

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи

УДК 621.3.095

Нигманов Абдунасир Абдувалневич

**«РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОЛЯ
РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ»**

05.12.02 – Системы и устройства передачи информации по каналам связи

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

Ташкент – 2011

Работа выполнена в Ташкентском университете информационных технологий и в Государственном унитарном предприятии Центр научно-технических и маркетинговых исследований «UNICON.UZ»

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент
Исаев Рихси Исаходжаевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, академик
Абдуллаев Жура Абдуллаевич

кандидат технических наук
Абдукодиров Алишер Абдухамидович

Ведущий

А А / 2470
Н602 Нигманов А.
Разраб. моделей
распред. уровней...
5/4

ное предприятие
радиовещания и

засе
уни
Аме

Таш

3 на
ском
; ул.
итеке

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Радиовещание и телевидение являются одними из важнейших средств массовой информации, позволяющие в кратчайшие сроки информировать широкие слои населения о последних новостях в политической, экономической, культурной жизни нашей страны и за рубежом. В книге Президента Республики Узбекистан «Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана» отмечено, что «Наиболее высокими темпами развивались услуги связи, информатизации, финансовые, банковские, транспортные услуги, по ремонту автомобилей и бытовой техники. Особо следует отметить динамичное развитие услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий, которые за последние четыре года в среднем увеличиваются ежегодно на 50 процентов».

В настоящее время диапазон очень высоких частот (ОВЧ) полностью используется различными системами для организации каналов радиосвязи, радиовещания и телевидения. Обеспечение совместной работы различных радиосистем требует соблюдения норм электромагнитной совместимости и качественного планирования. Наиболее сложной с точки зрения планирования и контроля являются радиоканалы в городских условиях, где закономерности распределения уровней напряженности поля определяются особенностью архитектурных стилей застройки городов. Своеобразие архитектурного стиля городов Центральноазиатского региона, сложившегося с учетом климатических, исторических и других факторов, определило необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований распределения уровней поля в городских условиях.

Для обеспечения качества передачи и надежности функционирования систем передачи информации по радиоканалам, повышения эффективности контроля излучаемой мощности радиовещательных передатчиков и прогнозирования технического состояния оборудования, обеспечения оптимального планирования и организации радиосвязи и радиовещания, решения вопросов экологии, связанных с электромагнитным облучением населения и окружающей среды, задача исследования распределения уровней поля радиоканала системы в городских условиях является весьма актуальной.

Степень изученности проблемы. Известно, что радиоканалы диапазона ОВЧ в условиях города имеют сложную многолучевую структуру. Используемые методики и рекомендации международных организаций порой довольно заметно отличаются друг от друга.

Анализ существующих эмпирических моделей расчета напряженности поля канала связи показала, что в настоящее время не существует единой общепринятой модели расчета напряженности поля радиосигнала в городских условиях. Часть моделей (модели Л. Джонса, П. Трифонова, В. Чепуры, Г. Рубина) не удовлетворяет теореме взаимности, в моделях В. Кушнира и М. Долуханова не учитываются высоты подвеса антенн, в моделях А. Введенского, А. Шура, У. ЛИ, А. Акеямы, Т. Накаутсу,

Ж. Окамуры, Е.Омори и многих других авторов не учитывается этажность зданий и ориентация улиц. В большинстве дифракционных моделях используется дифракция на клиновидном препятствии и методы Дейгаута, Эпштейна-Петерсона, Джованелли и Воглера. В результате исследований выявлено, что одни авторы вводят в расчетные формулы общий эмпирический коэффициент для всего города без учета его застройки, высоты подвеса антенн, длины волны передатчика, другие авторы пытаются ввести эмпирические коэффициенты в имеющиеся теоретические зависимости, третьи – пытаются решить эту задачу с помощью теории дифракции и т.д. Каждая модель имеет свои условия применимости и наибольшее распространение получили модели «Окамура-Хата», но они не учитывают рельеф городской местности, высотность зданий, ориентацию улиц и имеют эмпирические зависимости, которые дают завышенное ослабление уровней сигнала в условиях г. Ташкента, тем не менее, эти модели наиболее пригодны для модернизации, так как в них удобно вводить новые эмпирические коэффициенты и на этих моделях основан ряд методик по территориальному планированию радио и телевидения.

Проведенные исследования показали, что существующие в настоящее время модели распределения уровней поля не могут быть непосредственно использованы в условиях г. Ташкента и ему подобных городах ввиду резкого отличия их архитектурной застройки от городов, например, Западной Европы или Японии, где условия распространения радиоволн отличаются и требуют доработки для оптимального планирования зон покрытия радиосвязью; отсутствуют методики дистанционного контроля излучаемой мощности радиовещательных передатчиков в городских условиях; не определены методы оценки и степень влияния излучения антенн радиовещательных станций и других радиотехнических объектов на границы экологически безопасной зоны.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.

Работа выполнена в соответствии с Приоритетными направлениями научно-технического развития Республики Узбекистан «Исследование проблем информатизации, разработка технологий передачи, обработки и защиты информации, создания интеллектуальных систем проектирования и управления» Комитета по координации развития науки и технологий при Кабинете Министров Республики Узбекистан и «Программой приоритетных научно-технических и маркетинговых исследований в сфере связи и информатизации на 2006 год», утвержденной приказом УзАСИ от 10.02.2006 №44 в рамках научно-исследовательской работы «Исследование влияния электромагнитных излучений на окружающую среду».

Цель исследования. Разработка моделей распределения уровней поля каналов радиосистем метрового диапазона и методик дистанционного контроля излучаемой мощности радиовещательных ОВЧ-ЧМ передатчиков.

Задачи исследования. Для достижения цели на основе исследования и анализа распределения уровней поля в каналах радиовещательных станций, поставлены и решены следующие задачи:

– модернизация моделей распределения уровней напряженности поля в зависимости от вида городской застройки и адаптация их к применению в Узбекистане;

– разработка методик дистанционного контроля излучаемой мощности радиовещательных передатчиков;

– исследование вопросов экологически безопасного размещения антенн базовых станций мобильной сотовой связи при наличии излучения от других радиотехнических объектов;

– экспериментальное исследование влияния архитектуры городской застройки на характер распределения уровней поля метрового диапазона;

– разработка метода расчета электромагнитного облучения квартир многоэтажного дома с антенной базовой станции мобильной сотовой связи, установленной на его крыше.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является электромагнитное поле радиоканалов систем звукового вещания.

Предметом исследования является распространение радиоволн метрового диапазона в условиях крупного города.

Методы исследований. При решении поставленных задач использованы теория распространения радиоволн, экспериментальные исследования распределения уровней напряженности поля, методы имитационного моделирования с использованием экспериментальных данных, теории вероятностей и математической статистики.

Гипотеза исследования связана с прогнозированием уровней поля городского радиоканала и контроля его характеристик.

Основные положения, выносимые на защиту:

– модернизированные модели «Окамура-Хата» для расчетов при организации каналов радиосвязи, теле- и радиовещания в г. Ташкенте и в городах со схожей архитектурой;

– поправка к моделям «Окамура-Хата» на холмистость местности, позволяющая учесть в расчетах рельеф местности территории в радиоканале;

– методика дистанционного контроля излучаемой мощности радиовещательных передатчиков, позволяющая проводить текущий мониторинг излучаемой мощности;

– методика расчета экологически-безопасного размещения антенн базовых станций (и других радиообъектов) с учетом излучения от других радиотехнических объектов и программное обеспечение, позволяющее устранить ошибки в ранее выполненных типовых проектах строительства радиотехнических объектов (РТО);

– методика расчета уровня облучения квартир дома, на крыше которого установлена передающая антенна.

Научная новизна работы состоит в следующем:

– предложена модернизированная модель «Окамура-Хата», позволяющая рассчитать распределение уровней поля радиовещательных

станций в зависимости от характера радиоканала, расширен частотный диапазон использования этой модели в сторону более низких частот;

– предложена поправка к моделям «Окамура-Хата», позволяющая учесть холмистость местности при проектировании сетей радиосвязи и вещания;

– разработаны методики дистанционного контроля излучаемой мощности радиовещательных станций при установке измерительной антенны ниже и выше уровня городской застройки;

– разработана методика экологически-безопасного размещения антенн базовых станций мобильной сотовой связи при наличии излучения от других радиотехнических объектов;

– предложено выражение для расчета уровней электромагнитного поля в квартирах многоэтажного здания от антенны, расположенной на крыше этого же здания.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

– результаты экспериментальных исследований распределения уровней поля и полученные аналитические зависимости, дают возможность повысить точность проектирования систем радиосвязи и радиовещания в городах, схожих с архитектурой г. Ташкента;

– разработанная методика дистанционного контроля уровней излучаемой мощности радиовещательных станций позволяет осуществлять мониторинг излучаемой мощности передающих объектов и повысить качество предоставляемых услуг радиовещательной сети;

– предложенная методика расчета экологически безопасного размещения базовых станций при наличии излучения от других радиотехнических объектов позволяет производить более точный расчет экологически-безопасной зоны антенн базовых станций мобильной сотовой связи;

– предложенное программное обеспечение позволяет повысить точность расчетов и уменьшить трудозатраты на производимые расчеты.

Реализация результатов. Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы использованы в разработках, выполненных в Государственном унитарном предприятии Центр научно-технических и маркетинговых исследований - «UNICON.UZ» и «НИИ санитарии, гигиены и профзаболеваний» Министерства здравоохранения Республики Узбекистан, в работе Унитарного дочернего предприятия УПТС «УЗНЕФТЕГАЗСВЯЗЬ» Национальной холдинговой компании «УЗБЕКНЕФТЕГАЗ», в нормативных документах Государственных унитарных предприятий Центр электромагнитной совместимости и Центр радиосвязи, радиовещания и телевидения, в учебнике «Радиотўлкинларнинг тарқалиши ва антенна-фидер қурилмалари», а также в учебном процессе Ташкентского университета информационных технологий (ТУИТ).

Апробация работы. Основные результаты и положения работы обсуждались и были одобрены: на Международной конференции ICEIC 2008 «2008 International Conference on Electronics, Information, and Communication»

(Ташкент, 24-27 июня 2008 г.); на 6 Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и Технологии связи» (Ташкент, 9 - 10 октября 2008 г.); на Республиканском научно-практическом семинаре «Электромагнитная совместимость и электромагнитная экология» (Ташкент, 10 сентября 2008г.) и конференции аспирантов, магистрантов и студентов ТУИТ (Ташкент, март, 2008 г.).

Опубликованность результатов. По результатам исследований опубликованы 14 работ, в том числе 9 журнальных статей.

Структура и объем диссертации: Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и содержит 137 страниц основного текста, 40 рисунка, 11 таблиц и 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, перечислены основные научные результаты диссертации, обоснована практическая ценность результатов исследований, приведены сведения об апробации работы, структуре и объеме диссертации.

В первой главе приведены особенности распространения радиоволн в городских условиях, в радиоканалах УКВ диапазона. Рассмотрено влияние отдельных зданий и городской застройки на распределение уровней поля, а также влияние зданий и транспорта на пространственно-временные изменения уровней поля в радиоканалах.

Рассмотрены случаи многолучевого распространения радиоволн в сложных городских условиях, следствием которого является деполяризация радиоволн – возникновение ортогональной к основной составляющей напряженности поля.

На основе анализа опубликованных материалов по деполяризации электромагнитных волн предлагается введение понятия «усредненного коэффициента деполяризации» D' , равного разности составляющих напряженности поля усредненных в пределах длины волны, основной $E_{осн, уср}$ и ортогональной $E_{орт, уср}$

$$D' = E_{осн, уср} - E_{орт, уср}, \text{ дБ.} \quad (1)$$

Найденные значения D' дают дополнительную информацию о распределении составляющих напряженности поля и помогают оценить возможность приема сигналов при помощи антенн с ортогональной поляризацией.

Измерения горизонтальной и вертикальной составляющих напряженности поля, проведенные в г. Ташкенте и Ташкентской области, показали уменьшение зависимости значений «усредненного коэффициента деполяризации» от плотности застройки зданиями относительно значений

коэффициента деполаризации, что показывает возможность приема сигналов радиовещательных станций в городе антенной с практически любой поляризационной характеристикой.

В первой главе также изучены особенности распространения радиоволн внутри и вне зданий. Полученные результаты дают возможность обоснованно проектировать локальные сети радиосвязи.

Во второй главе рассмотрены эмпирические и детерминистские модели распределения уровней напряженности поля в городских условиях.

Детерминистские модели, основанные на теории дифракции, нуждаются в точной цифровой карте местности с обязательным указанием высот и размеров каждого здания. Процесс создания таких карт весьма трудоёмок. Кроме того, такие модели позволяют рассчитать уровень поля в конкретной точке, а получить зависимость уровня поля от расстояния для какой-либо улицы крайне сложно и трудоёмко. Поэтому для дальнейшего рассмотрения будут использованы эмпирические модели.

Характер распределения уровней напряженности поля E в городе определяется архитектурой городской застройки, которая учитывается введением эмпирических коэффициентов в одно из известных теоретических или эмпирических выражений. Для определения этих поправок необходимо предварительно рассчитать значения уровней напряженности поля в свободном пространстве E_0 . Величина потерь уровней сигнала L определяется разностью значений E_0 и E в дБ. Значение E определяется в ходе проведения измерений уровней напряженности поля радиоканала в различных условиях городской застройки: на радиальных и поперечных улицах, в районах с малой и большой плотностью застройки.

Как отмечалось выше, за рубежом разработаны ряд моделей, позволяющих определить величину потерь для различных случаев городской застройки на разных частотах.

Проанализированы известные модели распределения уровней поля (или потерь передачи) и к дальнейшему использованию выбрана модель «Окамура-Хата» для расчета потерь передачи L в городской местности (модель рекомендована МСЭ) для высот подвеса передающих антенн $h_1 = 30 \dots 200$ м, высот подвеса приемных антенн $h_2 = 1 \dots 10$ м и расстояний $r = 1 \dots 20$ км. Упрощенная модель «Окамура-Хата» для «большого города» при $f \leq 200$ МГц имеет вид

$$L = 70,65 - 13,82 \lg h_1 + 26,16 \lg f - 8,29 [\lg(1,54 h_2)]^2 + (44,9 - 6,55 \lg h_1) \cdot \lg r, \text{ дБ} \quad (2)$$

где значения r указаны в км, а f — в МГц.

Проведенные измерения показали, что это выражение даёт завышенный уровень потерь и нуждается в корректировке.

Приняв за основу выражение (2) и изменяя значения первого слагаемого можно уменьшить или увеличить уровень потерь, а изменением величины последнего слагаемого можно изменить степень потерь с увеличением расстояния.

Поскольку модели «Окамура-Хата» предназначены для расчёта уровней поля над квазигладкой поверхностью земли, то в случае холмистой местности при расчёте могут возникнуть существенные погрешности. В связи с этим предлагается ввести в модели «Окамура-Хата» поправочный коэффициент, учитывающий холмистость местности

$$K_x = A \cdot \Delta h, \text{ дБ}, \quad (3)$$

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

При наличии пересеченной местности на радиотрассе, для расчета поля за холмами в разработанные модели добавляется коэффициент K_x , величина которого зависит от степени холмистости.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований распределения уровней напряженности поля в радиоканалах города Ташкента.

Для удобства обработки данных и получения новых эмпирических зависимостей территория города, где проводились измерения, были условно разбиты на районы с большой плотностью застройки (многоэтажные здания), районы с малой плотностью застройки (одно- и двухэтажные здания, пригород), радиальные и поперечные трассы (по отношению к передающей антенне). Условия распространения электромагнитных волн на тестируемых отрезках трасс выбираются приблизительно одинаковыми.

Учитывая, что чем чаще на отрезке трассы будут проводиться измерения уровней напряженности поля, тем более достоверными будут результаты исследований, для обеспечения достоверности результатов экспериментальных исследований необходимо установить условия проведения измерений.

При выборе значений временного шага Δt проведения измерений и скорости V автомобиля с измерительным оборудованием следует учитывать время обработки результатов измерений, которое при малых значениях Δt будет довольно большим. Исходя из условий, целесообразно выбрать среднюю скорость движения автомобиля с измерительным оборудованием V , равную средней скорости движения автомобилей на улицах города Ташкента (35 - 40 км/ч) и время $\Delta t = 10$ мс или 1 мс.

Поскольку в зону измерений попадают сразу несколько переотраженных волн, учесть фазы которых невозможно, то значения напряженности поля окажутся некоторыми случайными величинами. В случае нормального распределения вероятностей, ширина доверительного интервала, обеспечивающая необходимую достоверность результатов экспериментальных исследований определяется в виде:

$$I_p = \tilde{E}_p \pm t_p \sqrt{D/n}, \quad (4)$$

$$\text{где } \bar{E}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} - \text{среднее значение напряженности поля;} \quad (5)$$

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i (E_i - \bar{E}_{cp})^2}{n-1} - \text{дисперсия случайной величины;} \quad (6)$$

t_p – половина ширины доверительного интервала;
 n – число измерений.

Так для доверительной вероятности $\beta = 0,95$ и числа измерений n , величина t_p равна 2,02 при $n = 40$; 2,01 при $n = 50$; 2,00 при $n = 60$.

В результате обработки экспериментальных данных получены модернизированные выражения модели «Окамура-Хата» для г. Ташкента:

для широких радиальных улиц

$$L = -20,5 - 13,82 \lg h_1 + 26,16 \lg f - 8,29[(\lg 1,54 h_2)]^2 + (35 - 6,55 \lg h_1) \lg r, \text{ дБ;} \quad (7)$$

для широких поперечных улиц

$$L = -12 - 13,82 \lg h_1 + 26,16 \lg f - 8,29[(\lg 1,54 h_2)]^2 + (35 - 6,55 \lg h_1) \lg r, \text{ дБ;} \quad (8)$$

для районов с большой плотностью застройки

$$L = 15,5 - 13,82 \lg h_1 + 26,16 \lg f - 8,29[(\lg 1,54 h_2)]^2 + (35 - 6,55 \lg h_1) \lg r, \text{ дБ;} \quad (9)$$

для районов с малой плотностью застройки

$$L = 8 - 13,82 \lg h_1 + 26,16 \lg f - 8,29[(\lg 1,54 h_2)]^2 + (35 - 6,55 \lg h_1) \lg r, \text{ дБ.} \quad (10)$$

Из анализа распределения измеренных уровней поля в г. Ташкенте следует, что:

– распределение уровней напряженности поля на радиальных улицах с большой плотностью застройки подчиняется закону Рэлея в 68 % случаев, нормальному закону в 16 % случаев и логарифмически – нормальному закону в 16 % случаев, а при малой плотности застройки в 68 % случаев вместо закона Рэлея наблюдается закон Рэлея-Райса;

– распределение уровней напряженности поля на поперечных улицах с большой плотностью застройки в 60 % случаев подчиняется закону Рэлея, в 32 % случаев – нормальному закону и в 8 % случаев – логарифмически-нормальному закону;

В третьей главе также рассмотрены и разработаны методики дистанционного контроля излучаемой мощности в городских условиях. Первая методика разработана для стационарного радиоконтрольного пункта, антенна которого размещается выше городской застройки, вторая методика предназначена для передвижного мобильного измерительного комплекса,

высота подвеса антенны которого значительно ниже высоты городской застройки.

Первая методика предусматривает измерение уровней напряженности электрического поля на крышах зданий, где размещены радиоконтрольные пункты с целью определения соотношения изменения уровней поля при изменении значений выходной мощности радиовещательных передатчиков. Измерения уровней поля проводятся на радиоконтрольных пунктах при различных двух-трех значениях выходной мощности нескольких радиовещательных передатчиков. Предполагается кратковременное изменение выходной мощности передатчиков на 20...30 минут. Измерения рекомендуется проводить в ночное время, когда число слушателей радиовещательных программ минимально.

Уменьшив выходную мощность радиовещательного передатчика P_1 до значения P_1' получим в точке приема (на радиоконтрольном пункте) новое значение напряженности поля E' . Поскольку уровень напряженности поля пропорционален значению $\sqrt{P_1}$, то имеет место

$$10\lg\left(\frac{P_1}{P_1'}\right) = E - E' \text{ или } E_{\text{эб}} = 10\lg\left(\frac{P}{P'}\right) + E'. \quad (11)$$

Таким образом, если известна величина напряженности поля E для паспортного значения выходной мощности передатчика P_1 , то при изменении уровня напряженности поля до значения E' , можно определить величину изменения выходной мощности передатчика, что позволяет контролировать технические параметры передающей станции в реальном режиме.

Вторая методика подразумевает сравнение эталонных уровней напряженности электрического поля, измеренных на различных участках городских радиотрасс с примерно однотипной застройкой, с новыми значениями, полученными в ходе проведения контрольных измерений. Измерения уровней поля проводятся при помощи подвижного измерительного комплекса фирмы Rohde&Schwarz. Предполагается измерение порядка 900 значений напряженности поля через промежутки времени $\Delta t = 10 \text{ мс}$ и средней скорости движения измерительного комплекса 40 км/ч. При этом длина контрольных отрезков трасс составляют порядка 100 м, что способствует исключению влияния отдельно стоящих неоднородностей (препятствий) на точность измерения уровня поля.

Для каждого из полученных 900 значений уровней поля строится доверительный интервал (4), отбрасываются значения не попадающие в этот интервал и определяются средние значения напряженности поля, которые сравниваются с эталонными значениями. Если уровень поля оказывается больше эталонного уровня, то это означает, что произошло увеличение излучаемой мощности радиопередающего объекта. Конкретную величину излучаемой мощности можно определить с помощью одной из моделей

распределения уровней поля (7)-(10), которая выбирается в зависимости от типа местности, где проводится контрольное измерение.

В четвертой главе рассмотрены экологические аспекты использования передающих антенн. В связи с тем, что в настоящее время наибольшее количество средств радиоизлучения принадлежит базовым станциям сотовой связи, представляет важное значение рассмотрение экологических аспектов применения таких антенн.

Отсутствие учёта излучения от других радиотехнических объектов (РТО) в ряде случаев приводило к ошибкам в определении границ санитарно-защитных зон и зон ограничения радиотехнических объектов на этапе проектирования. В результате наблюдалось превышение предельно-допустимых норм облучения. Согласно нормам, граница санитарно-защитной зоны определяется на высоте 2 м от поверхности земли, а граница зоны ограничения – на высоте застройки по предельно-допустимому уровню (ПДУ) электромагнитного поля- и в дальнейшем, назовем их границей экологически безопасной зоны.

Использование двух различно нормируемых диапазонов частот (при отсутствии излучения от других радиотехнических объектов) обуславливает особенность расчета и построения экологически безопасной зоны, которая заключается в том, что граница этой зоны определяется по сумме отношений коэффициента $S_{\text{омн}}$, приравненного к единице

$$S_{\text{омн}} = \left(\frac{E_{\text{рез}}}{E_{\text{пду}}} \right)^2 + \frac{\text{ППЭ}_{\text{рез}}}{\text{ППЭ}_{\text{пду}}} = 1, \quad (12)$$

где $E_{\text{пду}}$ - предельно - допустимое значение напряженности поля (для населения - 3 В/м);

$\text{ППЭ}_{\text{пду}}$ - предельно - допустимое значение плотности потока энергии (для населения 1 мкВт/см²);

$E_{\text{рез}}$ - результирующее значение напряженности электрического поля (от нескольких РТО в метровом диапазоне волн);

$\text{ППЭ}_{\text{рез}}$ - результирующее значение плотности потока энергии (от нескольких РТО в дециметровом диапазоне волн).

Так, если не далеко от предполагаемого места размещения базовой станции сотовой связи имеются радиопередающие средства и известны результаты измерений или расчета уровней поля ($E_{\text{изм}}$ или $\text{ППЭ}_{\text{изм}}$) от другого радиотехнического объекта, то граница экологически безопасной зоны будет определяться уже другим значением коэффициента $S'_{\text{омн}}$

$$S'_{\text{омн}} = 1 - \left(E_{\text{изм}} / E_{\text{пду}} \right)^2 \quad (13)$$

или

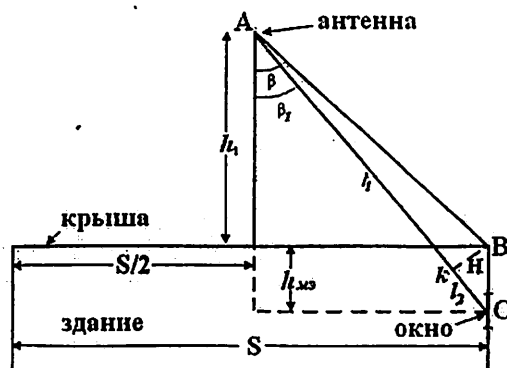
$$S'_{\text{омн}} = 1 - \text{ППЭ}_{\text{изм}} / \text{ППЭ}_{\text{пду}}. \quad (13.a)$$

Таким образом, можно учесть влияние других радиообъектов на границы экологически безопасных зон антенн базовых станций.

Для расчета экологически безопасной зоны передающей антенны РТО с учетом излучения от другого РТО разработана программа для персонального компьютера, которая может быть использована для любой антенны метрового или дециметрового диапазонов волн.

В данной главе также теоретически рассмотрен вопрос безопасного размещения антенн базовых станций сотовой связи на крышах жилых многоквартирных домов.

Облучение жителей этих квартир возможно как за счет дифракции электромагнитных волн на кромке крыши здания, так и за счет проникновения электромагнитных волн сквозь железобетонные перекрытия. Были рассмотрены эти два варианта.



Расчет дифракционного поля у окон квартир здания

На рисунке через h_{ms} обозначена высота межэтажного перекрытия; $l_1 + l_2$ – расстояние между передающей антенной и окном здания; l_1 – расстояние от антенны до экрана, l_2 – расстояние от экрана до точки расчета уровня поля; h_1 – высота подвеса антенны от крыши здания, S – ширина крыши здания.

Величину ослабления поля на клиновидном препятствии (экране), которое представляет собой стык крыши и стены здания, можно определить графически или по приближенной формуле (при $u > 2$)

$$F(u) \approx 12,953 + 20 \lg u, \text{ дБ}, \quad (14)$$

где $u = H\sqrt{2}/b = \frac{H\sqrt{2} \cdot \sqrt{l_1 + l_2}}{\sqrt{l_1 l_2} \lambda}$; λ – длина волны; b – радиус первой зоны Френеля; H – высота клиновидного препятствия.

Основные геометрические соотношения для данной модели имеют вид:

$$\begin{aligned} \beta &= \arctg(S/2h_1), \\ \beta_1 &= \arctg[S/2(h_1 + h_{мз})], \\ l_1 + l_2 &= (h_1 + h_{мз})/\cos \beta_1, \\ l_1 &= l_2 / [\cos \beta \cdot \cos(\beta - \beta_1)], \\ l_2 &= (h_1 - h_{мз})/\cos \beta_1 - h_1 / [\cos \beta \cdot \cos(\beta - \beta_1)], \\ H &= AB \cdot \operatorname{tg}(\beta - \beta_1) = h_1 \cdot \operatorname{tg}(\beta - \beta_1) / \cos \beta. \end{aligned} \quad (15)$$

После небольших преобразований получаем выражение для параметра u

$$u = \frac{\sqrt{2h_1} \cdot \sin(\beta - \beta_1) \cdot \sqrt{h_1 + h_{мз}}}{\lambda \sqrt{\cos(\beta - \beta_1)} \cdot \sqrt{1 + (h_{мз}/h_1) \cos \beta - \cos \beta_1}}. \quad (16)$$

Тогда величина ослабления (по напряженности поля) будет равна

$$\begin{aligned} F(u) &\approx 15,963 + 10 \lg h_1 + 20 \lg \sin(\beta - \beta_1) + 10 \lg(h_1 + h_{мз}) - \\ &- 20 \lg \lambda - 10 \lg \cos(\beta - \beta_1) - 10 \lg [1 + (h_{мз}/h_1) \cos \beta - \cos \beta_1] \text{ дБ}. \end{aligned} \quad (17)$$

Проведенные расчеты показывают, что при ширине крыши здания $S=15$ м, высоте подвеса антенны над крышей здания $h_1=15$ м, расстоянии от кромки крыши здания до окна $h_{мз}=5$ м величина ослабления по напряженности поля составляет 35,909 дБ или 62,436 раза, что соответствует уменьшению плотности потока энергии в 7,9 раза. Увеличение значения $h_{мз}$ до 10 м уменьшает уровень плотности потока энергии в 8,9 раза. На крышу здания может попадать излучение только за счёт второго и более дальних боковых лепестков диаграмм направленности антенн. Уровень боковых лепестков диаграмм направленности панельных антенн довольно низок и составляет порядка -20 дБ и менее (по мощности). Если излучение панельной антенны направлено вдоль крыши здания, то на край крыши попадает излучение и от первого бокового лепестка диаграммы направленности на уровне -14...-16 дБ. Поэтому на этапе проектирования необходимо предусмотреть, чтобы в направлении на край крыши не попал первый боковой лепесток диаграммы направленности панельной антенны.

В случае использования коллинеарных антенн (антенн типа OMNI) уровень боковых лепестков может достигать -10 дБ, поэтому размещение таких антенн на крышах жилых зданий не рекомендуется. Это касается проникновения электромагнитного облучения сквозь железобетонные перекрытия. Обычно квартира отделена от антенны двумя железобетонными перекрытиями, что ослабляет облучение в 20...30 раз. И хотя уровень отделенных боковых лепестков (направленных перпендикулярно поверхности крыши) весьма мал, рекомендуем в направлениях максимумов излучения антенн базовых станций установить заземленную металлическую сетку на поверхности крыши жилого здания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования по определению закономерностей распределения уровней электромагнитного поля радиоканалов в зависимости от вида городской застройки и установлено что в условиях г. Ташкента:

- распределение уровней напряжённости поля на радиальных улицах с большой плотностью застройки подчиняется закону Рэлея в 68% случаев, нормальному закону в 16% случаев и логарифмически - нормальному закону в 16% случаев, а при малой плотности застройки в 68% случаев вместо закона Рэлея наблюдается закон Рэлея – Райса;

- распределение уровней напряжённости поля на поперечных улицах с большой плотностью застройки в 60% случаев подчиняется закону Рэлея, в 32% случаев – нормальному закону и в 8% случаев – логарифмически – нормальному закону.

2. На основе обобщения результатов обработки выполненных экспериментальных исследований предложены модернизированные модели «Окамура-Хата», позволяющие рассчитать распределение уровней поля радиовещательных станций в зависимости от характера образования радиоканала (для районов с большой и малой плотностью застройки, для радиальных и поперечных улиц г. Ташкента), расширен частотный диапазон использования этой модели.

3. Предложена поправка к моделям «Окамура-Хата», учитывающая холмистость местности.

4. Разработаны методики контроля излучаемой мощности радиовещательных станций при установке измерительной антенны ниже и выше уровня городской застройки, позволяющие повысить эффективность контроля и прогнозирования технического состояния аппаратуры систем передачи по радиоканалам.

5. Разработана методика экологически безопасного размещения антенн базовых станций мобильной сотовой связи при наличии излучения от других радиотехнических объектов.

6. Получено выражение для расчета уровней электромагнитного поля в квартирах последних этажей здания от антенны, расположенной на крыше этого же здания.

7. Разработано универсальное программное обеспечение для расчета экологически безопасных зон для широкого класса радиотехнических объектов, учитывающее излучение от других источников электромагнитных волн, уменьшающее трудозатраты и погрешности расчетов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Нигманов А.А. Определение величины потерь уровней сигнала диапазона УКВ в городских условиях // Сб. тр. ЦНТМИ. – Ташкент, 2006. – вып.3. – С.11-17.
2. Нигманов А.А., Шахобиддинов А.Ш. Эмпирические модели распространения радиоволн в городских условиях // Ахборот коммуникациялар: Тармоқлар – Технологиялар – Ечимлар. – Ташкент, 2007. – № 1. – С. 23-32.
3. Нигманов А.А., Шахобиддинов А.Ш. Дифракционные модели распространения радиоволн в городских условиях // Ахборот коммуникациялар: Тармоқлар – Технологиялар – Ечимлар. – Ташкент, 2007. – № 1. – С. 32-46.
4. Нигманов А.А. Шаҳар шароитида сигнал сатҳининг йўқотишларини эмпирик моделлар ёрдамида ҳисоблаш // Aloqa dunyosi. – Ташкент, 2007. – 2. – С.37-40.
5. Исаев Р. И., Ликонцев Д. Н., Нигманов А.А. Экологически безопасное размещение антенн базовых станций в городских условиях // Aloqa dunyosi. – Ташкент, 2007. – 4. – С.4-9.
6. Нигманов А.А., Шахобиддинов А.Ш. Шаҳар шароитида сигналларнинг дифракцион йўқотишларини ҳисоблаш // Aloqa dunyosi. – Ташкент, 2007. – 4. – С.20-26.
7. Нигманов А.А., Шахобиддинов А.Ш. О выборе модели распределения уровней потерь для ее корректировки к условиям г. Ташкента // Ахборот-коммуникация технологиялари. – Аспирант, магистрант ва иқтидорли талабалар илмий техник конференцияси. Маърузалар тўплами (4-5 март, 2008 йил). – Тошкент: Алоқачи, 2008. – С.131.
8. Нигманов А.А. О необходимости введения понятия «усредненного коэффициента деполяризации» // Ахборот-коммуникация технологиялари. – Аспирант, магистрант ва иқтидорли талабалар илмий техник конференцияси. Маърузалар тўплами. (4-5 март, 2008 йил). – Тошкент: Алоқачи, 2008. – С.132.
9. Нигманов А.А. Облучение квартир многоэтажного здания, на крыше которого размещена антенна базовой станции // Ахборот-коммуникация технологиялари аспирант, магистрант ва иқтидорли талабалар илмий техник конференцияси. Маърузалар тўплами (4-5 март, 2008 йил). – Тошкент: Алоқачи, 2008. – С. 135.
10. Нигманов А.А., Ликонцев Д.Н. К расчёту уровней поля у основания холмов в моделях «Окамура-Хата» // Труды шестой Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и Технологии связи». Ташкент 9-10 октября 2008 г. – Ташкент: Алоқачи, 2008. – С. 129-131.
11. Ликонцев Д.Н., Нигманов А.А., Шахобиддинов А.Ш. Учет холмистости местности в моделях «Окамура-Хата» // Инфокоммуникации: Сети – Технологии – Решения. – Ташкент, 2008. -№ 1(5). – С. 23-24.

12. Ликонцев Д.Н., Нигманов А.А. Коррекция модели «Окамура-Хата» для диапазона 80...108 МГц в городе Ташкенте // Ахборот коммуникациялар: Тармоқлар – Технологиялар – Ечимлар.– Ташкент, 2008. -№ 2(6). – С. 19-21.

13. D.N. Likontsev, A.A. Nigmanov. Calculation of radiation field reduction of apartments from antennas of this building roof: The 9th International Conference on Electronics, Information and Communication (ICEIC). – Tashkent, Uzbekistan. June 24-27, 2008.

14. Нигманов А.А., Ликонцев Д.Н., Шарафутдинов Ж.Л. Модернизированная модель «Окамура-Хата» для г. Ташкента // Труды шестой Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и Технологии связи». Ташкент 9-10 октября 2008 г. – Ташкент: Алоқачи, 2008. – С. 131-133.

РЕЗЮМЕ

диссертации Нигманова Абдунасира Абдувалиевича на тему «Разработка моделей распределения уровней поля радиовещательных станций» на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - Системы и устройства передачи информации по каналам связи.

Ключевые слова: распространение радиоволн, радиоканал, город, модель распределения уровней поля радиосистемы, многолучевость.

Объекты исследования: электромагнитное поле радиоканалов систем звукового вещания.

Целью работы: разработка моделей распределения уровней поля каналов радиосистем метрового диапазона и методик дистанционного контроля излучаемой мощности радиовещательных ОВЧ-ЧМ передатчиков.

Методы исследований: теория распространения радиоволн, экспериментальные исследования распределения уровней напряженности поля, методы имитационного моделирования с использованием экспериментальных данных, теории вероятностей и математической статистики.

Полученные результаты и их новизна: предложена модернизированная модель «Окамура-Хата», позволяющая рассчитать распределение уровней поля радиоканала в зависимости от вида городской застройки, расширен частотный диапазон этой модели. Предложена поправка к модернизированным моделям «Окамура-Хата», позволяющая учесть в расчетах холмистость местности.

Разработаны методики контроля излучаемой мощности радиовещательных станций при установке измерительной антенны ниже и выше уровня городской застройки.

Разработана методика экологически безопасного размещения антенн базовых станций с учетом излучения от других радиотехнических объектов и программное обеспечение для расчета экологически безопасных зон.

Получено выражение для расчета уровней поля в квартирах здания от антенны, расположенной на крыше этого же здания.

Практическая значимость: повышается точность проектирования систем радиосвязи, повышается эффективность контроля и прогнозирования технического состояния радиосистем, качество предоставляемых услуг, достигается улучшение электромагнитной и экологической обстановок.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты исследований внедрены в нормативные документы Центра электромагнитной совместимости и Центра радиосвязи, радиовещания и телевидения, в учебный процесс подготовки магистрантов на кафедре АФУ ТУИТ и использованы при подготовке учебника по дисциплине «Радиотүлқинларнинг тарқалиши ва антенна-фидер қурилмалари».

Область применения: каналы систем радиосвязи и вещания в УКВ диапазоне, сотовой и транкинговой связи с учетом зон покрытия связью и вещанием, электромагнитной и экологической обстановок.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Нигманов Абдунасир Абдувалиевичнинг 05.12.02 – «Алоқа каналлари орқали ахборот узатиш тизимлари ва қурилмалари» ихтисослиги бўйича «Радиоэшиттириш станциялари майдон даражаларининг тақсимланиш моделларини ишлаб чиқиш» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕ СИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: радиотўлқинлар тарқалиши, радиоканал, шаҳар, радиотизим майдон даражалари тақсимланиш модели, кўп нурлилик.

Тадқиқот объектлари: товушли эшиттириш тизимлари радиоканаларининг электромагнит майдони.

Ишнинг мақсади: метрли диапазондаги радиотизимлар каналлари майдон даражаларининг тақсимланиш моделларини ва ЖЮЧ-ЧМ радиоэшиттириш узаткичлари нурлатадиган қувватни масофадан назорат қилиш методикаларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот методлари: радиотўлқинларнинг тарқалиш назарияси, майдон кучланганлиги даражалари тақсимланишини экспериментал тадқиқ қилиш, экспериментал маълумотлардан фойдаланган ҳолда, имитацион моделлаш методлари, эҳтимоллар назарияси ва математик статистика.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: шаҳар иморатларининг турига боғлиқ равишда, радиоканал майдон даражаларининг тақсимланишини ҳисоблаш имконини берадиган такомиллаштирилган «Окамура-Хата» модели таклиф қилинган ва бу моделдан фойдаланишнинг частота диапазони кенгайтирилган. Такомиллаштирилган «Окамура-Хата» моделига, жойнинг паст-баландлигини ҳисобга олувчи тузатиш таклиф қилинган.

Ўлчаш антеннаси шаҳар иморатларидан пастда ва юқорида ўрнатилганда, радиоэшиттириш станциялари нурлатадиган қувватни назорат қилиш методикалари ишлаб чиқилган.

Бошқа радиотехника объектлари нурланишларини ҳисобга олган ҳолда, таянч станциялар антенналарини экологик хавфсиз жойлаштириш методикаси ва экологик хавфсиз зоналарни ҳисоблашга дастурий таъминот ишлаб чиқилган.

Иморат хонадонларида, шу иморат томида жойлашган антеннадан бўладиган майдон даражаларини ҳисоблаш учун ифода олинган.

Амалий аҳамияти: радиоалоқа тизимларини лойиҳалаш аниқлиги, радиотизимлар техник ҳолатини назорат қилиш ва погнозлаш самарадорлиги, тақдим этиладиган хизматлар сифати ошади, электромагнит ва экологик вазиятлар яхшиланишига эришилади.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: тадқиқот натижалари Электромагнит мослашув маркази ва Радиоалоқа, радиоэшиттириш ва телевидение маркази норматив ҳужжатларига, ТАТУ АФҚ кафедраси магистрантлари ўқув жараёнига татбиқ этилган, шунингдек, «Радиотўлқинларнинг тарқалиши ва антенна-фидер қурилмалари» дарслигини тайёрлашда фойдаланилган.

Қўлланиш (фойдаланиш) соҳаси: УҚТ диапазонидаги радиоалоқа ва эшиттириш тизимлари, алоқа ва эшиттириш билан қоплаш зоналари, электромагнит ва экологик вазиятлар ҳисобга олинган ҳолда, сотали ва транкинг алоқа тизимларида.

RESUME

Thesis of Abdunasir Abduvalievich Nigmanov on the scientific degree competition of the candidate of sciences in 05.12.02 specialty "Systems and devices of data transmission through communication channels" subject: «Development of field level distribution models of broadcasting stations».

Key words: radio-wave propagation, radio channel, urban area, radio system field levels distribution model, multipath effect.

Subjects of research: electromagnetic field of radio channels of sound broadcasting systems

Purpose of work: the development of field level distribution models for channels of VHF band radio systems and methodology for distant control of VHF-FM broadcasting transmitters' emitted power

Methods of research: radio waves propagation theory, experimental research of field strength level distribution, methods of simulation modeling with use of experimental data, probability theory and mathematical statistics.

Methods of research: methods of probability theory and mathematical statistics, simulation modeling using modern technologies of computing.

The results obtained and their novelty: Improved model "Okumura-Hata" is offered, which allows calculating the distribution of radio channel field levels, emitted by broadcasting stations taking into account the features of buildings. Usable frequency band of this model is expanded. The correction coefficient to the improved "Okumura-Hata" model is offered, which allows taking into account the hilliness of land in calculation process.

Methods of control for the emitted power from television and broadcasting transmitters are developed for cases of installation of measuring antenna below and above urban buildings level.

The methods of environmentally safe location of cellular base station antennas are developed taking into account the radiation from other radio communication objects. The software for calculation of environmentally safe zones is also developed.

Expression is obtained for calculation of field level in apartments of multistory buildings while emitting from antenna located on a roof of the same building.

Practical value: the accuracy of radio communication systems design increases, the efficiency of control and prediction of technical state of radio systems increases; quality of services grows and improvement of electromagnetic and ecological environment could be achieved.

Degree of embed and economic effectivity: obtained results are introduced into normative documents of Electromagnetic compatibility center and Radiocommunication, broadcasting and television center and also into educational process for master's degree in Antenna-feeder devices chair of Tashkent university of information technologies and used for development of handbook "Radio-wave propagation and antenna-feeder devices".

Field of application: channels of radio communication and broadcasting systems in UHF band, cellular and trunk communication systems with respect to coverage zones, electromagnetic and ecological environment.

Подписано к печати 5.04.2011
Объем 1 усл.-печ.л. Тираж 100 экз. Зак 24

ООО «INFOSISTEMA» 100202 Г. Ташкент
ул. Богишамол, 7а