптика қонунларини қўллаш уринишлари амалга оширилган. Бу ёндашув туннель деворлари электродинамик параметрларининг диэлектрик муҳитдан фарқ қилганлиги сабабли бироз ноўрин.

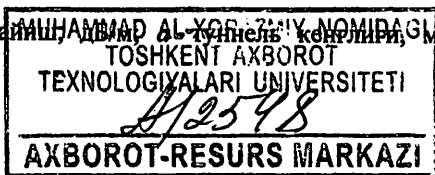
Ушбу ишда, тўғрибурчакли шаклга эга автомобиль туннелларида унинг деворлари темир-бетондан тайёрланганлигини инобатга олиб, майдон сусайишини деворлари яримўтказгич хоссасига эга бўлган тўғрибурчакли тўлқин ўтказгич модели асосида ҳисоблаш усулини таклиф қилмоқдамиз.

Туннельдаги ҳисоблашларни унификациялаш учун туннель деворларининг «самарали солиштирма ўтказувчанлик» $\sigma_{сам}$ параметри киритилган. Бу параметр туннель деворларининг ўтказувчанлик хоссалари ва нотекислигини инобатга олади.

Тўғрибурчакли металл тўлқин ўтказгичда сусайиш коэффициентини ҳисоблаш ифодасини асос сифатида олиб ва унга юза қаршилиги қийматини қўйиб, «самарали солиштирма ўтказувчанлик» $\sigma_{сам}$ ифодасига эга бўламиз:

$$\sigma_{сам} = \frac{2,512}{\lambda \cdot \alpha^2 \cdot b^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right]} \cdot \left[1 + 2 \frac{b}{a} \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right]^2, \frac{СМ}{М}, \quad (17)$$

бу ерда α - чизикли сусайиш, λ - тўлқиннинг кўнгли, м; b - туннель баландлиги, м.



«Самарали солиштирма ўтказувчанлик» $\sigma_{сам}$ параметрини билган ҳолда, туннелдаги чизиқли сусайиш қийматини қуйидаги ифодадан ҳисоблаш мумкин:

$$\alpha = \sqrt{2,512 \cdot \left[1 + 2 \frac{b}{a} \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right]^2 / \left\{ \sigma_{сам} \lambda b^2 \left[1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right] \right\}}, \text{ дБ/м.} \quad (18)$$

Сусайиш коэффициентини α ни туннель узунлигига кўпайтириш орқали радиотўлқиннинг туннелдаги сусайиш қийматини ҳисоблаш мумкин.

Агар тадқиқ қилинаётган туннель бўйича экспериментал ўлчаш натижалари мавжуд бўлмаса, α нинг тахминий қийматини нашрларда келтирилган сусайиш қийматларидан аниқлаш мумкин бўлади. Келтирилган сусайиш қийматларини туннелнинг узунлигига бўлиш орқали сусайишнинг чизиқли қиймати аниқланади. Сўнгра (17) ифодага туннелнинг ўлчамлари ва чизиқли сусайиш қийматини қўйиб, «самарали солиштирма ўтказувчанлик» $\sigma_{сам}$ қийматини аниқлаш мумкин.

Диссертация ишида, $\sigma_{сам}$ нинг қийматини аниқлаш учун аввалига Линкольн (АҚШ) даги 7,6x4,3 м ўлчамлардаги туннелда 153, 300, 600, 980, 2400, 6000 ва 11215 МГц частоталарда Zhi Sun ва Ian F. Akyildiz томонидан ўлчанган қийматлардан фойдаланилди. Ҳисоблашлар натижалари «самарали солиштирма ўтказувчанлиги» $\sigma_{сам}$ нинг қуйидаги экспоненциал функция орқали аппроксимацияланишини кўрсатди:

$$\sigma_{сам} = -9769,9 + 9260,3 \cdot \exp(1,3011 \cdot 10^{-4} f), \text{ См/м,} \quad (19)$$

бу ерда f - тўлқин частотаси, МГц.

Юқоридаги ифода ёрдамида туннелдаги чизиқли сусайишни ҳисоблаш осон.

Диссертация ишида Тошкент шаҳридаги иккита туннелларда майдон кучланганлигининг сусайишини аниқлаш бўйича экспериментал тадқиқотлар ўтказилди. Сигнал манбаи сифатида туннель киришига энг яқин жойлашган база станцияларидан фойдаланилди.

Шу ҳолат аниқландики, 1800 МГц диапазонда сигналнинг туннель ичкарисидаги қиймати 900 МГц диапазондагига нисбатан юқорирак бўлди.

Экспериментал тадқиқот натижаларига ишлов бериш натижасида туннелдаги чизиқли сўнишнинг қийматлари 900 МГц диапазонда $\alpha = 0,03$ дБ/м, 1800 МГц диапазонда $\alpha = 0,025$ дБ/м га тенглиги аниқланди.

Шунга кўра, туннелларда мобил алоқани ташкил қилишда ҳар 100 м масофада сигнал 900 МГц диапазонда 3 дБга, 1800 МГц диапазонда 2,5 дБга камаяди. Шуни таъкидлаш керакки, «Бунёдкор» кўчаси бўйлаб Тошкент Давлат Цирки яқинида жойлашган туннелдаги эксперимент натижасига кўра сусайиш қиймати ҳисоблашлардан ўртача 10...15% кичик чиққан. Бу эса туннелнинг ичига юқоридан сигналнинг сингиши сабабли кузатилган. «Кичик ҳалқа йўли» бўйлаб «Шимолий вокзал» яқинида жойлашган туннелдаги α нинг натижалари фарқи 5% дан ошмаган.

Тавсиялар сифатида шуни айтиб ўтиш мумкинки, агар туннельда мобил алоқа сигналлари етарли даражада бўлмаса, туннель ичида ретрансляторлар ўрнатиш мумкин. Шу билан бирга, туннель яқинида база станциясини ўрнатишда антенналарнинг бир секторини туннель йўналиши билан мос равишда жойлаштириш мумкин.

Агар туннельларнинг узунлиги бир неча юз метр бўлса, мобил алоқани ташкил қилиш учун туннель ичига кичик ҳудудга хизмат кўрсатувчи база станцияларини ўнатиш ва уларни вентиляция шахталарига жойлаштириш лозим. Ушбу модель ва тавсиялардан метрополитен туннельларида майдон сусайишини ҳисоблашда ҳам фойдаланиш мумкин.

Диссертация ишида ишончсиз қабул ҳудудида мобил алоқани ташкил қилиш бўйича ретрансляторлар, кабелли алоқа линиялари, радиоузайтиргич антенналар ва алоқа тўйнуғига эга ёпиқ турдаги узатиш линияларидан фойдаланиш йўллари кўриб чиқилган. Асосий эътибор радиоузайтиргич антенналарга қаратилган. Ушбу ишда автомобиль трассаларида қўллаш учун бир тизимга бирлаштирилган иккита «тўлқин каналли» антенналардан ташкил топган кўндаланг нурланишли антенна панжараларининг тавсифларини электродинамик моделлаш натижалари келтирилган. Антенналарнинг таянчга маҳкамлаш бўғини таклиф қилинган. Шу билан бирга, иккита панелли антенналарни ягона панжарага бирлаштириш натижасида ҳосил бўладиган антенна панжараси тавсифлари экспериментал ўлчанган.

Бино ичида стационар мобил телефон ёрдамида алоқани ўрнатишда аппаратнинг телескопик қозиксимон антеннасининг фазодаги жойлашуви катта аҳамият касб этади. Бино ичидаги вертикал E_z ва горизонтал E_y тўлқинларнинг майдон кучланганлиги қийматларини синов ўлчашлар натижалари шуни кўрсатдики, улар ўзаро деярли корреляцияланмаган, яъни қиймат жиҳатидан бир-бирига боғлиқ эмас. Қутбсизланиш коэффиценти катта қийматларда ўзгариб, антеннанинг ойнага нисбатан жойлашувига, ҳонадаги мебель ва одамларнинг жойлашувига боғлиқ бўлди.

Ўтказилган ўлчашлар натижаларига кўра телескопик қозиксимон антенна вертикалга нисбатан $35...55^\circ$ бурчак остида жойлашганда ҳонадаги буюмларнинг ва одамлар ҳаракатининг сигнал сифатига таъсири энг кам бўлди.

Демак, бино ичида стационар аппаратда сифатли алоқани таъминлаш учун ушбу тавсиялар фойдали бўлади.

ХУЛОСА

«Мегаполис шароитида мобил алоқа станциялари электромагнит майдони сатҳларининг тақсимот моделлари» мавзусидаги диссертация бўйича қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Шаҳар шароитида 900 МГц диапазони радиотўлқинларининг тарқалиш тавсифлари таҳлил қилинди. Бу радиотўлқинлар тарқалишининг асосий қонуниятларини аниқлашга хизмат қилади.

2. Шаҳар қурилиш тавсифини (ўрта зичликдаги қурилишли ҳудудлар, кичик зичликдаги қурилишли ҳудудлар, кенг бўйлама ва кўндаланг кўчалар) инobatта олувчи Окамура-Хата моделлари ишлаб чиқилган. Бу моделлар мобил алоқа тармоғини оптималлаштиришда база станцияларининг миқдорини қисқартириш, электромагнит ҳолатни яхшилаш ва экологик ҳавфсизликни ошириш имконини беради.

3. Мобил алоқа сигналларининг майдон сусайиш қийматиға якка турувчи баланд бинолар киритадиган таъсири аниқланган. Бу қабул нуқтасида сигнал сатҳини башорат қилиш имконини беради.

4. Маҳаллий хом-ашёдан тайёрланган пишиқ ғиштларнинг электродинамик параметрлари аниқланган. Ушбу ғиштлардан аксланишнинг Халқаро электр алоқа иттифоқи тавсияларидаги аксланиш қийматларидан фарқи кўрсатиб берилган.

5. Ихтиёрий йўналишга эга кўчадаги майдонни ҳисоблашда бино томини қоплаган қор ва муз қатлами томонидан киритиладиган сусайиш таъсирини инobatта олиш усули таклиф қилинган. Бу қабул нуқтасида майдон кучланганлигини ҳисоблаш аниқлигини ошириш имконини яратади.

6. Автомобиль туннелларида сигналларнинг сусайишини яримўтказгич деворли тўғрибурчакли тўлқин ўтказгич модели ёрдамида ҳамда «самарали солиштирама ўтказувчанлиги» тушунчаси асосида ҳисоблаш усули таклиф қилинган. Ушбу модель ёрдамида автомобиль ва метрополитен туннелларида майдон сусайишини ҳисоблаш имконини беради.

7. Диссертация иши натижаларининг жорий этилишидан кутилаётган умумий иқтисодий самарадорлик 50 млн. сўмни ташкил этади.

8. Диссертацияда келтирилган материаллар «Электромагнит мослашув маркази» давлат унитар корхонаси, «UNICON.UZ» давлат унитар корхонаси, «ALOQALOYIHA» давлат унитар корхонаси, мобил алоқа операторлари ва ТАТУ ўқитувчиларига «Симсиз алоқа тизимларида антенналар ва радиотўлқинларнинг тарқалиши» фанини ўқитишда фойдали бўлади.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ШАХОБИДДИНОВ АЛИШЕР ШОПАТХИДДИНОВИЧ

**МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ПОЛЯ СТАНЦИЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ
МЕГАПОЛИСА**

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–2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2018.2.PhD/T83.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

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

Научный руководитель:

Назаров Абдулазиз Муминович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Абдукаюмов Абдурашид
доктор технических наук, профессор

Абдукадыров Алишер Хабибуллаевич
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация:

Акционерная компания «Узбектелеком»

Защита диссертации состоится « 10 » июля 2018 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.28.12.2017.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100200, г. Ташкент, проспект 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 имени Мухаммада Ал-Хоразми (регистрационный номер № _____). (Адрес: 100200, г. Ташкент, пр. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан « _____ » _____ 2018 года.
(реестр протокола рассылки № _____ от « _____ » _____ 2018 года.)



Р.Н.Усманов
Председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

Б.Н.Рахимов
Учленый секретарь Научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., доцент

Х.К.Арипов
Председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению ученых
степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире уделяется особое внимание разработке средств и технологий высокоскоростной передачи данных различных видов информации (текстовой, графической, голосовой, видео) по системам беспроводной связи. В данном направлении создаются условия для повышения эффективности оказания услуг через системы связи, таких как телефония, интернет, цифровое телевидение, электронное правительство и другие. В отчете Международного союза электросвязи за 2017 год отмечено, что «...по индексу развития информационно-коммуникационных технологий в мире Исландия, Южная Корея и Швейцария достигли высоких показателей»¹. В этом направлении, в частности, в США, Японии, Великобритании, Франции, Германии, Финляндии, Китае, Южной Корее и России уделяется особое внимание развитию таких отраслей, как цифровое телевидение, интернет и мобильная связь.

В мире ведутся научные исследования, направленные на повышение помехоустойчивости и спектральной эффективности, снижение межканальной интерференции, совершенствование модуляционных характеристик, повышение скорости передачи информации и качества беспроводных каналов связи. В этом направлении, в частности, повышение эффективности использования частотных ресурсов, совершенствование энергетических параметров, разработка методов оценки характеристик радиоканалов, оптимизация параметров технических средств сети мобильной связи, разработка технических мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости радиотехнических объектов, расположенных близко друг другу считается одной из важных задач в мире.

В республике проводятся мероприятия по совершенствованию системы оказания услуг населению посредством уделения особого внимания развитию цифрового телевидения, интернета, проводных и беспроводных систем связи. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечены ряд задач, в том числе «...установка 1843 базовых станций и расширение зон покрытия сетей мобильной связи по всей республике»². В реализации этих задач, в том числе, расширение зон покрытия базовых станций мобильной связи в условиях сложной архитектурной застройки, разработка методов учета влияния внешних факторов на характеристики радиоканала, совершенствование моделей расчета распределения уровней поля и разработка требований по обеспечению электромагнитной совместимости считаются одной из важных задач.

¹ Официальный сайт Международного союза электросвязи. <http://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/>

² Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 12 февраля 2014 года №ПП-2126 «О мерах по организации деятельности национального оператора мобильной связи», в Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан от 7 марта 2018 года №185 «О мерах по дальнейшему улучшению качества услуг связи, информатизации и телекоммуникаций», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. За последние годы проведены научные исследования по особенностям распространения радиоволн диапазонов мобильной связи, по закономерностям распределения уровней поля и моделям расчета и получено большое количество теоретических и практических результатов. В частности, из зарубежных ученых известны Y. Okumura, E. Ohmori, M. Hata, F. Ikegami (Япония), W. Lee (Китай), J. Deygout, H. Xia, H. Bertoni (США), C. Giovanelli (Финляндия) и другие. Кроме них, эти проблемы изучены в работах Е.Р. Милюткина, Г.О. Василенко, Н.Д. Дымовича, П.И. Трифонова (Россия), F. Pallares (Испания), Y. Zhang (Китай), A. Kuchar (Чехия), G. Wolfle (Германия), M. Haridim, B. Levin (Израиль), A. Davidson, T. Rappaport (США) и других.

В Узбекистане свой вклад в разработку математических моделей, методов и численных алгоритмов расчета распределения уровней поля диапазона ультракоротких волн внесли Д.Н. Ликонцев, Г.Ф. Габзалилов, В.В. Царев, А.Х. Абдукадыров, А.А. Нигманов и др.

В настоящее время не достаточно изучены результаты научных исследований, посвящённых анализу особенностей распространения радиоволн диапазона 900 МГц, разработке моделей, учитывающих влияние городской архитектуры на уровни поля, разработке моделей расчета ослабления поля в автомобильных туннелях, влиянию погодных условий на уровни поля и отражающим свойствам различных преград.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов, согласно плану научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий №А5-038 «Оптимизация использования радиочастотного ресурса сетями мобильной связи» (2012-2013), №5/16 «Разработка технологии совместной установки антенн мобильной связи на одной опоре» (2014-2017), №3 «Исследование

методик оценки зоны уверенного приёма и качества обслуживания сетей мобильной связи передвижными станциями радиоконтроля» (2016-2017).

Целью исследования является совершенствование моделей расчета распределения уровней поля станций мобильной связи диапазона 900 МГц в условиях мегаполиса.

Задачи исследования:

разработка моделей, учитывающих влияние архитектуры г. Ташкента на распределение уровней электромагнитного поля станций мобильной связи;

обоснование использования в разработанных моделях коэффициентов, учитывающих ослабления поля, вносимые одиночно стоящими высотными зданиями и холмистостью местности.

разработка модели расчета ослабления уровней поля в автомобильных туннелях;

разработка методики учета влияния отражающих свойств материалов стен зданий, снежного покрова и льда на крышах и на поверхности зданий на ослабление уровней поля дифрагированной волны.

Объектом исследования выбрана сеть мобильной связи диапазона 900 МГц.

Предметом исследования являются модели и методы расчета распределения уровней электромагнитного поля станций мобильной связи.

Методы исследования. При решении поставленных задач были использованы методы математического анализа и математической статистики, имитационного моделирования, экспериментальное исследование, методы и алгоритмы расчета распределения уровней электромагнитного поля станций мобильной связи.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствована модель Окамуры-Хата по расчету распределения уровней поля диапазона 900 МГц путем использования новых эмпирических коэффициентов;

усовершенствована модель Окамуры-Хата введением в нее коэффициентов, учитывающих ослабления, вносимые одиночно стоящими высотными зданиями и холмистостью местности.

усовершенствована модель Икегами учетом влияния погодных условий при расчете уровня поля;

усовершенствована методика расчета ослабления поля в автомобильных туннелях с помощью модели прямоугольного волновода.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана модель распределения уровней электромагнитного поля основанная на модернизированной модели Окамуры-Хата, учитывающая ослабление одиночно стоящими высотными зданиями и холмистостью местности;

экспериментальным путем определены отражающие свойства кирпичей, изготовленных из местных материалов;

разработана методика расчета ослабления уровней поля в автомобильных туннелях на основе модели прямоугольного волновода;

разработана методика учета ослабления волн в слое снега и льда на крышах зданий на основе модели Икегами.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается высокой степенью соответствия результатов исследования и расчетов путем использования математического анализа, математической статистики, теории распространения радиоволн, методов и алгоритмов имитационного моделирования.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов обосновывается полученными зависимостями ослабления уровней поля, основанными на результатах экспериментальных исследований распределения поля, которые будут полезны при определении оптимального расположения базовых станций при модернизации сети мобильной связи в г. Ташкенте, коэффициентами ослабления одиночно стоящими высотными зданиями и холмистостью местности позволяющими учесть стиль архитектуры и характер местности, что повышает точность прогноза уровней поля, разработанной методикой учета интерференции волн и погодных условий в модели Икегами, которые позволяют рассчитать уровни поля на произвольно ориентированной улице при наличии слоя снега и льда на крышах зданий, введением параметра «эффективная удельная проводимость», который учитывает неровности стен автомобильного туннеля при расчете ослабления в автомобильных туннелях.

Практическая значимость результатов исследования обосновывается полученными значениями отражающих свойств материалов стен зданий, которые будут полезны при проектировании внутризональной сети мобильной связи, полученными результатами экономии количества базовых станций мобильной связи при повышении значения плотности потока энергии с 1 мкВт/см^2 до $2,5 \text{ мкВт/см}^2$.

Внедрение результатов исследования. На основе моделей распределения уровней электромагнитного поля станций мобильной связи в условиях мегаполиса:

модернизированные модели Окамуры-Хата по расчету распределения уровней электромагнитного поля станций мобильной связи внедрены в деятельность государственного унитарного предприятия «Центр электромагнитной совместимости» при Министерстве по развитию информационных технологий и коммуникаций (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 24 мая 2018 года №33-8/3733) В результате научного исследования создана возможность расчета дополнительного ослабления за счет одиночно стоящих высотных зданий и холмистости местности;

методика расчета ослабления уровней поля в автомобильных туннелях на основе модели прямоугольного волновода внедрена в деятельность государственного унитарного предприятия «Центр электромагнитной совместимости» при Министерстве по развитию информационных технологий и коммуникаций (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 24 мая 2018 года

№33-8/3733) В результате научного исследования создана возможность прогнозирования уровней электромагнитного поля станций мобильной связи в диапазонах частот 900 и 1800 МГц на автомобильных туннелях произвольной длины;

величины отражения сигналов мобильной связи и методика расчета ослабления поля в слое снега внедрены в деятельность государственного унитарного предприятия «UNICON.UZ» при Министерстве по развитию информационных технологий и коммуникаций (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 24 мая 2018 года №33-8/3733). По результатам внедрения получена возможность учета в расчетах величины ослабления уровней электромагнитного поля станций мобильной связи диапазонов частот 900 и 1800 МГц в слое снега, электродинамических параметров и отражающих свойств желтого и красного кирпича изготовленных из местных материалов.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждены на 16 международных и 5 республиканских научно-технических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликованы всего 35 научных работ, из них 9 статей в научных журналах из перечня ВАК РУз, в том числе, 1 статья в международном журнале, а также 2 статьи в республиканских журналах, 2 статьи в журналах стран СНГ, получено одно свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений, и содержит 119 страниц основного текста, 40 рисунков и 13 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, сформулированы цели и задачи работы, определены объект и предмет исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая ценность результатов исследования, приведены сведения о внедрении результатов исследования, об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе «Анализ характеристик городского радиоканала» рассмотрены особенности распространения радиоволн в городе, в том числе влияние застройки города на уровень сигнала, приведены характеристики многолучевости городского радиоканала. Рассмотрены особенности распределения уровней поля в автомобильных туннелях. Показано, что города Узбекистана имеют свою специфическую архитектуру.

В связи с этим предлагается провести экспериментальное исследование распределения уровней поля от базовых станций мобильной связи (БСМС) с

целью определения закономерностей ослабления уровней поля при различных видах городской застройки, определить влияние отражающих свойств стен зданий, выполненных из местных материалов и разработать модель ослабления сигнала в автомобильных туннелях.

Для выбора прототипа модели ослабления уровней поля в городских условиях необходимо также проанализировать известные детерминистские (дифракционные) и эмпирические модели.

Во второй главе «Модели распределения и расчет уровней поля городского радиоканала» рассмотрены дифракционные и эмпирические модели распределения уровней напряженности поля в городских условиях, и проделан анализ их применимости.

К недостатку дифракционных моделей можно отнести необходимость наличия всех размеров зданий, балконов, ширины улиц, формы крыш зданий и т.д., что невозможно без цифровой карты местности. Дифракционную модель хорошо использовать, когда имеется неподвижная точка приема, т.е. при стационарной радиосвязи.

Эмпирические модели позволяют получить более приближенные значения уровней поля (величины потерь) и пригодны для конкретных типов городской застройки. Обычно в таких моделях в известные теоретические выражения вводятся поправочные коэффициенты, полученные в результате экспериментальных исследований.

В результате анализа применимости, для дальнейшего использования выбрана модель для «среднего города» Окамуры-Хата для расчета потерь передачи L в городской местности (модель рекомендована Международным союзом электросвязи) для высот подвеса антенн БС $h_b = 30 \dots 200$ м, высот подвеса антенн абонентского терминала $h_m = 1 \dots 10$ м и расстояний $r = 1 \dots 20$ км:

$$L = 68,75 - 13,82 \lg h_b + 27,72 \lg f - (1,1 \lg f - 0,7) h_m + (44,9 - 6,55 \lg h_b) \cdot \lg r, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где величина частоты волны f в подставляются МГц, а расстояние r в км.

Однако, такая запись не совсем корректна, поскольку берутся логарифмы чисел, имеющих размерность. В связи с этим данную формулу предлагается записать в следующем виде:

$$L = 68,75 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [44,9 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0), \text{ дБ}, \quad (2)$$

где h_0 - единичная высота, равная 1 м; f_0 - единичная частота, равная 1 МГц; r_0 - единичное расстояние, равное 1 км.

Тем не менее, пользоваться этой моделью в г. Ташкенте без её дальнейшей модернизации нельзя, так как пробные измерения показали наличие значительного расхождения расчетных и экспериментальных данных.

Анализ известных из литературных источников дифракционных и эмпирических формул расчета уровней поля в городских условиях показал, что они не учитывают погодные условия. Для выяснения степени влияния осадков на уровень поля было выбрано расчетное выражение по методике Икегами, которые позволяют рассчитать уровень поля в фиксированной точке на произвольно ориентированной улице (кроме радиальной) в условиях отсутствия прямой видимости между антеннами (рис.1).

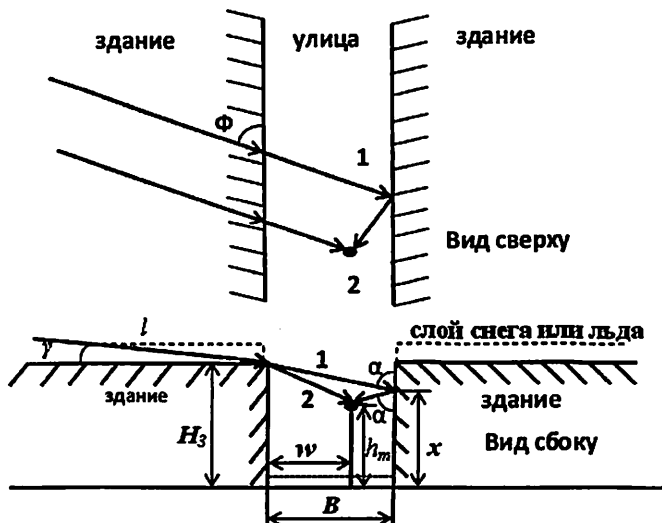


Рис.1. К определению уровня поля в точке приёма

Необходимо сначала рассмотреть расчетные выражения при отсутствии осадков. Основным источником получаемого в точке приёма поля выступает волна, совершившая дифракцию на крыше здания. Эта волна, многократно отраженная от стен зданий, формирует в точке приёма поле сложной структуры.

При малых углах скольжения γ дифракцию на крыше здания можно представить как результат взаимодействия двух лучей, дифрагированных на клиновидном препятствии волны. На рис.1 изображен случай, когда в точку приёма попадают два луча волны, претерпевшей дифракцию на крыше здания. Напряженность поля волны, дифрагированной на клиновидном препятствии, определяется выражением:

$$E = \frac{0,225E_0}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{\lambda w / \sin \Phi}}{H_3 - h_m}, \quad (3)$$

где E_0 - напряженность поля в свободном пространстве, В/м; w - расстояние от стены здания до приёмной антенны, м; Φ - угол между направлением луча

и улицей; H_3 - высота городской застройки, м; h_m - высота абонентского терминала, м; r - расстояние от антенны БС до места дифракции волны, м; λ - длина волны, м...

Из рис.1 видно, что отраженный луч проходит большее расстояние, чем прямой луч на величину:

$$\Delta r \cong \left[(2B - w)^2 \csc^2 \Phi + (H_3 - h_m)^2 \right]^{0.5} - \left[w^2 \csc^2 \Phi + (H_3 - h_m)^2 \right]^{0.5}, \quad (4)$$

где B - ширина улицы, м.

Выражение для результирующего значения напряженности поля в точке приёма имеет вид:

$$E = \frac{0,871 \sqrt{P_s} \sqrt{\lambda w / \sin \Phi}}{r(H_3 - h_m)} \cdot \left\{ 1 + 2R \cos \{ \theta + (2\pi / \lambda) \times \right. \\ \left. \left[\left[(2B - w)^2 \csc^2 \Phi + (H_3 - h_m)^2 \right]^{0.5} - \left[w^2 \csc^2 \Phi + (H_3 - h_m)^2 \right]^{0.5} \right] + R^2 \right\}^{0.5}. \quad (5)$$

Полученное выражение справедливо при небольших значениях угла γ ($\gamma < 5 \dots 10^\circ$), когда нет прямой видимости между передающей антенной и местом отражения дифрагированной волны.

Модуль коэффициента отражения R от стен здания для вертикально поляризованной волны можно представить выражением:

$$R = \left| \frac{\varepsilon_t \sin \alpha - \sqrt{\varepsilon_t - \cos^2 \alpha}}{\varepsilon_t \sin \alpha + \sqrt{\varepsilon_t - \cos^2 \alpha}} \right|, \quad (6)$$

где $\varepsilon_t = \sqrt{\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2}$ - значение модуля комплексной диэлектрической проницаемости стен зданий; ε - относительная диэлектрическая проницаемость материала стен зданий; σ - удельная проводимость стен зданий, См/м; α - угол скольжения волны в месте отражения от стен здания (рис.1)

При изменении угла Φ угол α практически будет меняться мало, поэтому его можно считать не зависящим от величины угла Φ .

В зависимости от погодных условий (дождь, снег) будет меняться значение комплексной диэлектрической проницаемости материала стен зданий и, следовательно, значения модуля коэффициента отражения R , что приведет к изменению напряженности поля в точке приёма. Правда, меняться эти значения будут в небольших пределах. Гораздо сильнее на уровень поля будет влиять наличие снежного покрова и льда, скапливающихся на крышах зданий. В этом случае, волне перед дифракцией на крыше здания необходимо будет пройти через слой снега или льда. Длина пути, проходимая волной через снег или лёд, равна:

$$l = S / (\cos \gamma \sin \Phi), \quad (7)$$

где S - ширина крыши здания, м.

Величину поглощения в снеге и льде можно определить при помощи дополнительного множителя F_{don} :

$$F_{don} = \exp[-(2\pi/\lambda) \cdot p \cdot l], \quad (8)$$

где ϵ_n - относительная диэлектрическая проницаемость снега или льда; σ_n - удельная проводимость снега или льда, См/м.

Для снега $\epsilon_n = 1,4$ и $\sigma_n = 10^{-3}$, а для льда $\epsilon_n = 3,2$ и $\sigma_n = 10^{-3}$.

Проведенные расчеты показали, что ослабление поля в слое снега при $l = 10$ м и $f = 900$ МГц составляет $F_{don} = 0,207$, т.е. значение напряженности поля уменьшается почти в 5 раз, или на 13,7 дБ. Аналогичные расчеты ослабления поля в слое льда показали, что $F_{don} = 0,352$, т.е. значение напряженности поля уменьшается почти в 3 раза или на 9,1 дБ. На частоте 1800 МГц и $l = 10$ м ослабление поля в слое снега и льда было несколько ниже.

Таким образом, осадки в виде дождя (за счет изменения значения модуля коэффициента отражения R) будут мало сказываться на уровне поля в точке приёма, и основной вклад в ослабление будет вносить слой снега или льда, расположенный на крыше здания.

В третьей главе «Экспериментальное исследование распределения поля в мегаполисе и экологические аспекты мобильной связи» приведены результаты экспериментальных исследований распределения уровней напряженности поля диапазона 900 МГц в городских условиях. Перед началом измерений районы города, где планировалось проводить измерения, были условно разбиты на районы со средней плотностью застройки (четырёх- и пятиэтажные здания), районы с малой плотностью застройки (одно- и двухэтажные здания, пригород), радиальные и поперечные улицы (по отношению к антенне одной из БСМС). Трассы измерений выбирались таким образом, чтобы условия распространения радиоволн на них были приблизительно одинаковыми.

Для проведения исследований был выбран мобильный измерительный комплекс фирмы Rohde & Schwarz.

При выборе временного интервала между измерениями 10 мс или 1 мс исходили из средней скорости равномерного движения автомобилей 35...40 км в час и получения репрезентативности выборки данных.

Поскольку в городских условиях в точку приема попадает сразу несколько переотраженных волн, фазы которых учесть практически невозможно, то значения напряженности поля являются некоторыми случайными величинами. Поэтому при проведении обработки данных измерений необходимо определить доверительный интервал:

$$I_p = (\tilde{E}_\varphi - t_p \sqrt{\tilde{D}/n}; \tilde{E}_\varphi + t_p \sqrt{\tilde{D}/n}), \quad (9)$$

где \bar{E}_p - среднее значение напряженности поля; \bar{D} - дисперсия случайной величины; t_p - половина ширины доверительного интервала; n - количество измерений.

Для научных исследований, с соблюдением условия репрезентативности выборки, вполне достаточны значения доверительной вероятности $\beta = 0,95$. Значение t_p в этом случае равно 2 при $n = 60$. Значения напряженности поля, не попадающие в доверительный интервал, должны быть отброшены при обработке данных измерений.

В результате обработки экспериментальных данных были получены модернизированные выражения модели Окамуры-Хата для г. Ташкента.

Установлено, что одиночно стоящие высотные здания вносят дополнительное ослабление порядка 15...25 дБ. В ряде случаев наблюдалось явление «усиление клиновидным препятствием».

Величину потерь, вносимую одиночно стоящим зданием, можно учесть введением в модернизированную модель Окамуры-Хата коэффициента $L_{вз}$. Данный коэффициент наиболее применим для районов с малой плотностью застройки.

Анализируя условия распространения радиоволн, предложено введение коэффициента, учитывающего холмистость местности в модели Окамуры-Хата, так как первоначально они были предназначены для расчёта ослабления уровней поля над квазигладкой поверхностью земли. Поправочный коэффициент, учитывающий холмистость местности, имеет вид:

$$K_x = A \cdot \Delta h, \text{ дБ}, \quad (10)$$

где A - эмпирический коэффициент, равный 0,2 дБ/м для холмистой местности в пределах высот неровности $\Delta h = 20...40$ м и 0,225 дБ/м в пределах высот неровности $\Delta h = 40...80$ м.

С учетом коэффициентов, учитывающих ослабление, вносимое отдельными высотными зданиями и холмистость местности, модернизированные модели Окамуры-Хата принимают следующий вид:

- для районов города со средней плотностью застройки:

$$L = -27,55 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [31,9 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{вз} + K_x, \text{ дБ}; \quad (11)$$

- для районов города с малой плотностью застройки:

$$L = -32,17 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [25 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{вз} + K_x, \text{ дБ}; \quad (12)$$

- для широких радиальных улиц:

$$L = -29,55 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [27 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + K_x, \text{ дБ}; \quad (13)$$

- для широких поперечных улиц:

$$L = -27,41 - 13,82 \lg(h_b/h_0) + 27,72 \lg(f/f_0) - [1,1 \lg(f/f_0) - 0,7] \cdot (h_m/h_0) + [37 - 6,55 \lg(h_b/h_0)] \cdot \lg(r/r_0) + L_{\text{сз}} + K_x, \text{ дБ}. \quad (14)$$

При этом уровни напряженности поля определяются по формуле:

$$E = E_0 - L, \text{ дБ}. \quad (15)$$

Известно, что стены из железобетона и кирпича вносят ослабление в уровень сигнала. По данным Международного союза электросвязи (МСЭ), электродинамические характеристики кирпичных стен составляют: относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 3,75$; удельная проводимость $\sigma = 0,038 \text{ См/м}$.

В диссертационной работе были исследованы электродинамические свойства желтого и красного кирпичей, произведенных из местных материалов.

Эксперименты, проведенные на участках кирпичных стен из местных материалов, показали следующие результаты:

- для желтого кирпича $\epsilon = 2,5$; $\sigma = 0,004 \text{ См/м}$;
- для красного кирпича $\epsilon = 2,2$; $\sigma = 0,04 \text{ См/м}$.

Таким образом, установлено, что в стенах из желтого кирпича ослабление значительно меньше, чем в стенах из красного кирпича.

Поскольку отражающие свойства кирпичных стен зданий зависят от значений ϵ и σ , то в случае нормального падения волны для желтого кирпича значение модуля коэффициента отражения уменьшилось в 1,41 раза, а в случае красного кирпича уменьшилось в 1,59 раз (сравнение проведено с кирпичной стеной имеющей значения ϵ и σ , принятые МСЭ).

Из этого следует, что отражение электромагнитных волн от кирпичных стен из местных материалов несколько меньше, а проникновение волн сквозь эти стены значительнее, чем в кирпичных стенах из зарубежных материалов.

Полученные результаты могут быть также использованы в модернизированной методике Икегами при расчете поля на произвольно ориентированной улице. При необходимости, для заданного угла падения волны можно определить модуль коэффициента отражения от стены здания, изготовленной из местных материалов, и подставить его в расчетное выражение методики Икегами.

Принятые в 2011 году Санитарные правила и нормы РУз №0295-11 подразумевают новое значение предельно допустимого значения плотности потока энергии (ППЭ), равного $2,5 \text{ мкВт/см}^2$ вместо 1 мкВт/см^2 .

Так, с учетом увеличения значения ППЭ в 2,5 раза значение наклонной дальности r_n увеличивается в $\sqrt{2,5}$ раза (1,581 раз) и составляет:

$$r_n = 4,472 \sqrt{P_1 \cdot G_1 \cdot \eta_{\text{АФТ}} \cdot K_\phi^2 \cdot K_G^2 \cdot (F(\varphi) \cdot F(\Delta))^2}, \quad (16)$$

где P_1 - мощность на входе антенно-фидерного тракта, Вт; G_1 - коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя; $\eta_{\text{АФТ}}$ - коэффициент потерь в антенно-фидерном тракте; K_ϕ - множитель, учитывающий влияние земли; K_G - множитель, учитывающий неравномерность диаграммы направленности в горизонтальной плоскости; $F(\varphi)$ - значение нормированной диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости (по напряжённости); $F(\Delta)$ - значение нормированной диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости (по напряжённости).

Поскольку наклонная дальность r_n незначительно превышает горизонтальную дальность r (на 15%...20%), то получим увеличение горизонтальной дальности в 1,344...1,265 раз. При этом площадь покрытия, занимаемая базовой станцией мобильной связи увеличивается в 1,8...1,6 раз, и во столько же раз уменьшается число базовых станций (БС). Так как излучаемая мощность базовой станции зависит от величины ее трафика (а он составляет в среднем 50%), количество БС диапазона 900 МГц можно уменьшить в два и более раз, используя при определении новых местоположений БС, усовершенствованные в этой работе модели Окамуры-Хата.

Учитывая, что в настоящее время в Ташкенте действуют более 400 станций мобильной связи диапазона 900 МГц, то экономия может составить около 200 единиц. Приведенные рассуждения не учитывают плотности абонентов в городской черте. Поэтому экономия БС может снизиться и составить порядка 100 единиц. Учитывая, что каждый из трех секторов базовой станции имеет по 3 рабочей частоты, то в городе экономия в частотном плане составит около 900 частот, что значительно улучшит электромагнитную обстановку.

В четвертой главе «Вопросы организации мобильной связи в туннелях и местах неуверенного приема» рассмотрены особенности организации мобильной радиосвязи в туннелях и местах неуверенного приема.

Известно, что УКВ сигналы, обычно применяемые для связи с подвижными объектами, подвержены значительному ослаблению при распространении в туннелях. Диапазон ОВЧ может быть использован для длинных туннелей (до 300 м) только при применении ретрансляторов. Однако на частотах диапазона УВЧ туннели обладают свойством образования каналов для радиоволн и в этом диапазоне связь существенно лучше, чем в диапазоне ОВЧ.

Ограниченность размеров туннелей не позволяет значительно разносить антенны различных служб в пространстве. Поэтому вопросы обеспечения

электромагнитной совместимости в туннелях очень важны, и весьма актуальной проблемой является методика расчета ослабления сигнала в туннеле.

Ранее рядом авторов были предприняты попытки представить туннель в виде диэлектрического волновода, что не совсем корректно, т.к. стенки туннеля полупроводящие и значение относительной диэлектрической проницаемости стен туннеля во много раз больше, чем у воздуха; а также использовать геометрическую теорию дифракции, что требует знания точной геометрии туннеля, включая неровности его стен.

В данной работе предлагается модель представления автомобильного туннеля в виде отрезка прямоугольного волновода с полупроводящими стенками.

Для унификации расчетов в туннелях введено понятие «эффективной удельной проводимости» $\sigma_{эф}$ стен туннеля, которая учитывает, как проводящие свойства стен туннеля, так и их неровности.

Взяв за основу выражение для коэффициента ослабления основной волны в прямоугольном металлическом волноводе и подставив в него выражение для поверхностного сопротивления, получим выражение для расчета значений «эффективной удельной проводимости» стен туннеля:

$$\sigma_{эф} = \frac{2,512}{\lambda \cdot \alpha^2 \cdot b^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right]} \cdot \left[1 + 2 \frac{b}{a} \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right]^2, \text{ См/м}, \quad (17)$$

где α - погонное ослабление, дБ/м;

a - ширина туннеля, м;

b - высота туннеля, м.

Зная значение «эффективной удельной проводимости», можно рассчитать величину погонного ослабления в туннеле из выражения:

$$\alpha = \sqrt{2,512 \cdot \left[1 + 2 \frac{b}{a} \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right]^2 / \left\{ \sigma_{эф} \lambda b^2 \left[1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right] \right\}}, \text{ дБ/м}. \quad (18)$$

Умножив величину α на значение длины туннеля можно найти величину ослабления радиоволны.

Если по исследуемому туннелю нет экспериментальных данных измерений уровней поля, то ориентировочную величину α можно найти из опубликованных данных экспериментальных исследований распределения уровней поля в туннелях. Разделив общее ослабление поля в туннеле на его длину, можно найти погонное ослабление. Подставляя в выражение (17) числовые значения размеров туннеля, длины волны и погонного ослабления можно найти значение «эффективной удельной проводимости» $\sigma_{эф}$.

В диссертации, для определения значений $\sigma_{эф}$ вначале были использованы данные, полученные Zhi Sun и Ian F. Akyildiz в результате

экспериментального исследования ослабления поля в туннеле Линкольна (США) сечением 7,6х4,3 м на частотах 153, 300, 600, 980, 2400, 6000 и 11215 МГц. Анализ данных расчета показал, что зависимость «эффективной удельной проводимости» от частоты аппроксимируется экспоненциальной функцией вида:

$$\sigma_{\text{эф}} = -97699 + 92603 \cdot \exp(1,3011 \cdot 10^{-4} f), \text{ См/м}, \quad (19)$$

где f - частота в МГц.

С помощью этого выражения можно легко рассчитать величину погонного ослабления в туннеле.

В диссертационной работе приведены результаты экспериментального исследования распределения уровней поля в двух туннелях г. Ташкента. В качестве источников сигналов использовались базовые станции мобильной связи, расположенные неподалеку от въезда в туннели.

Установлено, что уровень сигнала на частоте 1800 МГц с продвижением вглубь туннеля будет выше, чем на частоте 900 МГц.

В результате обработки данных, получены значения $\alpha = 0,03$ дБ/м для частоты 900 МГц и $\alpha = 0,025$ дБ/м для частоты 1800 МГц. В связи с этим для организации мобильной связи в туннеле необходимо учесть, что ослабление на каждые 100 м туннеля составляет: на частоте 900 МГц — 3 дБ, на частоте 1800 МГц — 2,5 дБ. Установлено, что величина погонного ослабления в результате исследования получилась меньше расчетной (по результатам других экспериментов) в среднем в 1,10...1,15 раза, что является следствием проникновения радиоволн сквозь верхнюю стену туннеля из-за неглубокого залегания туннеля под уровнем земли по улице «Бунёдкор» рядом с Ташкентским Государственным Цирком. Для туннеля по улице «Малая кольцевая автомобильная дорога» рядом с вокзалом «Ташкент» разница значений α не превышала 1,05 раза.

В качестве рекомендаций можно предложить, что в случае, когда ослабление в туннеле приведет к понижению уровня поля ниже порогового значения, необходимо будет установить ретранслятор мобильной связи. Кроме того, при выборе места расположения БСМС вблизи туннеля, целесообразно их размещение таким образом, чтобы один из секторов излучения совпадал с направлением туннеля.

В случае, когда длина туннелей составляет несколько сот метров, целесообразно установить антенны БС внутри туннеля, рядом с вентиляционными шахтами.

Далее рассмотрены пути устранения неуверенного приема сигналов от БСМС, такие как использование ретрансляторов, кабельных сетей связи, антенн-радиоудлинителей и отрезков линии передачи закрытого типа с отверстиями связи. Особое внимание было уделено использованию антенн-радиоудлинителей. Приведены результаты электродинамического моделирования характеристик направленности радиоудлинителей для автомобильных трасс, состоящих из двух антенн «волновой канал»,

соединенных в антенную решетку поперечного излучения в плоскости E и в плоскости H. Предложен узел крепления антенны-радиоудлинителя к вертикальной мачте. Приведены результаты экспериментального исследования характеристик направленности антенных решеток поперечного излучения из панельных антенн, соединенных в плоскости E и в плоскости H.

При организации связи стационарного телефона, устанавливаемого в помещении, важен выбор ориентации его антенны в виде небольшой штыверной телескопической антенны. Анализ результатов пробных измерений уровней вертикальной E_v и горизонтальной E_g составляющих напряженности поля в помещениях показал, что они практически не коррелированы. Значения коэффициента деполяризации, менялись в довольно больших пределах и зависели от ориентации окон помещения, через которые поступал сигнал, а также от расположения мебели и людей.

Проведенные эксперименты, показали, что при расположении телескопической штыверной антенны под углом $35...55^\circ$, влияние перемещения людей и предметов было минимальным.

Следовательно, эти значения углов наклона антенны следует рекомендовать при установке стационарных мобильных телефонов или радиотелефонов внутри помещений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены следующие выводы по теме диссертации «Модели распределения уровней электромагнитного поля станций мобильной связи в условиях мегаполиса»:

1. Произведен анализ характеристик распространения радиоволн диапазона 900 МГц в городских условиях, который служит для определения закономерности основных особенностей распространения радиоволн.

2. Разработаны модернизированные модели Окамуры-Хата, учитывающие характер застройки города (для районов города со средней плотностью застройки, с малой плотностью застройки, для широких радиальных и поперечных улиц), которые позволяют сэкономить на количестве базовых станций мобильной связи при оптимизации сети, улучшить электромагнитную обстановку и повысить экологическую безопасность.

3. Определено влияние отдельных высотных зданий на величину ослабления уровней поля мобильной связи, которое позволяет получить более точные результаты расчета уровней поля в радиотеневых зонах.

4. Определены электродинамические параметры кирпичных стен зданий, изготовленных из местных материалов. Установлена степень отличия отражающих свойств этих стен от данных Международного союза электросвязи.

5. Предложена методика учета влияния снежного покрова и льда на крышах зданий произвольно ориентированных улиц на уровень поля в

городских условиях, что существенно повышает точность результатов расчета уровней поля.

6. Предложена методика расчета ослабления сигналов в автомобильных туннелях прямоугольного сечения с учетом введенного понятия «эффективной удельной проводимости» стен туннеля. Это позволяет прогнозировать распределение уровней поля в туннелях, как в автомобильных, так и метрополитена.

7. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследования составляет 50 млн.сум.

8. Приведенные в диссертации материалы будут полезны работникам ГУП «Центр электромагнитной совместимости», ГУП «UNICON.UZ», ГУП «ALOQALOYIHA», операторам мобильной связи, а также преподавателям ТУИТ при чтении лекций по предметам «Распространение радиоволн и антенны беспроводных систем связи».

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

SHAKHOBIDDINOV ALISHER SHOPATKHIDDINOVICH

**DISTRIBUTION MODELS OF LEVELS OF ELECTROMAGNETIC
FIELD OF MOBILE COMMUNICATION STATIONS IN THE
CONDITIONS OF METROPOLIS**

05.04.02 - Systems and devices of radio engineering, radio navigation, a radar-location and television. Systems of mobile, fiber-optical communication

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

The theme of doctor of philosophy (PhD) in technics was registered at the Supreme attestation commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2018.2.PhD/T83.

The dissertation has been prepared at 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 website of Information and educational portal «ZiyoNet» www.ziyo.net.

Scientific adviser: Nazarov Abdulaziz Muminovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: Abdukayumov Abdurashid
doctor of technical sciences, professor
Abdukadirov Alisher Khabibullaevich
candidate of sciences, docent

Leading organization: Joint stock company «UZBEKTELECOM»

The defense will take place on July «10», 2018 at 10 am at the meeting of Scientific council No. DSc.27.12.2017. 07.02 of the Tashkent University of Information Technologies (Address: 100200, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. ____). (Address: 100200, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel: (+99871) 238-65-52)

Abstract of dissertation sent out on ____ « ____ », 2018.
(mailing report No. ____ on ____ « ____ », 2018).



R.N.Usmanov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor.

B.N.Raximov
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences

Kh.K.Aripov
Chairman of the academic seminar under the scientific
council awarding scientific degrees,
doctor of physical-mathematical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is perfecting of models for calculating the field level distribution of 900 MHz mobile communication stations in condition of the metropolis.

The object of the research. The mobile network of the 900 MHz band.

The scientific novelty of the research is as follows:

the Okumura-Hata model has been modernized to calculate of 900 MHz field level distribution by using a new empirical coefficients;

The Okumura-Hata model has been upgraded by introducing coefficients which accounting the weakening of high-rise buildings and hilly terrain.

the Ikegami model has been upgraded by taking into account influence of weather conditions in calculating a field level;

the calculation method of field weakening in automobile tunnels has been upgraded by using a rectangular waveguide model.

Introduction of research results. Based on models of field levels distribution of mobile communication stations in a metropolis:

modernized models of Okumura-Hata have been introduced to calculate the distribution of the field levels of mobile communication stations in the activities of the SUE «Center for Electromagnetic Compatibility» under the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications dated May 24, 2018 No. 33-8/3733). As a result, it was possible to calculate additional weakening due to high-rise buildings and hilly terrain;

the methodology for calculating the weakening of field levels in automobile tunnels based on the model of a rectangular waveguide was introduced into the activity of the SUE «Center for Electromagnetic Compatibility» (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications dated May 24, 2018 No. 33-8/3733). As a result of scientific research, it is possible to predict the levels of the electromagnetic field of mobile communication stations in the frequency bands 900 and 1800 MHz on automobile tunnels of arbitrary length;

the magnitude of the reflection of mobile communication signals and the methodology for calculating the field weakening in the snow layer, introducing the activities of the SUE «UNICON.UZ» (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications dated May 24, 2018 No. 33-8/3733). Based on the results of the implementation, it was possible to take into account the calculation of the weakening of the electromagnetic field levels of the mobile communication stations of the 900 and 1800 MHz frequency bands in the snow layer, the electrodynamics parameters and the reflective properties of yellow and red bricks made from local materials.

The structure and scope of the dissertation. Dissertational work consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a reference list, a seven applications and contains 119 pages of the main text, 40 illustrations and 13 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Shakhobiddinov A.Sh., Nazarov A.M., Likontsev A.N., Yusupova A.R. Influence of urban architecture features on attenuating of a field strength levels of mobile communication //International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. -2017. -Vol. 4. -Issue 6. -pp.4027-4031. (05.00.00; №8. IF:4,346).

2. Шахобиддинов А.Ш., Нигманов А.А. Дифракционные модели распространения радиоволн в городских условиях //Инфокоммуникации: Сети - Технологии - Решения. – 2007. - №1. - С.32 – 47. (05.00.00; №2).

3. Шахобиддинов А.Ш., Нигманов А.А. Эмпирические модели распространения радиоволн в городских условиях //Инфокоммуникации: Сети -Технологии- Решения. 2007. - № 1. - С.23 – 32. (05.00.00; №2).

4. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Учет влияния погодных условий на уровень поля диапазонов 900 МГц и 1800 МГц в городских условиях //Вестник ТУИТ. -2007. -№4. -С.36 – 39. (05.00.00; №31).

5. Шахобиддинов А.Ш. К расчету уровня поля диапазона 900 МГц на улицах Ташкента //Вестник ТУИТ. -2011. -№4. -С.54-56. (05.00.00; №31).

6. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н., Цюняк А.В. Расчет величины ослабления сигнала в автодорожном туннеле прямоугольной формы //Вестник ТУИТ. -2009. -№2. -С.65-66. (05.00.00; №31).

7. Шахобиддинов А.Ш. Ликонцев Д.Н. Экспериментальное исследование распределения уровней напряженности поля диапазона 900 МГц //Вестник ТУИТ. -2009. -№4. -С.56-60. (05.00.00; №31).

8. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Исследование влияния отдельных высотных зданий на ослабление уровней поля диапазона 900 МГц и электродинамических характеристик кирпичных стен //Инфокоммуникации: Сети-Технологии-Решения. –2011. -№2. -С.21-23. (05.00.00; №2).

9. Шахобиддинов А.Ш. Ликонцев Д.Н., Нигманов А.А. Учет холмистости местности в моделях «Окамура – Хата» //Инфокоммуникации: Сети-Технологии-Решения. -2008. -№1. -С.23-24. (05.00.00; №2).

10. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев А.Н. Об организации мобильной связи в местах неуверенного приема //Труды 72-международной научно-технической конференции, посвященной дню Радио. Санкт-Петербург. -2017.

11. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Ликонцев А.Н. О результатах численного моделирования антенны-радиодлинителя //V международная научно-техническая конференция “Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании”. Санкт-Петербург. -2016. -С.194-197.

12. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев А.Н. Влияние мегаполиса на ослабление уровней поля мобильной связи //VI международная конференция

“Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании”. Санкт-Петербург. -2017. -С.233-237.

13. Шахобиддинов А.Ш. Особенности и характеристики распространения радиоволн диапазона сотовой связи 900 МГц //Аспирант, докторант ва тадқиқотчиларнинг республика илмий-амалий анжумани маърузалар тўплами. 1-қисм. 15-17 март 2007 й. ТДТУ, Тошкент. -Б.51-52.

14. Шахобиддинов А.Ш. Шахар шароитида сигналларнинг дифракцион йўқотишларини ҳисоблаш //Aloqa Dunyosi. 2007. - №4. - С.20 - 26.

15. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Исследование влияния архитектуры Ташкента на ослабление уровней поля сотовой связи. //Вестник Алматинского университета энергетики и связи, АУЭС. -2014, -№2 (25), -С.11-17. (IF:0,036)

16. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Экспериментальное исследование ослабления напряженности поля радиостанций диапазона 900 МГц в условиях города Ташкента. //Труды Академии вооруженных сил Республики Узбекистан. – 2010. – №7. –С.66 - 72.

17. Шахобиддинов А.Ш., Юсупова А.Р. Исследование влияния архитектуры мегаполиса на ослабление уровня поля базовых станций стандарта GSM //Альманах современной науки и образования, №9 (99), 2015. Издательство «Грамота». -Тамбов. -2015. -С.144-147.

18. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Учет интерференционной структуры поля в модели Икегами //Труды шестой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технология связи». -Ташкент. 2008. -С.171-173.

19. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Учет влияния снега и льда на крышах зданий на величину ослабления сигнала базовой станции сотовой связи //Труды шестой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технология связи». –Ташкент. 2008.- С.171 - 173.

20. Shakhobiddinov A.Sh., Likontsev D.N., Tsyunyak A.V. Calculation of weakening signal's size in road transport rectangular tunnels //Сборник трудов Международной научной конференции «Проблемы развития информационно-коммуникационных технологий и подготовки кадров». –Ташкент. 2009. -С. 91 - 92.

21. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Модели распределения уровней поля базовых станций сотовой связи диапазона 900 МГц в г.Ташкенте //The 4-th International conference on Application of information and communication technologies.- Tashkent. Uzbekistan. 2010. -pp.245 - 246.

22. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Факторы, влияющие на уровень поля диапазона 900 МГц в условиях мегаполиса. // Сборник статей VII Международной научной конференции “Приоритетные направления в области науки и технологии в XXI веке”. Том 1. -Ташкент. -2014. -С.195-198.

23. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Электромагнитная обстановка в мегаполисе и допустимые значения плотности потока энергии. //Сборник

статей VII Международной научной конференции “Приоритетные направления в области науки и технологии в XXI веке”. Том 1. -Ташкент. -2014. -С.179-181.

24. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Использование пассивных ретрансляторов в сотовой связи. //Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Перспективы эффективного развития информационных технологий и телекоммуникационных систем». Часть 3. -Ташкент. -2014. -С.101-102.

25. Шахобиддинов А.Ш., Юсупова А.Р. Шаҳар шароитида дециметрли тўлкинлар тарқалишидаги йўқотишларни ҳисоблаш моделларининг қиёсий таҳлили. //«Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va kelajak rivoji» xalqaro ilmiy-texnik konferensiya maqolalar toplami. I-том. Toshkent. 2015 y. -B.298-302.

26. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Определение влияния излучения антенн радиотехнических объектов с помощью программного обеспечения //«Radiotexnika, telekommunikatsiya va axborot texnologiyalari: muammolari va kelajak rivoji» xalqaro ilmiy-texnik konferensiya maqolalar toplami I том. -Toshkent. -2015. -B.295-298.

27. Шахобиддинов А.Ш., Юсупова А.Р. О показателях качества сотовой связи //Сборник статей VIII международной научной конференции «Современные направления в науке и технологии» посвященная 25-летию создания корейских научно-технических обществ стран СНГ (Узбекистан, Казахстан, Россия). –Ташкент. -2016. -С.652-656.

28. Shakhobiddinov A.Sh., Nazarov A.M. Software for determining the total electromagnetic radiation from radio sites //Transactions of the international scientific conference “Perspectives for the development of information technologies ITPA-2015”. -Tashkent. -2015. -pp.390-393.

29. Shakhobiddinov A.Sh., Likontsev A.N. About actions to ensure the cellular communication in places of uncertain reception. //Transactions of the international scientific conference “Perspectives for the development of information technologies ITPA 2015”. Tashkent. 2015. -pp.393-395.

30. Shakhobiddinov A.Sh., Likontsev A.N., Likontsev D.N. Research of influence of architecture of Tashkent on weakening of the fields levels of ranges of 900 and 1800 MHz //Transactions of the international scientific conference “Perspectives for the development of information technologies ITPA 2014”. -Tashkent. -2014. -pp.375-378

31. Шахобиддинов А.Ш., Каримов К.Х. О направленных свойствах антенны-радиодлинителя мобильной связи. Сборник докладов республиканской научно-технической конференции “Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий”. Часть 4. -ТУИТ. -Ташкент. -2016. -С.373-375

32. Шахобиддинов А.Ш., Калинин В.В., Адамов Н.И., Ликонцев Д.Н. “Расчет санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки”. //Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. № DGU 03005. Агентство по интеллектуальной

собственности РУз, Ташкент, 30.01.2015 г.

33. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Программное обеспечение для определения суммарного электромагнитного поля. //Сборник докладов республиканской научно-технической конференции “Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий”. Часть 3. –ТУИТ. –Ташкент. -2015. –С.440-444

34. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н. Радиоудлинитель сотовой связи для мест неуверенного приёма. //Сборник докладов республиканской научно-технической конференции “Проблемы информационных - и телекоммуникационных технологий”. Часть 3.-ТУИТ. –Ташкент. -2015. –С.446-448

35. Шахобиддинов А.Ш., Ликонцев Д.Н., Абдукадырова Н.А. Влияние электромагнитных полей на живые и неживые объекты //Тезисы докладов международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль Хорезми 2012». Ташкент. 2012. -С.70 – 71.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларида матнларни мослиги текширилди (27.06.2018 й.)

**Бичими 84x60 ¹/₁₆ “Times New Roman” гарнитураси рақами босма усулда босилди.
Шартли босма табоғи 3. Адади 100. Буюртма № 21.**

**“ЎзР Фанлар академияси Асосий кутубхонаси” босмахонасида чоп этилди.
100170, Тошкент, Зиёлилар кўчаси, 13-уй**