

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

Департамент бакалавриата

(наименование)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки)

Аудит комплексной безопасности в промышленности

(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Исследование прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)

Студент

А.В. Богданова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

С.М. Бобровский

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Содержание

Введение.....	4
Термины и определения .....	14
Перечень сокращений и обозначений.....	15
1 Научно-теоретические основы рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.....	16
1.1 Сущность, основные принципы и причины возникновения рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории .....	16
1.2 Современное состояние исследования прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории .....	22
1.3 Анализ и постановка задачи моделирования оценки возрастания интенсивности электромагнитного излучения при установке новых базовых станций сотовой связи .....	38
2 Моделирование в исследовании прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории .....	43
2.1 Особенности моделирования прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории .....	43
2.2 Построение модели воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.....	47
3 Решение минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций	

сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)	53
3.1 Анализ пула данных модели воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)	53
3.2. Информационные технологии как инструмент оценки прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)	63
3.3 Формирование плана минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)	71
Заключение	78
Список используемых источников	81

## Введение

**Актуальность темы исследования.** Количество абонентов сотовой связи по всему миру исчисляется миллиардами и продолжает расти. Весьма вероятно, что проникновение на рынок таково, что на некоторых территориях больше людей имеют доступ к сотовой мобильной радиотелефонной связи, чем к электричеству для питания и освещения. В то же время использование беспроводных телефонов, которые излучают радиочастоты или микроволны, приобретает все большую популярность в доме и офисе в той мере, в которой они заменяют кабельные телефоны. Повсеместное распространение беспроводных систем вызвало обеспокоенность по поводу безопасности воздействия на человека радиоволн, излучаемых этими телекоммуникационными устройствами.

В то время как биологический эффект радиочастотного излучения был важной темой исследования в течение более полувека, существует два аспекта этой технологии, пробуждающие возрождение исследовательского интереса, связанного со здоровьем человека. Во-первых, распространение антенн базовых станций во многих городских, пригородных и сельских ландшафтах, а также повышение уровня радиочастотного излучения в жилых и офисных помещениях. Во-вторых, впервые в истории человечества источник ЭМИ РЧ расположен в непосредственной близости от мозга или ЦНС большого числа пользователей. Антенна некоторых устройств, например, сотовых телефонов и устройств Bluetooth, обычно расположена рядом с головой пользователя, создавая тем самым потенциал для радиочастотного взаимодействия с тканями мозга.

Хорошо известно, что при достаточно высокой интенсивности радиочастотное излучение может термически взаимодействовать с организмом человека и оказывать вредное воздействие. Тем не менее, биологические реакции от общего нагревания ткани были бы

второстепенным фактором для воздействия радиочастотных полей, излучаемых этими устройствами беспроводной связи, где максимально допустимая удельная скорость поглощения SAR радиочастотной энергии в биологической ткани составляет от 1,6 до 2,0 Вт / кг. Соответственно, недавнее внимание обратилось на возможные эффекты, которые могут возникнуть после длительного или пожизненного воздействия РЧ на низких уровнях. Необходимо обеспечить лучшее понимание последствий для здоровья, чтобы защитить население от возможного вреда от радиочастотного излучения.

**Объект исследования:** действующая организация ООО «Неткрэкер», находящаяся на городских селитебных территориях.

**Предмет исследования:** прямые и косвенные риски, вызванные негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»).

**Цель исследования** - проведение анализа прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»), разработка мер комплексной безопасности в части возможностей нейтрализации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

**Гипотеза исследования** состоит в том, что может быть построена модель оценки возрастания интенсивности электромагнитного излучения при установке новых базовых станций сотовой связи, комплексного воздействия всех существующих БС с целью дальнейшей разработки мер по эффективной и адаптивной защите, если:

– при определении территориальной позиции установки БС проводить измерения электромагнитного фона в достаточном количестве точек;

- район установки БС, разбить на секторы, в каждом из которых выбирается радиальная относительно объекта, например, офисного здания, делового центра, траектория измерения.
- составление реестра точек измерения определяется необходимостью исключить облучение населения в местах его возможного нахождения на селитебных территориях.

**Задачи исследования:**

Описать сущность, основные принципы и причины возникновения рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

Провести анализ современного состояния исследования прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

Сформулировать задачу моделирования оценки возрастания интенсивности электромагнитного излучения при установке новых базовых станций сотовой связи.

Определить особенности моделирования прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

Построить модель воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

Проверить модель воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории и формирование пула данных моделирования.

Определить пути минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых

станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»).

Провести анализ пула данных модели воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»).

Выделить и описать информационные технологии как инструмент минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»).

Сформировать план минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»).

**Методы исследования**, примененные в данной работе: теоретические – анализ и синтез, моделирование, обобщение, проведение аналогий – использованы для обработки литературы, взятой за методологическую основу исследования, обобщения существующего технологического и общенаучного опыта; эмпирические – наблюдение, опросы – использованы для сбора информации, апробации результатов.

**Научная новизна исследования**, изложенная в магистерской диссертации, основана на том, что операторные переменные и вертикальное расстояние были включены в регрессионную модель. Поскольку распространение электромагнитных волн не имеет нормального распределения, его необходимо статически нормировать. Приведенное в диссертации уравнение регрессии было результатом анализа, в котором вертикальное расстояние и тип оператора оказали значительное влияние на логарифм плотности мощности и составили 60% его вариаций.

**Теоретическая значимость** исследования заключается в том, что:

- поведена корреляция между медицинскими исследованиями и технологическим опытом;
- собраны воедино результаты многих разрозненных исследований в данной области, на основе их результатов выявлены важные тенденции и выводы в данной области.

**Практическая значимость** исследования состоит в том, что доказано: БС не достигают критических показателей мощности при соблюдении всех стандартов и санитарных норм.

**Достоверность и обоснованность результатов** исследования обеспечена структурой построенной модели и применением статистических методов расчета.

**Личное участие автора** в исследование заключается в его участии в исследовании статистических данных и построении моделей, направленных на обеспечение защиты людей на селитебных территориях от прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории, обработке результатов исследования, формировании перечня мер безопасности.

**Апробация и внедрение результатов** работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на V Международной научно-практической конференции (школа-семинар). Для закрепления теоретических результатов исследования были детально рассмотрены публичные данные о замерах в городском округе Тольятти и Ставропольском районе. Особое внимание было уделено меткам вблизи организации, являющейся объектом исследования.

**На защиту выносятся следующие положения и результаты исследования.** Потенциальные последствия для здоровья радиочастотного (РЧ) излучения, связанного с сотовыми мобильными телефонами и связанными беспроводными устройствами, остаются предметом



озабоченности. Хотя наши знания о влиянии радиочастотного излучения на здоровье значительно возросли, научные доказательства биологического воздействия радиочастотного излучения, связанного с этими беспроводными устройствами, все еще носят предварительный характер. Неопределенность сохраняется, в частности, из-за ограниченного числа и масштабов исследований, которые были проведены. Помимо отсутствия научного консенсуса в отношении экспериментальных исследований, которые предоставляют четкие доказательства, опровергающие или поддерживающие потенциал индукции рака или стимуляции радиочастотного излучения от сотовых телефонов, существует опасение, что установленный эффект от беспроводного излучения, пусть и небольшого, может иметь значительное влияние с точки зрения общественного здравоохранения.

Необходимым условием нормального функционирования сотовой связи и безопасности окружающей среды и человека является направление «лепестка» в сторону и выше строений, жилых домов, в которых работают или живут люди. Данные условия обязательно учитываются при рассмотрении материалов по обоснованию размещения БС.

Чтобы организовать эффективное разделение тестируемой застроенной площади селитебной территории в ячейках между БС, проектировщикам нужна строгая информация о снижении мощности сигнала для конкретной ситуации на рассматриваемой площадке. В частности, они нуждаются в строгом анализе бюджета линии связи для ситуации распространения внутри каждого канала связи, а также полного радиопокрытия каждого абонента, находящегося в условиях прямой видимости или отсутствия прямой видимости в зонах услуги, давая точное разрешение между абонентами в каждой ячейке.

Наилучший зазор между каждой БС и любым абонентом внутри селитебной территории определяет минимальный радиус конкретной ячейки. Явления распространения волн в городских условиях с обеими антеннами

описаны с использованием двух физико-статистических моделей, уличного волновода и многопараметрического стохастика.

**Структура магистерской диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и списка использованной литературы. Основная часть исследования изложена на 62 страницах, текст иллюстрирован 4 рисунками.

### **Основное содержание работы**

**Во введении** обосновываются актуальность темы исследования, определяются объект, предмет, цель, ведущая идея, выдвигается гипотеза и формулируются задачи работы, характеризуются научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследования.

**В первой главе** раскрываются научно-теоретические основы рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

Приведен обзор авторских изобретений в области обеспечения безопасности в различных направлениях деятельности, связанных с БС.

Рассматриваются факторы, влияющие на здоровье населения и сотрудников организаций селитебных территорий.

Проведены анализ и постановка задачи моделирования оценки возрастания интенсивности электромагнитного излучения при установке новых базовых станций сотовой связи.

**Во второй главе** раскрываются методы и результаты моделирования в исследовании прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории, выявляются особенности моделирования прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

Производится построение модели воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

**В третьей главе** раскрывается решение минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории.

Производится анализ пула данных модели воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории и формирование плана минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткракер»).

**В заключении** представлены основные результаты поставленных задач исследования и сделаны следующие выводы:

В диссертации представлены теоретические и экспериментальные исследования по теме магистерской диссертации.

Выполнен анализ результатов исследований по теме магистерской диссертации, сформулированы выводы и рекомендации. Результаты исследования показали, что плотность мощности увеличилась за счет уменьшения вертикального расстояния антенн БС.

Хотя измеренные значения были ниже рекомендованных руководящими принципами, принимая во внимание неизвестный аспект воздействия этого излучения на здоровье человека и возможность изменения параметров в руководящих принципах, мы предлагаем учитывать высоту здания вблизи антенн BTS при получении сертификатов на установку антенн.

Результаты исследования показали, что плотность мощности увеличилась за счет уменьшения вертикального расстояния антенн БС. Хотя измеренные значения были ниже рекомендованных руководящими

принципами, принимая во внимание неизвестный аспект воздействия этого излучения на здоровье человека и возможность изменения параметров в руководящих принципах, мы предлагаем учитывать высоту здания вблизи антенн БС при получении сертификатов на установку антенн.

Поскольку статистическая мощность для обнаружения даже небольших эффектов была относительно высокой, мы интерпретируем это как надежное указание на то, что предупредительная информация сама по себе не приводит к увеличению ответов.

Хотя воздействие электромагнитного излучения в радиочастотном диапазоне вызывает серьезную озабоченность во всем мире, ЭМИ имеет множество важных применений как в области электросвязи, так и в области связи.

Основываясь на этих результатах, можно предположить, что в особых обстоятельствах эти воздействия могут привести к лучшей реакции людей на различные опасности. Другие исследователи также предоставили доказательства, подтверждающие индукцию радиочастотных когнитивных эффектов.

Кроме того, в некоторых недавних сообщениях указывается, что радиочастотное излучение может играть роль в защите от когнитивных нарушений при болезни Альцгеймера. В этом свете сложная проблема возникнет, если будут другие стимулирующие эффекты, вызванные РЧ. Также сложно исследовать потенциальное применение этих эффектов. Дальнейшие исследования могут пролить свет на темные области воздействия кратковременного и длительного воздействия радиочастотного излучения на здоровье человека.

Подобно распространению радиосигнала, существует ряд свойств антенн, которые регулируют их использование. Понимая эти свойства, мы можем получить понимание того, как будет работать БС, не зная об электромагнетизме. Свойства, которые мы исследовали:

- усиление;
- радиационная картина;
- пропускная способность;
- поляризация.

**Основные результаты исследования представлены в следующих публикациях:**

1. Богданов Н.В., Богданова А.В., Глазова В.Ф. Оценка интенсивности электромагнитного излучения при установке базовых станций сотовой связи вблизи учреждений здравоохранения // в сборнике: Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук Материалы V Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. 2019. С. 367-370.

2. Bogdanova A.V., Korostelev A.A., Mukhutdinov R.H., Shakirova I.A., Maselena A. Formulation of the problem of mathematical modeling of accommodation of basic stations of cellular communication in residential territories for students of it-directions of preparation. – International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. Т. 7. № 6. P. 87-90.

3. Богданова А.В., Богданов Н.В. Формирование ключевых показателей для сквозного аудита в учреждении здравоохранения. – Азимут научных исследований: экономика и управление. 2018. Т. 7. № 3 (24). С. 43-46.

## Термины и определения

В настоящей магистерской диссертации применяются следующие термины и определения:

Базовая станция (сотовой связи) – системный комплекс приёмопередающей аппаратуры, осуществляющей централизованное обслуживание группы оконечных абонентских устройств.

Моделирование – исследование объектов познания на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя.

Перекрестное электромагнитное излучение – результат взаимного влияния электромагнитных полей однородного или разнородного радио- и электротехнического оборудования, характеризующийся созданием помехонесущего поля, обладающего самостоятельной магнитной и электрической напряженностью.

Санитарно-защитная зона – специальная территория с особым режимом использования, которая устанавливается вокруг объектов и производств, являющихся источниками воздействия на среду обитания и здоровье человека.

Селитебные территории – земли, предназначенные для строительства жилых и общественных зданий, дорог, улиц, площадей в пределах городов и посёлков городского типа.

SAR-показатель – коэффициент поглощения энергии. Уровень SAR показывает, сколько энергии электромагнитного поля поглощают ткани человеческого тела за 1 секунду. Единица измерения излучения телефонов SAR – Вт / кг.

## Перечень сокращений и обозначений

В настоящей магистерской диссертации применяются следующие обозначения и сокращения:

SAR – Specific Absorption Rate;

БС – базовая станция (сотовой связи);

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения;

МКЗНИ – Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения.

ППЭ – плотность потока энергии;

СВЧ – сверхвысокочастотный, сверхвысокая частота;

СЗЗ – санитарно-защитная зона;

ТГУ – Тольяттинский государственный университет;

УПиЭБ – управление промышленной и экологической безопасностью;

ЭМИ РЧ – электромагнитные излучения радиочастотного диапазона;

ЦНС – центральная нервная система;

# **1 Научно-теоретические основы рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории**

## **1.1 Сущность, основные принципы и причины возникновения рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории**

Количество абонентов сотовой связи по всему миру исчисляется миллиардами и продолжает расти. Весьма вероятно, что проникновение на рынок таково, что на некоторых территориях больше людей имеют доступ к сотовой мобильной радиотелефонной связи, чем к электричеству для питания и освещения. В то же время использование беспроводных телефонов, которые излучают радиочастоты или микроволны, приобретает все большую популярность в доме и офисе в той мере, в которой они заменяют кабельные телефоны. Повсеместное распространение беспроводных систем вызвало обеспокоенность по поводу безопасности воздействия на человека радиоволн, излучаемых этими телекоммуникационными устройствами.

В то время как биологический эффект радиочастотного излучения был важной темой исследования в течение более полувека, существует два аспекта этой технологии, пробуждающие возрождение исследовательского интереса, связанного со здоровьем человека. Во-первых, распространение антенн базовых станций во многих городских, пригородных и сельских ландшафтах, а также повышение уровня радиочастотного излучения в жилых и офисных помещениях. Во-вторых, впервые в истории человечества источник ЭМИ РЧ расположен в непосредственной близости от мозга или ЦНС большого числа пользователей. Антенна некоторых устройств, например, сотовых телефонов и устройств Bluetooth, обычно расположена



рядом с головой пользователя, создавая тем самым потенциал для радиочастотного взаимодействия с тканями мозга.

Хорошо известно, что при достаточно высокой интенсивности радиочастотное излучение может термически взаимодействовать с организмом человека и оказывать вредное воздействие. Тем не менее, биологические реакции от общего нагревания ткани были бы второстепенным фактором для воздействия радиочастотных полей, излучаемых этими устройствами беспроводной связи, где максимально допустимая удельная скорость поглощения SAR радиочастотной энергии в биологической ткани составляет от 1,6 до 2,0 Вт / кг. Соответственно, сегодня большое внимание в исследованиях уделяется именно низкочастотным излучениям, их влиянию на здоровье человека и даже животных при долгом воздействии. Необходимо обеспечить лучшее понимание последствий для здоровья, чтобы защитить население от возможного вреда от радиочастотного излучения.

Согласно нормативам, санитарно-защитная зона вокруг БС составляет 25 метров. Зона отчуждения, в которую нельзя заходить, составляет 2-3 м. Непосредственные работы на БС можно осуществлять только после ее отключения, либо после снижения мощности излучения до 10 микровольт.

С одной стороны, частое размещение БС воспринимается негативно, но с другой – снижает мощность работы каждой из них, и снижает излучение от каждого отдельно взятого сотового телефона. Это приводит к тому, что базовые станции, удаленные от человека на несколько десятков метров, не приводят к неблагоприятным последствиям для здоровья. К тому же базовые станции не излучают во все стороны. Их антенны имеют определенную диаграмму направленности с ярко выраженным главным лучом. Вне зоны главного луча, а также у подножия антенны уровень электромагнитного излучения будет мал (Рисунок 1) [16].

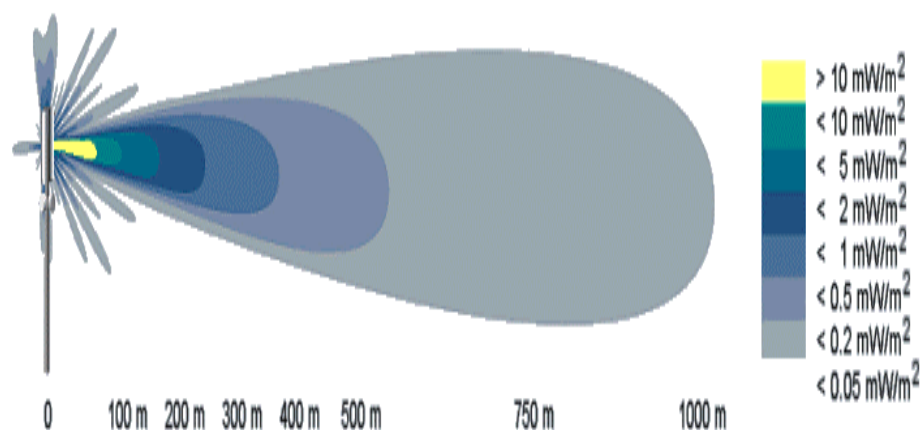


Рисунок 1 – Диаграмма направленности излучения БС.

Прямоугольные объекты на вышке сотовой связи называются секторными антеннами, которые представляют собой всего лишь несколько диполей, сложенных вертикально. Металлическая поверхность позади диполей отражает их энергию наружу, чтобы покрыть примерно 120 градусов по азимуту вокруг башни.

Измерение плотности потока излучений при разговорах в городской среде (городской округ Тольятти) и в среде город - область (городской округ Тольятти – Ставропольский район) выявило увеличение мощности излучения во втором случае в 1,5-16,4 раза (47,8-72,9; 19,4-318,1 мкВт/см<sup>2</sup>) и привело к превышению в несколько раз действующего ПДУ (100 мкВт/см<sup>2</sup>). Таким образом, сущность, основные принципы и причины возникновения рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории, определяют актуальность выбранной темы исследования.

Из-за принципов резонанса, которые мы обсуждали выше, многие антенны могут передавать и принимать только в узких полосах частот. Способ выразить это качество данной антенны - это пропускная способность. Ширина полосы - это мера того, насколько хорошо антенна излучает энергию в различных частотных диапазонах. Некоторые антенны имеют очень узкую

полосу пропускания, в то время как другие могут передавать в широком диапазоне частот.

Узкая полоса пропускания может быть, как хорошей, так и плохой, в зависимости от приложения. Если кто-то хочет передавать или принимать информацию на многих разных частотах, узкая полоса пропускания нежелательна. Альтернативно, узкая полоса пропускания может быть полезным свойством для фильтрации шума из смежных частей спектра для приема. Эта идея фундаментальных компромиссов является постоянной темой в сфере радиосвязи; многие свойства оборудования связи и электромагнитного спектра могут быть использованы для одного приложения, а сложности для другого приложения.

Для полного понимания потенциального риска для здоровья необходимы фундаментальные и подробные знания о биологических эффектах. Понимание механизмов взаимодействия может быть использовано для определения подходящей дозиметрии, для прогнозирования взаимосвязей доза-реакция, для разработки лучших экспериментов, а также для определения ожидаемых вредных эффектов при определенных уровнях воздействия.

Люди в состоянии покоя, как правило, не подвержены влиянию статических магнитных полей, за исключением случаев очень высокой интенсивности, когда может возникнуть воздействие на функции сердца или мозга. Однако движение вокруг статического магнитного поля может вызывать биологические эффекты из-за индуцированного электрического поля, воздействующего на нервные ткани. Некоторые недавние исследования предполагают, что эти эффекты могут также возникать, пока они находятся в неподвижном состоянии. Величина индуцированных электрических полей зависит главным образом от временных и пространственных градиентов.

Особенно чувствительными являются органы баланса в ухе, так как хождение внутри или даже быстрое перемещение головы в статическом

магнитном поле может привести к ощущению головокружения или головокружения. Симптомы тошноты и другие эффекты, такие как возникающие ощущения вкуса, также сообщались в непосредственной близости от работающих машин МРТ. Однако все эти эффекты являются временными и прекращаются, когда движение вокруг сильного статического магнитного поля прекращается или даже замедляется. Нет никаких свидетельств постоянного ухудшения или серьезного неблагоприятного воздействия, вызванного воздействием. Обычно, ограничение плотности внешнего магнитного потока до 2 Тл или медленное движение внутри сильного статического поля может предотвратить возникновение этих эффектов.

Низкочастотные электрические поля могут индуцировать электрические поля в тканях организма, которые, в принципе, могут создавать эффекты, аналогичные полям, вызванным воздействием низкочастотных магнитных полей. Однако вследствие эффекта экранирования тела из-за его высокой проводимости индуцированное электрическое поле обычно имеет слишком малую величину, чтобы вызывать неблагоприятные воздействия для типичных внешних электрических полей, встречающихся в окружающей среде.

Кроме того, низкочастотные электрические поля производят другой эффект по сравнению с магнитными полями. Человек может испытывать ощущение покалывания или покалывания на коже, когда в сухой день он находится внутри электрического поля очень высокой интенсивности, например, под высоковольтной линией электропередачи. Это происходит, когда низкочастотное электрическое поле вызывает накопление зарядов на поверхности тела, и этот электрический заряд заставляет волоски на коже двигаться и вибрировать.

Воздействие на человека электромагнитных полей с частотами выше 100 кГц приводит к нагреву тела за счет поглощения энергии. В зависимости

от сценария воздействия, это может привести либо к нагреву всего тела, либо к локальному нагреву частей тела, таких как конечности или голова.

Здоровые люди обычно очень эффективно регулируют общую температуру своего тела, благодаря терморегуляционной способности человеческого организма. Этот защитный механизм отвечает за поддержание температуры в пределах нормы. Тем не менее, если общая мощность, поглощаемая организмом, достаточно велика, чтобы заставить этот защитный механизм для регулирования нагрева выйти из строя, происходит неконтролируемое повышение температуры тела (гипертермия), что приводит к термически вредным воздействиям. Наиболее неблагоприятные последствия для здоровья из-за воздействия ВЧ между 1 МГц и 10 ГГц связаны с реакциями на индуцированный нагрев, что приводит к повышению температуры в ткани выше, чем допустимо. Длительное повышение температуры на несколько градусов и более может быть очень опасным.

Импульсные радиочастотные поля могут вызвать сенсорное восприятие в форме микроволнового слуха. Люди с нормальным слухом могут воспринимать импульсно-модулированные поля с частотами от 200 МГц до 6,5 ГГц.

Обычно этот эффект описывается как гудящий, щелкающий или хлопающий звук, в зависимости от характеристик модуляции поля. Типичная длительность импульса, приводящая к этим эффектам, составляет порядка нескольких десятков микросекунд.

Подводя итог, можно сказать, что биологические эффекты высокочастотных полей являются опасными, только если интенсивность излучения достаточно высока. В случае большинства воздействий ВЧ окружающей среды, особенно антенн радиостанций и сотовых телефонов, интенсивность обычно не превышает принятые пределы воздействия.

## **1.2 Современное состояние исследования прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории**

Существует ряд организаций, занимающихся созданием технических спецификаций и стандартов, а также регулированием в области мобильной связи. Их можно условно разделить на три группы: организации, разрабатывающие стандарты, регулирующие органы и администрации, а также отраслевые форумы.

Организации, разрабатывающие стандарты, разрабатывают и согласовывают технические стандарты для систем мобильной связи, чтобы дать возможность промышленности производить и развертывать стандартизированные продукты и обеспечивать совместимость между этими продуктами. Большинство компонентов систем мобильной связи, включая базовые станции и мобильные устройства, в некоторой степени стандартизированы. Существует также определенная степень свободы в предоставлении собственных решений в продуктах, но протоколы связи опираются на подробные стандарты по очевидным причинам. Обычно являются некоммерческими отраслевыми организациями и не контролируются государством. Тем не менее, они часто пишут стандарты в определенной области под мандатом правительств, предоставляя стандартам более высокий статус.

Регулирующие органы и администрации - это организации, возглавляемые правительством, которые устанавливают нормативные и правовые требования для продажи, развертывания и эксплуатации мобильных систем и других телекоммуникационных продуктов. Одной из их наиболее важных задач является контроль за использованием спектра и установление условий лицензирования для операторов мобильной связи,

которым предоставлены лицензии на использование частей радиочастотного (РЧ) спектра для мобильных операций. Другая задача состоит в том, чтобы регулировать «размещение на рынке» продуктов посредством нормативной сертификации, обеспечивая, чтобы устройства, базовые станции и другое оборудование были одобрены по типу и продемонстрировали соответствие соответствующим нормам.

Отраслевые форумы - это отраслевые группы, которые продвигают и лоббируют конкретные технологии или другие интересы. В индустрии мобильной связи их часто возглавляют операторы, но есть также производители, создающие отраслевые форумы. Примером такой группы является GSMA (Ассоциация GSM).

По мнению Ю.Г. Григорьева, постоянное увеличение количества объектов-источников ЭМИ, приближение источников ЭМИ к местам пребывания человека и хроническое воздействие на экосистемы и население составляют потенциальную угрозу здоровью.

Наличие недоработанных санитарно-эпидемиологических правил и норм, устанавливающих критерии безопасности по неионизирующим излучениям, только потенцирует проблему.

Ведутся постоянные споры о том, может ли присутствие электромагнитных полей, относящихся к неионизирующей части спектра в окружающей среде, быть связано с риском для здоровья. Биологические эффекты электромагнитных полей в значительной степени зависят от фактической интенсивности и частоты, поэтому грубая классификация часто связана с воздействием низкой частоты (НЧ) и высокой частоты (ВЧ). Следовательно, оценка распределения полей, индуцированных в биологических телах, имеет решающее значение для изучения связанных биологических эффектов.

Мы рассматриваем различные аспекты взаимодействия человека с электромагнитными полями (ЭМП) из искусственных источников,

охватывая, таким образом, основные идеи электромагнитных полей окружающей среды, общественный страх, связанный с использованием ЭМП, биомедицинские применения ЭМП, механизмы связи между людьми и статические электрические, статические магнитные и изменяющиеся во времени поля, краткое изложение установленных биологических эффектов электромагнитных полей, связанных со статическим, низкочастотным и высокочастотным диапазоном, соответственно, международные руководящие принципы и стандарты безопасности, связанные с ограничением воздействия ЭМП на человека и их законодательный статус в нескольких странах мира, соответствующие пределы воздействия и меры безопасности.

Наличие электромагнитных полей в окружающей среде и их опасность для человека представляет собой противоречивую научную, техническую и, чаще всего, общественную проблему. Электромагнитные поля являются продуктом технологии, которая должна использоваться в повседневной жизни, несмотря на неизвестный риск.

В повседневной жизни люди подвергаются нападкам из-за большого количества противоречивой информации об опасностях, исходящих от энергосистем и коммуникационных антенн. Широкое использование электрической энергии подразумевает, что во всех жилых домах и на рабочих местах существуют уровни электромагнитных полей, которые можно было бы считать нормальными.

Существует противоречие, если полевые выбросы из таких полей могут вызвать рак или другие заболевания. Есть люди, которые убеждены в неблагоприятных последствиях для здоровья из-за воздействия электромагнитных полей, и, следовательно, они обычно осторожны в отношении своего здоровья и продолжают протестовать. Напротив, некоторые люди из отрасли не верят в электромагнитные биологические эффекты.



Общественное беспокойство постоянно колеблется между чрезвычайно низкочастотным и высокочастотным диапазоном, в основном в зависимости от широко разрекламированных заявлений об этих проблемах в средствах массовой информации.

В последние несколько десятилетий общественное беспокойство было направлено на безопасность радиолокационного оборудования на рабочем месте и микроволновых печей в домах. Однако в настоящее время принято считать, что микроволновые печи безвредны (по крайней мере, при правильном использовании), в то время как ряд исследований, касающихся радиолокационного излучения, привели к определенным мерам безопасности, которые могут минимизировать некоторые установленные тепловые воздействия.

Сегодня основными причинами беспокойства являются антенны базовых станций, мобильные телефоны и другое оборудование беспроводной связи. В частности, идея воздействия на здоровье мобильных телефонов находится в центре внимания исследований в этой области.

Отправной точкой любого анализа возможного риска для здоровья является дозиметрия падающего поля, включая оценку падающих полей, генерируемых различными электромагнитными источниками, и дозиметрия внутреннего поля, включающая различные методы определения внутреннего электромагнитного поля [8].

Оценка любого риска для здоровья, вызванного воздействием электромагнитных полей, основывается на результатах хорошо зарекомендовавших себя исследований, основанных на экспериментальных данных биологических систем, эпидемиологических и человеческих исследованиях, а также на понимании различных механизмов взаимодействия.

К сожалению, информация, предоставляющая общественности удовлетворительное понимание воздействия электромагнитных полей и связанного с этим эффекта, все еще редко доступна.

Исследование воздействия электромагнитных полей включает в себя несколько аспектов электромагнитных полей, таких как биологическая, медицинская, биохимическая, эпидемиологическая, экологическая, оценка риска и политика здравоохранения. Единственный подходящий подход - принять во внимание все вышеперечисленные аспекты.

Обеспокоенность по поводу возможных последствий воздействия электромагнитных полей и связанных с ними исследований началась после Второй мировой войны, главным образом из-за наблюдаемых явлений нагревания при использовании радара. К середине 1970-х годов озабоченность была в основном направлена на возможную опасность для здоровья из-за воздействия радиочастотных полей. В последующие годы общественное беспокойство было направлено на чрезвычайно низкочастотные поля, генерируемые линиями электропередач.

С начала 1990-х годов общественная обеспокоенность наличием электромагнитных полей в окружающей среде была вызвана рядом статей в общей прессе. Источники беспокойства включают, но не ограничиваются ими, линии электропередач, мобильные телефоны и радиовещательные антенны. Возник спор с утверждением о возможной связи между полями и риском для здоровья, особенно с некоторыми формами рака у людей. В течение последнего десятилетия общественное беспокойство переориентировалось на радиочастотное воздействие от башен базовых станций и мобильных телефонов, в первую очередь из-за высокого уровня проникновения этой технологии.

В результате продолжаются исследования в области биомедицины и здравоохранения, аудита комплексной безопасности. В то время как правила безопасности при облучении были хорошо разработаны в атомной

энергетике, в последние два десятилетия были сделаны предложения по ограничению воздействия радиочастотных электромагнитных полей.

До настоящего времени нет надежных научных данных, которые позволили бы сделать вывод о том, что низкое длительное воздействие электромагнитных полей на уровнях, обнаруженных в окружающей среде, отрицательно сказывается на здоровье человека, а также не существует подтвержденного механизма, который мог бы обеспечить надежную основу. прогнозировать эти побочные эффекты.

При сохранении существующих тенденций в развитии коммуникационных технологий население будет находиться в условиях длительного воздействия ЭМИ малых нетепловых интенсивностей. Открытым остается вопрос, при каких условиях биологическая реакция на воздействие ЭМИ мобильной связи и БС может вызвать развитие патологии. Нефедов П.В. полагает, что этом случае «целесообразно ориентироваться на критерий возможного развития отдаленных эффектов и, как следствие, требуется проведение целенаправленных длительных исследований» [2]. Обсуждается вопрос освобождения от БС так называемых «чувствительных» помещений/мест (школ, больниц и т.д.) и запрещение их размещения ближе 500 м от детских садов, школ и больниц. На других общественных зданиях – увеличение высоты, на которой расположена антенна.

Человеческому организму не хватает органа или системы, чтобы обнаруживать или воспринимать радиочастотные электромагнитные поля, в отличие от наших глаз, которые обнаруживают видимый свет, еще одну полосу электромагнитного спектра, хотя и накапливают литературу об электромагнитной гиперчувствительности (этот термин недавно переключается). идиопатической непереносимости окружающей среды к ЭМИ) возникла полемика о наличии вариаций среди людей в некоем «смысле» электромагнитных полей или «ощущении» изменений, происходящих в организме под воздействием ЭМИ, во многих

рандомизированных исследованиях провокаций не может доказать связь между такой чувствительностью и ЭМИ. Однако наша нервная система зависит от электрических сигналов, и физически известно, что электромагнитные поля оказывают влияние на электрическую проводимость. Кроме того, исследования показали влияние ЭМИ на многие другие механизмы в биологических тканях, классифицированные как термические и нетепловые воздействия.

Продолжается дискуссия о том, вызывает ли излучение мобильного телефона какие-либо последствия для здоровья. Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения, Международный комитет по электромагнитной безопасности и Всемирная организация здравоохранения уверяют, что доказанного риска для здоровья не существует и что существующие пределы безопасности защищают всех пользователей мобильных телефонов. Однако, исходя из имеющихся научных данных, ситуация не так ясна. Большинство доказательств поступает из лабораторных исследований и имеют очень ограниченное применение для определения риска для здоровья. Токсикологические исследования на животных неадекватны, поскольку невозможно «передозировать» микроволновое излучение, как это делают химические агенты, из-за одновременной индукции побочных эффектов нагревания. Не хватает исследований добровольцев, которые бы объективно продемонстрировали, реагирует ли человеческое тело на излучение мобильного телефона. Наконец, эпидемиологические данные недостаточны из-за, среди прочего, систематической ошибки выбора и ошибочной классификации, и низкой чувствительности этого подхода к выявлению риска для здоровья населения. Это указывает на то, что имеющиеся в настоящее время научные данные недостаточны для подтверждения надежности действующих стандартов безопасности. Поэтому мы рекомендуем соблюдать осторожность при работе с мобильными телефонами и, когда это возможно и возможно, ограничить

воздействие этого излучения на организм. Продолжение исследований радиационных эффектов мобильных телефонов необходимо для улучшения основы и надежности стандартов безопасности.

Постоянно продолжается спор о том, должны ли пользователи мобильных телефонов беспокоиться о:

- безопасности для здоровья излучения, испускаемого этими устройствами;
- адекватности стандартов безопасности;
- том, является ли продолжение исследований в этой области научно обоснованным.

Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP), Международный комитет по электромагнитной безопасности (ICES) и Проект Всемирной организации здравоохранения по электромагнитным полям (проект EMF ВОЗ) уверяют пользователей в том, что нет доказанного риска для здоровья и что настоящие Стандарты безопасности на излучение, излучаемое мобильными телефонами, защищают всех пользователей. Тем не менее, из-за методологических и исследовательских ограничений дизайна, которые присущи различным типам исследований (эпидемиология, исследования на людях-добровольцах, исследования на животных и *in vitro*), собранные до настоящего времени научные доказательства, по нашему мнению, все еще недостаточны для подтверждения этих утверждений.

При оценке возможных последствий облучения мобильного телефона для здоровья, как и с любым другим фактором окружающей среды, независимо от того, встречается ли он в природе или искусственно, необходимо несколько видов научных доказательств, таких как:

- возможный механизм, как эффект индуцируется в живом организме;
- лабораторные исследования *in vitro*, которые подтверждают существование биофизического и биохимического механизма воздействия;

- исследования на животных;
- исследования на добровольцах;
- эпидемиологические доказательства воздействия на популяцию людей, проживающих или работающих на селитебных территориях.

Каждый тип доказательств имеет различную значимость и ценность для оценки и подтверждения воздействия на здоровье человека. Наиболее важными являются эпидемиологические данные, за которыми следуют исследования на добровольцах и эксперименты на животных. В пробирке фактические данные напрямую не информируют о возможном воздействии на здоровье, но предоставляют информацию о возможном механизме воздействия на клеточном уровне. Знание механизма воздействия повышает надежность доказательств, собранных в эпидемиологических исследованиях, исследованиях на людях, на животных и в пробирке. В идеальной ситуации все вышеперечисленные виды научных данных будут указывать в одном направлении.

Это, однако, не всегда так. Например, электромагнитные поля, испускаемые БС, были классифицированы Международным агентством по исследованию рака (IARC) как возможный канцероген (категория 2B), основанный преимущественно на эпидемиологических данных, поскольку не было явно подтверждающих доказательств из исследований на животных и в пробирке. Тем не менее, недавно опубликованное исследование предоставляет новые доказательства того, что ЭМИ может вмешиваться в процесс репарации ДНК, что может вызвать накопление поврежденной ДНК в клетках. Если это так, такой процесс можно рассматривать как, по крайней мере, потенциальный триггер для развития рака. В контексте этого нового методологического подхода к проблеме повреждения ДНК, вызванного ЭМИ, требуются прекращение дальнейших исследований в области или аналогичные призывы к прекращению исследований на мобильных телефонах, конечно преждевременно. Наше исследование также

подчеркивает необходимость пересмотра старых, нерешенных вопросов, используя новые экспериментальные методы и методологические подходы, чтобы лучше понять возможные биологические эффекты линий электропередач и мобильных телефонов.

Доказательства, касающиеся биологического воздействия и воздействия радиации на мобильные телефоны, противоречивы. В каждой области исследований (эпидемиология, исследования на людях-добровольцах, исследования на животных и *in vitro*) имеются как исследования, показывающие эффекты, так и исследования, не показывающие влияния излучения мобильного телефона. При рассмотрении только огромного количества опубликованных исследований, количество исследований без эффекта больше, чем количество исследований, которые показывают эффект. Это обычно называют «весомостью доказательств», указывающей на безрезультатный результат, как преобладающим. Этот аргумент часто используется в качестве доказательства, указывающего, что нет никаких последствий для здоровья ниже существующих пределов стандарта безопасности.

Однако при оценке надежности существующих стандартов безопасности нам необходимо учитывать не только уже имеющиеся научные доказательства. Нам также необходимо рассмотреть «недостающие» доказательства. Это означает, что нам необходимо определить, какие важные исследования, связанные со здоровьем, еще не проводились, и, следовательно, какие важные доказательства, связанные со здоровьем, нам не хватает. Только при рассмотрении как имеющихся, так и недостающих доказательств мы можем более надежно судить о надежности действующих стандартов безопасности.

Подавляющее большинство научных исследований, посвященных изучению биологического воздействия и воздействия радиации на мобильные телефоны, было сосредоточено на возможности индукции рака. В

то же время продолжается дискуссия о том, может ли излучение мобильного телефона вызывать эффекты, которые, хотя и не могут перерасти в угрожающее жизни заболевание, могут нанести ущерб качеству жизни. Эти не угрожающие жизни эффекты могут включать такие заболевания, как нарушения сна, головные боли или симптомы, подобные аллергии. Поэтому, независимо от их результатов, большинство выполненных на сегодняшний день исследований предоставляют информацию о раке и не могут дать излучению мобильного телефона «чистый счет здоровья», показывая, что воздействие этого излучения не связано ни с каким другим, не связанный с раком, риск для здоровья.

Эпидемиологические исследования считаются наиболее важными в оценке риска для здоровья человека. Однако из-за их низкой чувствительности при выявлении воздействия на здоровье населения, одна эпидемиология вряд ли сможет окончательно определить, является ли слабый стимул, такой как излучение мобильного телефона, причиной рака или другого недуга.

С ростом количества приложений для мобильного интернета и последующим экспоненциальным ростом беспроводного трафика данных потребление энергии сотовыми сетями быстро привлекло внимание всего телекоммуникационного сообщества: промышленников, операторов, ученых и государственных учреждений. Одним из первых предпринятых действий было наблюдение и понимание того, где и каким сотовым оборудованием потребляется энергия. Несколько исследований были проведены параллельно (например, [22–26]), и хотя цифры могут немного отличаться, все приходят к одному и тому же выводу: независимо от того, какая технология используется (UMTS, HSPA и LTE), основная часть энергии (~50–60%) мобильной сети используется сетью радиодоступа (RAN) и, в частности, набором базовых станций, за которыми следует базовая сеть (~30%) и центры обработки данных (~10%). Влияние базовых станций обусловлено



сочетанием потребляемой мощности самого оборудования (до 1500 Вт для современной макробазовой станции), умноженным на количество развернутых сайтов в коммерческой сети (например, более 12000 в Великобритании для одного оператора [30]). Таким образом, чтобы эффективно повысить энергоэффективность будущих мобильных сетей, важно сосредоточить внимание на базовой станции.

«Электромагнитные поля в рейтинге физических факторов, воздействующих на жителей селитебных территорий, занимают четвертое место. Основными источникам ЭМИ радиочастотного диапазона являются радиотехнические объекты связи, радио-телевещания и радионавигации. Число передающих объектов связи стремительно растет, что в первую очередь обусловлено развитием систем мобильной связи, включающей увеличение количества передатчиков (БС), а также реконструкцию имеющихся объектов в целях внедрения систем коммуникаций третьего (3G) и четвертого (4G) поколений. Судя по официальным данным, в последнее время существенно увеличилось числа измерений электромагнитных полей при обследовании радиотехнических объектов связи. Так, например, в 2008 г. в целом по России было проведено около 282 тысяч таких измерений, в 2012 г. – более 720 тысяч.» [21]

Как уже говорилось, на рынке существует широкий набор БС, различающихся по размеру (то есть излучаемой мощности), стратегии пространственного повторного использования (секторизации), поддерживаемым несущим и технологиям, и внутренней архитектуре.

Что касается излучаемой радиочастотной мощности, базовые станции часто классифицируются на большие ячейки (макро- и микро базовые станции), обычно развертываемые на больших высотах, например, на крышах зданий или телекоммуникационных вышках, и небольшие ячейки (пико- и фемто- базовые станции), развернутые на уровне земли (например, дома или уличных фонарей).

Макро базовые станции развертываются для обеспечения покрытия на широких территориях, от нескольких сотен метров до нескольких километров, в зависимости от среды развертывания (например, городские или сельские районы), в то время как микро-устройства обычно используются в городских условиях для заполнения небольших участков (несколько сотен метров). Или для обеспечения дополнительной вместимости в стесненных условиях (например, на стадионе и в крупных торговых центрах). Пикобазовые станции могут обслуживать очень ограниченное количество пользователей (максимум 10–20) на коротких расстояниях (несколько десятков метров, максимум ~150 м), тогда как фемтосоты обычно развертываются в помещениях / внутри помещений, обслуживая меньше чем 10 пользователей.

Архитектура больших ячеек определяется техническими характеристиками (например, излучаемая мощность, число активных пользователей в параллельном режиме, схемы с множеством антенн), что приводит к относительно большому и дорогостоящему оборудованию. Из-за высокой излучаемой радиочастотной мощности требования к усилителям мощности очень сложны для удовлетворения; высокая мощность в большой области линейности (особенно в случае систем мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов с высоким коэффициентом амплитуды) требует компонентов высшего класса для уменьшения коэффициента амплитуды. Даже если существуют некоторые альтернативы, (многоступенчатые) супергетеродинные архитектуры являются согласованным выбором для трансивера. В современных больших ячейках цифровая часть обычно строится вокруг нескольких компонентов или даже карт, приспособленных для конкретных задач, такие как аппаратные ускорители и для цифровой обработки и шифрования, а также более общие процессоры и карты для управления и верхних уровней. Тем не менее, новые архитектуры имеют тенденцию переходить к системно-чиповым решениям,

объединяя все функции в единый компонент. Высокая излучаемая мощность также приводит к высокой потребляемой мощности и, следовательно, к высоким температурам для рассеивания, что требует дорогих (и потребляющих энергию) систем охлаждения, таких как кондиционирование воздуха или, по крайней мере, циркуляция свободного воздуха на основе вентилятора (в микроэлементах). Большие соты могут поддерживать сложные схемы многоантенного разнесения. Это подразумевает 2, 4 или более антенн на радиоголовку. Поскольку антенны больших ячеек обычно устанавливаются на больших высотах, обычно используется фидерный кабель для их подключения к узлу БС.

Архитектура маленьких ячеек в основном определяется размером и стоимостью; поскольку условия работы более просты (ограниченные диапазоны мощности РЧ), усилители мощности часто проще, дешевле и менее эффективны, чем в случае больших ячеек, и, как правило, не требуют какой-либо предварительной обработки линеаризации (и, таким образом, отсутствие обратной связи в РЧ), Приемопередатчики основаны на простых решениях прямого преобразования, таких как нулевая РЧ. Решения «система на кристалле» обычно используются для цифровой части, объединяя все компоненты. Охлаждение осуществляется небольшими вентиляторами свободного воздуха или простым пассивным рассеиванием в самых маленьких приборах (фемтосотах). Малые соты имеют очень ограниченное количество антенн: одну или максимум две. Поскольку базовая станция и антенна расположены рядом, соединение антенны обычно является переключкой без потерь,

В число задач нашей работы входит на примере одного из районов крупного города оценить экологическую ситуацию и возможные риски для здоровья от электромагнитных полей БС. Подобные исследования сегодня не являются редкими, однако носят в большей степени статистический или информирующий характер.

При этом мы отметили, что в существующих исследованиях упускается из виду такой важнейший аспект, как возможность минимизации на их основе прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские и сельские территории. Поэтому мы ставим дополнительную задачу по моделированию рисков и исследованию их корреляции с теми или иными корректирующими воздействиями с точки зрения энергопотребления БС.

Очевидно, что для снижения энергопотребления крупных ячеек (макро и микро) усилия по улучшению должны быть сосредоточены на усилителе мощности и цифровой обработке сигналов. Для базовых макростанций также очень важны усилия по совершенствованию методов рассеивания тепла и охлаждения с амбициозной целью замены кондиционера с высокой потребляемой мощностью на более экологичные системы на базе вентиляторов.

На небольших базовых станциях (пико и фемто) распределение энергопотребления радикально отличается. Цифровая обработка становится наиболее потребляющим блоком (40–50%), за которым следует усилитель мощности (20–25%). Блок питания (блок питания) составляет около 20%, а оставшиеся 10–15% потребляются в аналоговой части. Охлаждение (пассивное) не влияет на перераспределение энергопотребления. Чтобы снизить энергопотребление небольших ячеек, усилия должны быть направлены на снижение воздействия и, в меньшей степени, ЭМИ. Блок питания также требует внимательного инжиниринга. Однако основная проблема связана с тем фактом, что небольшие ячейки подвергаются сильному ценовому давлению, что делает невозможным использование высококачественных высокоэффективных компонентов.

Используемые в настоящее время стандарты безопасности вполне могут защитить большинство пользователей мобильных телефонов. Однако, вероятно, существует группа людей с различной чувствительностью к

излучению мобильного телефона (не стоит путать ее с так называемой самодиагностируемой ложной электромагнитной гиперчувствительностью). Известно, что из-за генетической изменчивости среди людей одни и те же физические или химические агенты (лекарства, радиация, химические вещества, аллергены и т.д.) могут вызывать реакции различной степени тяжести у разных людей - так называемую индивидуальную чувствительность. Выявление такой чувствительной субпопуляции и определение ее может быть возможно только путем изучения реакции молекулярного уровня на это излучение, что явно выходит за рамки нашего исследования.

Нам по-прежнему не хватает некоторой базовой информации, необходимой для определения того, может ли излучение мобильного телефона быть опасным для человека, и соответствуют ли наши стандарты безопасности - мы не знаем, реагирует ли человеческое тело вообще на излучение мобильного телефона. Если ответ «да», то: являются ли дети более чувствительными, чем взрослые, и каковы могут быть последствия длительного воздействия этого излучения, когда пользователи будут подвергаться воздействию в течение всей жизни.

В отсутствие такой информации любые заявления о том, что использование мобильных телефонов было доказано безопасным, могут быть преждевременными. В конце концов, мы также должны помнить, что излучение мобильного телефона не является естественной частью человеческой среды, и эволюция не подготовила наши тела к такому воздействию.

Последние 10-20 лет – это первые годы в истории человеческого рода, когда наш мозг находится в непосредственной близости от этого, нового для них, излучения. Нынешние стандарты безопасности могут быть лучшими из того, что можно сделать, используя имеющиеся в настоящее время научные данные, и их не следует произвольно изменять без научного обоснования.

Однако эти стандарты еще недостаточно поддерживаются наукой и не могут считаться научно надежными.

Вот почему мы должны продолжать исследования в этой области. Причиной продолжения исследований является не просто наука ради науки. Причина в том, что наших научных данных недостаточно, чтобы подтвердить мнение о том, что не будет никаких последствий для здоровья и что стандарты безопасности достаточны для защиты всех пользователей. Нынешняя ситуация научной и, как следствие, технологической ситуативной неопределенности требует, как мер предосторожности, так и дальнейших исследований.

### **1.3 Анализ и постановка задачи моделирования оценки возрастания интенсивности электромагнитного излучения при установке новых базовых станций сотовой связи**

ЭМИ может поглощаться организмами, в результате чего оно вызывает ряд физиологических и функциональных изменений. Многие сложные электрические действия происходят в центральной нервной системе, в том числе обучение и память, которые поэтому уязвимы для электромагнитного излучения. Более того, популяризация мобильных телефонов сделала их основным источником облучения мозга.

Были разработаны различные методы определения местоположения, которые отличаются степенью точности определения местоположения и сложностью механизмов управления, требуемых в сетях доступа и в терминалах. Различные методы объясняются следующим образом.

Cell-Id в сочетании с опережением времени.

Улучшенная наблюдаемая разница во времени (E-OTD).

Разница времени прибытия по восходящей линии связи (U-TDoA).

Вспомогательный GPS (A-GPS).

Внедрение Cell-Id и A-GPS в существующие сети GSM сравнительно просто, в то время как E-OTD и U-TDoA требуют существенных модификаций и расширений. Этот раздел посвящен Cell-Id, E-OTD и U-TDoA.

При определении границ так называемой санитарной зоны для установки БС требуется проведение измерений электромагнитного фона во многих точках, обычно они выполняются вдоль определенных трасс (маршрутов) измерений. Район, где устанавливается БС, разбивается на секторы, в каждом из которых выбирается радиальная относительно объекта, например, учреждения здравоохранения, траектория измерения. Целесообразно проводить не менее трех независимых измерений, и в качестве результата принимать максимальное из измеренных значений. Однако, подобные измерения не могут учесть возрастающее электромагнитное излучение, вызванное введением в эксплуатацию новых БС сотовой связи.

В [6] предложена «формула для оценки средней суммарной интенсивности электромагнитного излучения, создаваемого в точке наблюдения у земной поверхности всем множеством  $N$  базовых станций сотовой связи, расположенных случайно по отношению к точке наблюдения в ее окрестности, включающей зону свободного распространения радиоволн между БС и точкой наблюдения и область интерференционного распространения радиоволн между ними»:

$$Z_{\Sigma BS} \approx \frac{L_{TBS}}{2} \ln \left( \frac{6,6 \cdot H_{OP}}{\lambda} \right), \quad L_{TBS} = \rho_{BS} P_{eBS}, \quad Z_{\Sigma BS} = \sum_{i=1}^N |P_{BSi}|, \quad (1)$$

$$E_{\Sigma BS} = \sqrt{120\pi Z_{\Sigma BS}}$$

где

$Z_{\Sigma BS}$  – суммарная интенсивность электромагнитного фона, создаваемого БС в точке наблюдения, определяемая как скалярная сумма

значений плотности потока мощности  $P_{BSi}$  электромагнитных полей всех  $N$  БС в точке наблюдения;

$L_{TBS}$  – электромагнитная нагрузка на территорию, создаваемая БС в окрестности точки наблюдения;

$H_{OP}$  – высота точки наблюдения над поверхностью;

$\lambda$  – длина волны излучения БС;

$\rho_{BS}$  – средняя территориальная плотность БС в окрестности точки наблюдения;

$P_{eBS}$  – эквивалентная изотропно излучаемая мощность электромагнитного излучения БС;

$E_{\Sigma BS}$  – суммарная интенсивность электромагнитного излучения в единицах напряженности электромагнитных полей (среднеквадратическое значение)»;

$P_{BSi}$  – плотность потока мощности электромагнитных полей.

Формула (1) показывает негативный сценарий пессимистической оценки интенсивности ЭМИ в точке наблюдения при условии пиковой нагрузки в сети. Мы предлагаем использовать ее для моделирования предварительной оценки суммарной интенсивности электромагнитного излучения, создаваемого БС сотовой связи, уже расположенными на исследуемой территории, а также новыми БС, планируемыми к размещению на этой территории. Это позволит выполнить прогноз интенсивности ЭМИ после установки новых БС. Формула (1) является важным элементом модели, определяя максимальные риски. При работе с БС в первую очередь важно уяснить значение термина «местоположение». Хотя большинство людей утверждают, что они очень хорошо знакомы с концепцией местоположения, поскольку она, помимо времени, является одной из основных величин, определяющих нашу повседневную жизнь, полезно рассмотреть ее поближе и провести различие между различными категориями Информация о



местонахождении. Основное внимание уделяется концепции пространственных местоположений, которые представляются разработчикам и пользователям БС в форме координат.

По сути, термин «местоположение» связан с определенным местом в реальном мире. Когда люди назначают встречи, они обычно соглашаются встретиться в определенном месте, например, в аэропорту, баре или офисе. В других случаях они должны сообщить место своего проживания, например, для получения письменной корреспонденции или официальных распоряжений. Общим в этих примерах является то, что местоположение обозначает место объекта реального мира, и, следовательно, эти виды местоположений относятся к классу физических местоположений.

Современные сотовые сети поддерживают как терминальную, так и персональную мобильность. Основным предположением для этого является возможность установить беспроводную линию связи между терминалом и базовой станцией для переноса канала или трафика с коммутацией пакетов. Защита людей, подверженных воздействию электромагнитных полей (ЭМП), является конечной целью стандартов ЭМП, основанных на здоровье. Руководящие указания по безопасности при воздействии электромагнитных полей основаны на хорошо установленных эффектах, основанных на экспериментальных данных биологических систем, эпидемиологических и человеческих исследованиях, а также на понимании различных механизмов взаимодействия. Общие этапы разработки стандартов воздействия включают оценку большого объема научной литературы с последующим установлением пороговых уровней, выбором соответствующих факторов безопасности для различных категорий групп риска и, наконец, определением пределов воздействия. Безопасность или предел воздействия считается тем порогом, ниже которого воздействие может считаться безопасным в соответствии с имеющимися научными знаниями. Тем не менее, предел безопасности не представляет точную границу между

безопасностью и опасностью, поскольку возможный риск для здоровья человека увеличивается с увеличением уровней воздействия. Для эффективной защиты от вредных воздействий регулирующие органы, помимо установления пределов безопасности, должны включать запас безопасности, чтобы учесть неопределенность. Физика, которая управляет антеннами и радиоволнами в целом, лежит в основном в области электромагнетизма. Радиоволны - это не что иное, как переменные электрические и магнитные поля. Длина БС является функцией длины волны радиоволны, которую она излучает. Как показано диаграммой направленности излучения на рисунке 1, можно творчески расположить базовые типы антенн для решения различных задач. Монопольные и дипольные антенны образуют строительные блоки более сложных антенн, таких как направленные БС. БС - это не просто какое-то странное устройство, которое вы видите на стенах домов или на больших столбах; они являются основой сетей связи, поэтому понимание различных свойств антенн имеет решающее значение для получения полной картины радиосвязи. Есть еще так много, чтобы узнать об антеннах. В следующем разделе рассматриваются детали того, как на самом деле излучают БС, роль, которую они играют в безопасности. Как и в случае распространения радиоволн, необязательно иметь конкретную математическую основу работы антенн. Общий термин «стандарт» охватывает как руководящие принципы, так и правила. Это можно рассматривать как набор спецификаций и правил, способствующих безопасности человека или группы людей. Стандарт, способствующий защите людей, подверженных воздействию ЭМИ, можно считать стандартом ЭМИ, основанным на здоровье.

## **2 Моделирование в исследовании прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории**

### **2.1 Особенности моделирования прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории**

Сейчас мы находимся в течение нескольких лет в эре мобильной связи четвертого поколения (4G), представленной технологией LTE [28]. LTE обеспечивает более высокую эффективность и дальнейшее расширение возможностей мобильного широкополосного доступа с точки зрения более высокой достижимой скорости передачи данных конечного пользователя. Это обеспечивается посредством передачи, обеспечивающей более широкие полосы пропускания и более продвинутые технологии с несколькими антеннами. Кроме того, в то время как 3G допускает мобильную связь в непарном спектре посредством специальной технологии радиодоступа (TD-SCDMA), LTE поддерживает работу как FDD, так и TDD, то есть работу как в парных, так и в непарных спектрах, в рамках одной общей радиосвязи. технология доступа. Таким образом, с помощью LTE мир превратился в единую глобальную технологию мобильной связи, которая используется практически всеми операторами мобильных сетей и применима как к парным, так и к непарным спектрам. Позднее развитие LTE также расширило работу сетей мобильной связи в нелицензионных спектрах.

Как уже упоминалось в 1 части работы, беспроводные системы являются усовершенствованием традиционных проводных телефонных систем. Однако, в отличие от проводных систем, они страдают от низкого

качества обслуживания из-за низкой надежности линии связи, вызванной характеристиками распространения радиосреды. Кроме того, большинство характеристик беспроводной сети сильно зависят от чувствительности приемников из-за высокого спроса на услуги, от низкого количества ресурсов вызова из-за ограниченной полосы частот каждой сети и от ухудшения в потоке информационных данных, передаваемых в пределах каждого отдельного абонента. канал радиосвязи. Важными статистическими характеристиками, которые должны быть предсказаны, являются потеря пути, медленное и быстрое замирание. Это позволяет разработчикам таких сетей улучшить характеристики.

Обсуждение мобильной связи пятого поколения (5G) началось примерно в 2012 году. Во многих обсуждениях термин 5G используется для обозначения конкретной новой технологии радиодоступа 5G. Тем не менее, 5G также часто используется в гораздо более широком контексте, не просто ссылаясь на конкретную технологию радиодоступа, но скорее на широкий спектр новых услуг, которые предполагается включить в будущую мобильную связь. Важно понимать, что классификация вариантов использования 5G по этим трем отличительным классам является несколько искусственной, в первую очередь, с целью упрощения определения требований для спецификации технологии. Будет много вариантов использования, которые не вписываются точно в один из этих классов. Например, могут быть службы, которым требуется очень высокая надежность, но для которых требования к задержке не столь критичны. Точно так же могут быть случаи использования, требующие устройства с очень низкой стоимостью, но где возможность очень длительного срока службы батареи устройства может быть менее важной.

Чтобы избежать измерения статистики канала для всех операционных сред и для всех сетей при установке БС, мы предлагаем унифицированный стохастический подход для описания многолучевого радиоканала,

основанный на реальных физических явлениях, таких как множественное отражение, дифракция и рассеяние от различных непрозрачных препятствий (деревьев, холмов, домов и зданий) на селитебных территориях.

Классический анализ сотовой сети, то есть анализ вероятности работы без перегрузки вызова беспроводных сетей, использует модель Эрланга [25]. Эта модель обычно используется для расчета общей емкости системы. Это дает расчет предполагаемой мощности, которая представляет собой вероятность того, что пользователь попытается инициировать вызов, и вызов не будет выполнен. Однако эта модель оправдана только в тех случаях, когда все пользователи имеют доступ ко всем ресурсам системы (ситуация полной доступности). В беспроводных системах из-за ограничений распространения, таких как препятствия и затухание волн, пользователь имеет ограниченный доступ к системным ресурсам. Это относится к ограниченной доступности, и, следовательно,

В беспроводных системах пользователь получает услугу из от одной БС в момент времени, но ЭМИ может получать сразу от нескольких БС. Пользователь является частью группы, которая покрыта одной или несколькими БС. Если пользователь имеет необязательный доступ к более чем одной БС, система должна выделить пользователя для одной из этих ячеек, чтобы достичь оптимального качества связи, что относится к балансировке нагрузки. Правило принятия решения о распределении пользователей относится к алгоритму распределения нагрузки. Следовательно, цель оператора беспроводной системы состоит в том, чтобы развернуть систему так, чтобы качество предоставляемой услуги было максимизировано, в то время как количество БС, обслуживающих определенное количество пользователей, минимально. Фактически, некоторые исследования, которые были проведены для изучения этого типа проблемы, обнаружили строгий эффект перекрытия покрытия между

ячейками и влияние правил принятия решений о распределении пользователей [6–8].

Моделирование включает в себя два сценария. В обоих случаях имеется два радиопорта (RP); каждый с восемью каналами. В приведенном сценарии А RP2 обслуживает группу пользователей U2, а RP1 обслуживает обе группы, U1 и U2. В перекрывающемся сценарии В RP1 обслуживает группу U1 и группу U3, а RP2 обслуживает U2 и U3; зона покрытия группой U3 называется перекрытой зоной.

В обоих сценариях А и В каждый пользователь может инициировать вызов случайным образом, и, если уровень сигнала достаточно высок, он может запросить выделение канала. Здесь ясно, что если эффект замирания является высоким, то есть принимается низкий сигнал, то происходит ухудшение качества обслуживания. Если пользователь находится в области перекрытия, решение о том, какой RP ему выделить, принимают следующие алгоритмы балансировки нагрузки [7]:

- случайный - пользователь выбирает случайным образом один RP;
- лучшая сила сигнала - пользователь выбирает RP, полученный с самой высокой силой сигнала;
- контролируемая нагрузка - пользователь выбирает RP, который имеет менее занятые каналы.

Целью нашего моделирования, представленного в следующем разделе, является демонстрация уменьшения ЭМИ как эффекта замирания или алгоритма балансировки нагрузки.

Сегодняшняя человеческая среда - на работе, дома, в школе и в играх - содержит все большее количество электронных устройств. В последние годы становится все более очевидным, что многие из этих устройств мешают друг другу и в противном случае загрязняют окружающую среду. Они делают это, излучая электромагнитную энергию. Некоторые электронные устройства предназначены для связи друг с другом, излучая электромагнитную энергию.

Тем не менее, подавляющее большинство электронных устройств не предназначены для излучения, но они очень часто излучают. Эти устройства заполняют окружающую среду в быстро растущих количествах, и в то же время их способность излучать электромагнитную энергию также быстро увеличивается.

Непреднамеренное электромагнитное излучение является важной инженерной проблемой, а также значительной социальной проблемой по многим причинам. Причины можно объединить в три основные категории. Непреднамеренное электромагнитное излучение от многих электронных устройств часто мешает нормальной работе других этих устройств.

Предполагается, что продолжительное воздействие на организм человека относительно низких уровней электромагнитного излучения вредно, но его долгосрочные последствия еще недостаточно изучены. И все больше и больше государственных учреждений во всем мире накладывают ограничения на непреднамеренные электромагнитные излучения.

Таким образом, продолжение дизайна и производство электронного оборудования без конструирования, его не излучающего является нецелесообразным и безответственным.

## **2.2 Построение модели воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории**

Электромагнитная нагрузка оценивалась по результатам регистрации плотности потока энергии от исследуемых БС в соответствии с МУК 4.3.1677-03 и СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03, от Wi-Fi роутеров в соответствии с СанПиНом 2.1.8/2.2.4.1383-03, от МТ в соответствии с СанПиНом 2.1.8/2.2.4.1190-03. Объектами исследования стали Wi-Fi роутеры: ASUS

(режим прием/передача), D-Link (неактивный режим); мобильные телефоны марки Apple и Sony (режим приема), базовые станции сотовой связи.

Оператор сотовой связи предоставляет ситуационный план с отметкой места установки БС, расчеты уровня электромагнитных полей на прилегающей к базовой станции территории с указанием границ санитарно-защитных зон, зон ограничения застройки, диаграммы направленности антенн.

При эксплуатации БС аккредитованными лабораториями проводятся измерения фактической интенсивности электромагнитных полей в зоне влияния базовой станции, подтверждающие безопасные уровни воздействия объекта на среду обитания и здоровье человека.

Для каждого отдельного сценария, с перекрытием или ограничением, и алгоритма мы разделили различное количество пользователей, которые имеют статистику вызовов по распределению Пуассона, со средним временем вызова 4 минуты, чтобы измерить вероятность пропущенных звонков (блокировка звонков). Можно измерить одинаковые результаты с учетом эффекта затухания и без него.

Мы представим некоторые конкретные примеры сотовой системы, расположенной на селитебной территории в смешанном жилом районе, чтобы показать загрузку влияние на каждую ячейку, построенную в соответствии с перекрывающимся сценарием. Мы используем следующую конфигурацию области тестирования:

- две ячейки, расположенные на расстоянии 1 км;
- количество пользователей 128;
- среднее время прибытия 60 минут;
- среднее время удержания 4 минуты;
- правило принятия решения является случайным с вероятностью принятия решения = 35%.

Основные результаты исследования следующие.



1. Уровень электромагнитной нагрузки ППЭ от передающих радиотехнических объектов (Wi-Fi роутеров) в режиме (прием\передача и неактивном) на нормируемом для измерения расстоянии 150 см не превышает ПДУ по максимальным и средним показателям.

2. Уровень электромагнитной нагрузки ППЭ от мобильных телефонов марки Apple и Sony (режим приема) на нормируемом для измерения расстоянии 37 см не превышает ПДУ по средним величинам, в то время как максимальные показатели превышали установленные нормативы.

3. Уровень электромагнитной нагрузки ППЭ от исследуемых передающих радиотехнических объектов (базовых станций сотовой связи и Wi-Fi роутеров) соответствует нормативным требованиям.

Сущность, основные принципы и причины возникновения рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории, определяют актуальность выбранной темы исследования.

В качестве метода моделирования использовано имитационное компьютерное моделирование. Чтобы организовать эффективное разделение тестируемой застроенной площади селитебной территории в ячейках между БС, проектировщикам нужна строгая информация о снижении мощности сигнала для конкретной ситуации на рассматриваемой площадке. В частности, они нуждаются в строгом анализе бюджета линии связи для ситуации распространения внутри каждого канала связи, а также полного радиопокрытия каждого абонента, находящегося в условиях прямой видимости или отсутствия прямой видимости в зонах услуги, давая точное разрешение между абонентами в каждой ячейке. На основе точного знания явлений распространения внутри каналов сотовой связи легко оптимизировать характеристики сотовой связи, такие как радиус ячейки, коэффициент повторного использования, параметр помех в совмещенном канале и так далее.

Можно сделать вывод, что наилучший зазор между каждой БС и любым абонентом внутри селитебной территории определяет минимальный радиус конкретной ячейки. Явления распространения волн в городских условиях с обеими антеннами описаны с использованием двух физико-статистических моделей, уличного волновода и многопараметрического стохастика.

Фактически, все вычислительные модели, используемые в электромагнитно-термической дозиметрии, страдают серьезными недостатками, относящимися к неопределенности во входных данных, распространяемых на интересующий отклик, такой как SAR, или к повышению температуры из-за воздействия ВЧ. В последние несколько лет некоторые детерминированные модели сопровождались стохастическим анализом, чтобы частично преодолеть эти трудности. Кроме того, вместо использования надежного метода Монте-Карло с довольно медленной скоростью сходимости, реализация метода стохастической коллокации была описана в некоторых публикациях, например, [27], из-за его неинтрузивной природы и многочлена представление стохастического выхода, что значительно сокращает количество симуляций.

Тем не менее, стохастическое моделирование выходит за рамки этой книги, но, вероятно, систематически рассматривается авторами в следующих публикациях. Заинтересованный читатель может найти обзор и описание стохастических методов, применяемых для оценки воздействия на человека радиочастотных полей, в [28].

Когда обе БС размещаются на селитебной территории с высокой плотностью неравномерно распределенных зданий, закон затухания мощности сигнала изменяется с расстоянием между антеннами.

В случае населенных пунктов с неравномерно распределенными зданиями, расположенными на пересеченной местности, состоящей из холмов, деревьев и других препятствий, расположенных в жилых зонах,

размер ячейки можно получить с помощью вероятностного подхода, представленного в формуле 1, в соответствии с многопараметрической стохастической моделью. Как следует из этого подхода, среднее расстояние прямой видимости между двумя произвольными точками, источником и наблюдателем и есть рассматриваемое расстояние между БС.

Принимая во внимание явления затухания, мы также можем оценить максимальный радиус безопасного размещения БС на основе определения коэффициента Рика и соответствующей оценки этого параметра, представленной в разделе 1. Таким образом, для измерения, проведенного на селитебной территории в смешанной жилой зоне, и результатов расчета коэффициента К для  $f = 900$  МГц, критерии использования максимального радиуса размещения могут быть определены по максимальному значению К в зависимости от расстояния.

Из модели этот радиус можно оценить, как около 1–1,2 км, тогда как для тех же условий формула 1 дает для минимального радиуса ячейки значение 570 м. Те же самые вычисления, сделанные для селитебной территории (район пересечения улиц Фрунзе и Юбилейная г.о. Тольятти), позволяют нам оценить максимальный радиус ячейки около 370–400 м. Принимая во внимание, что для тех же условий оценочное значение минимального радиуса составило всего 170–180 м, реальные эксперименты, проведенные в обеих моделях, показали, что стабильная связь между БС и любым пользователем, находящимся в зоне обслуживания, может быть достигнута для смешанной зоны до 1 км и для тестируемой городской зоны на расстоянии около 400–550 м.

Мы заметили, что тестируемый район является низкоплотным районом с малоэтажными зданиями. Эти оценки еще раз показывают, что с использованием предложенного стохастического подхода с определениями минимального радиуса ячейки и максимального радиуса ячейки по К-параметру мы можем априори предсказать радиус ячейки области, в которой

может быть достигнута стабильная связь между пользователями и антенной БС и безопасный уровень ЭМИ.

ЭМИ заботит мобильных пользователей во всем мире. Время от времени в средствах массовой информации идут горячие споры, но часто это эмоциональные дискуссии, и в исследованиях мы должны быть нейтральными и объективными.

Прежде всего, мы должны принять и уважать, что это на самом деле беспокоит пользователей. Необходимо соблюдать любые действующие стандарты и руководящие принципы, которые применяются в регионе, и убедиться, что базовые станции сотовой связи, которые проектируются и внедряются, соответствуют утвержденным нормам в стране. В разных регионах используются разные стандарты и правила, и эти правила со временем меняются.

### **3 Решение минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)**

#### **3.1 Анализ пула данных модели воздействия прямых и косвенных рисков, вызванных электромагнитным излучением базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)**

Новые загрязнители окружающей среды влияют на окружающую среду и жизнь человека наряду с развитием технологий. Одним из таких загрязнителей является электромагнитное поле. Основные данные, включая географическое местоположение БС в городе, марку, тип оператора, установку и ее высоту, были получены из офиса радиосвязи, а затем измерения были выполнены в соответствии со стандартом IEEE STD 95. 1 с помощью SPECTRAN 4060 [11]. Статистический анализ был выполнен с использованием критерия Колмогорова-Смирнова и метода множественной регрессии.

В данной магистерской диссертации, антенны БС с частотой 900-1800 МГц предполагаются в качестве основных источников электромагнитного поля в городском округе Тольятти. Необходимые данные, такие как количество и местоположение БС, были собраны и упорядочены по типу оператора, марке и техническим характеристикам, полученным от Управление Росздравнадзора по Самарской области, Управления по охране окружающей среды, из открытых источников и т.д. Собранные данные были дополнены двойной статистической проверкой.

Следует добавить, что из-за размера, необходимого для создания дальнего поля для антенн этого типа, использовались методы ближнего поля,

которые позволяют измерять поле на поверхности, более близкой к антенне. Эффективное поле вокруг антенны ( $R_{\text{eff}}$ ) оценивалось по приведенному ниже уравнению:

$$R_{\text{eff}} = 2D^2 \cdot Y \quad (2)$$

где:

$D$  - самое длинное линейное расстояние антенны (1,8 м),

$Y$  - длина волны (0,33 м).

Используя приведенное выше уравнение, эффективное дальнее поле вокруг антенны начинается с 20 м, поэтому любые расстояния между реактивным ближним полем (равным длине волны 0,33 м) и дальним полем (20 м) могут использоваться для точных измерений при излучении ближнего поля.

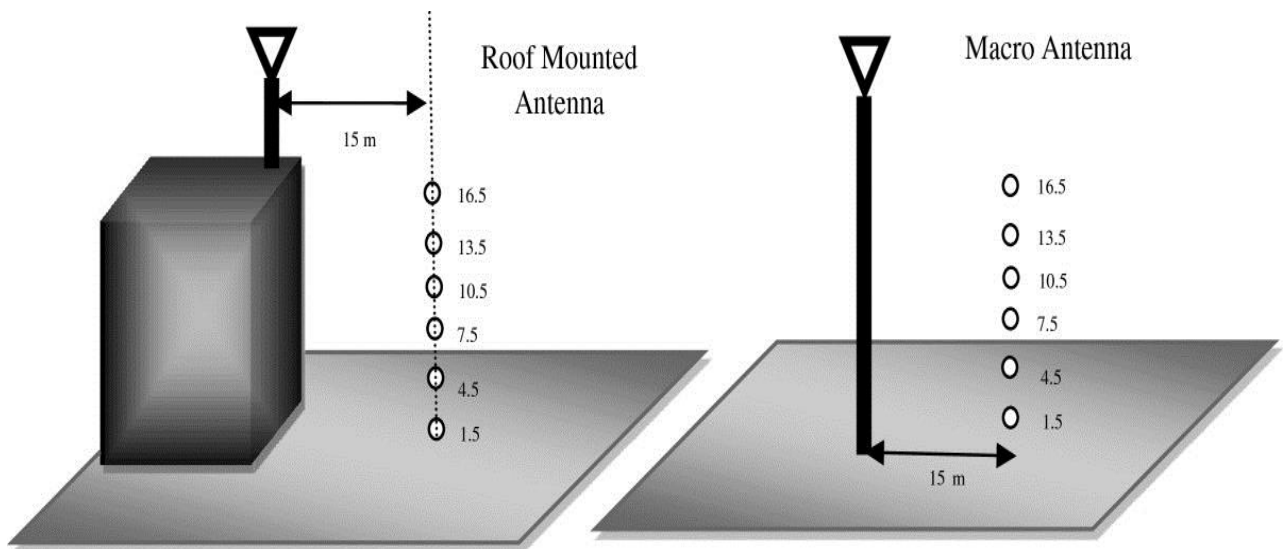


Рисунок 2 - Вертикальные точки измерения вокруг БС

В этом случае измеряли плотность мощности микроволн на высоте 1,5, 4,5, 7,5, 10,5, 13,5 и 16,5 м при горизонтальном расстоянии 15 м от

центральной линии антенны (рисунок 2). Затем собранные данные были проанализированы с помощью программного обеспечения Excel.

В г.о. Тольятти имеется 370 БС. Также изучаются два типа установок, включая макроантенну и антенну на крыше. Из 370 изученных антенн 116 представляют собой макроантенну с 3 различными высотами (25, 30 и 40 м), а остальные являются антеннами на крыше с 3 различными общими высотами (20, 25 и 30 м). Кроме того, все антенны изготовлены компанией Nokia. Тип оператора сам по себе не может быть существенным фактором, определяющим плотность микроволновой мощности вокруг антенны, если только тип марки, энергопотребление и коэффициент усиления не различаются. Поскольку изготовитель и перечисленные характеристики всех антенн идентичны, нет принципиальных отличий между антеннами разных операторов. В этом случае все имеют одинаковый уровень ЭМИ, одинаковую марку и мощность. Следовательно, эффективными факторами могут быть высота антенны и транспортная нагрузка. На рисунках 3 и 4 приведена схема расположения БС в городском округе Тольятти [9].

Антенна - это структура, которая состоит из материальных тел, которые могут состоять из проводящих или диэлектрических материалов, или могут быть комбинацией обоих. Такая структура должна быть согласована с источником электромагнитной энергии, чтобы она могла эффективно излучать или принимать электромагнитное поле. Интересным явлением является то, что антенна проявляет свойства селективности не только в частотной области, но и в космической области. В частотной области антенна способна отображать явление внешнего резонанса, когда на определенной частоте индуцированная на ней плотность тока может быть достаточно значительной, чтобы вызывать излучение электромагнитных полей от этой структуры. В качестве приемника электромагнитного поля антенна также действует как пространственный пробоотборник электромагнитных полей,

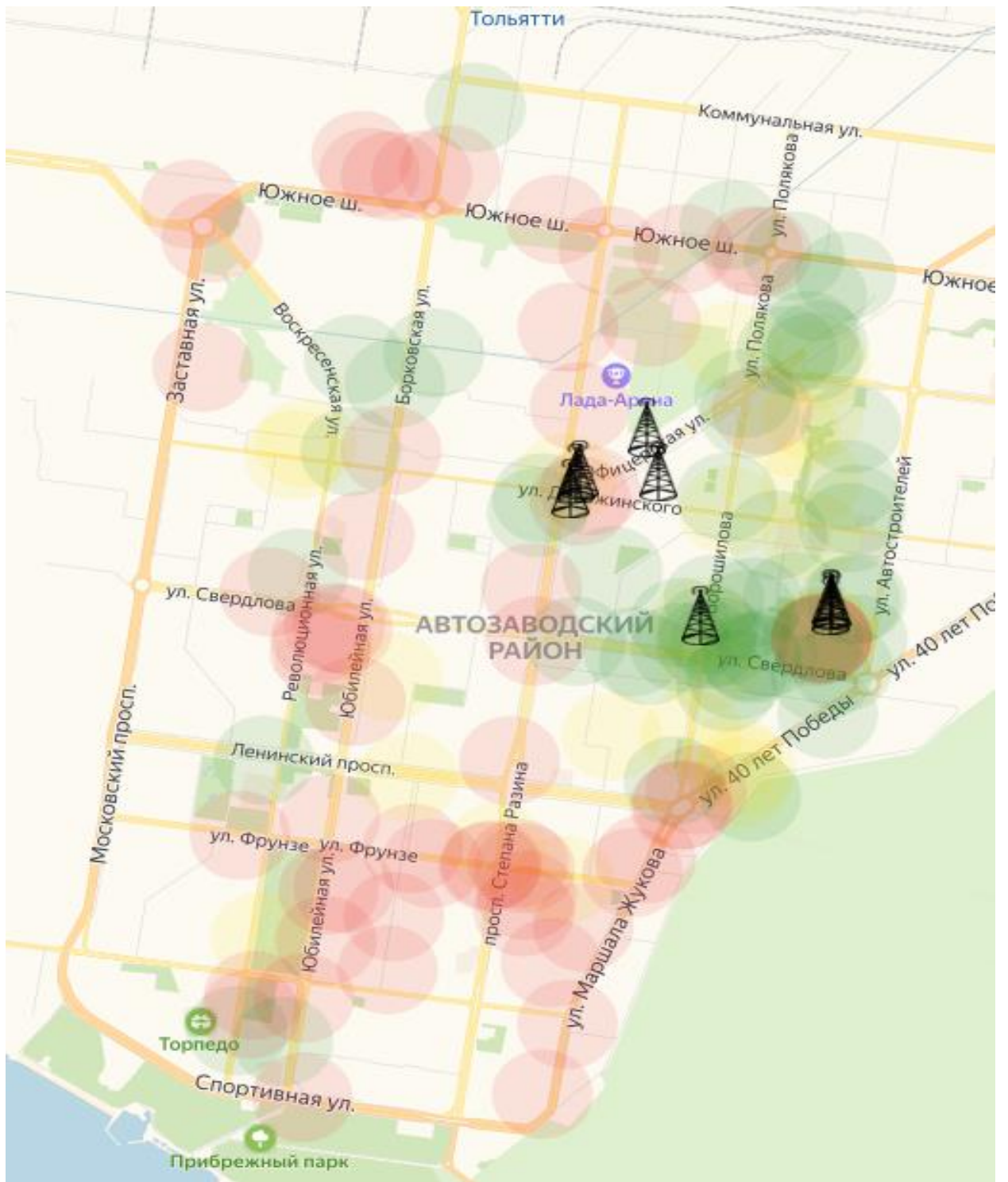


Рисунок 3 – Сотовые вышки на карте Автозаводского района г.о. Тольятти



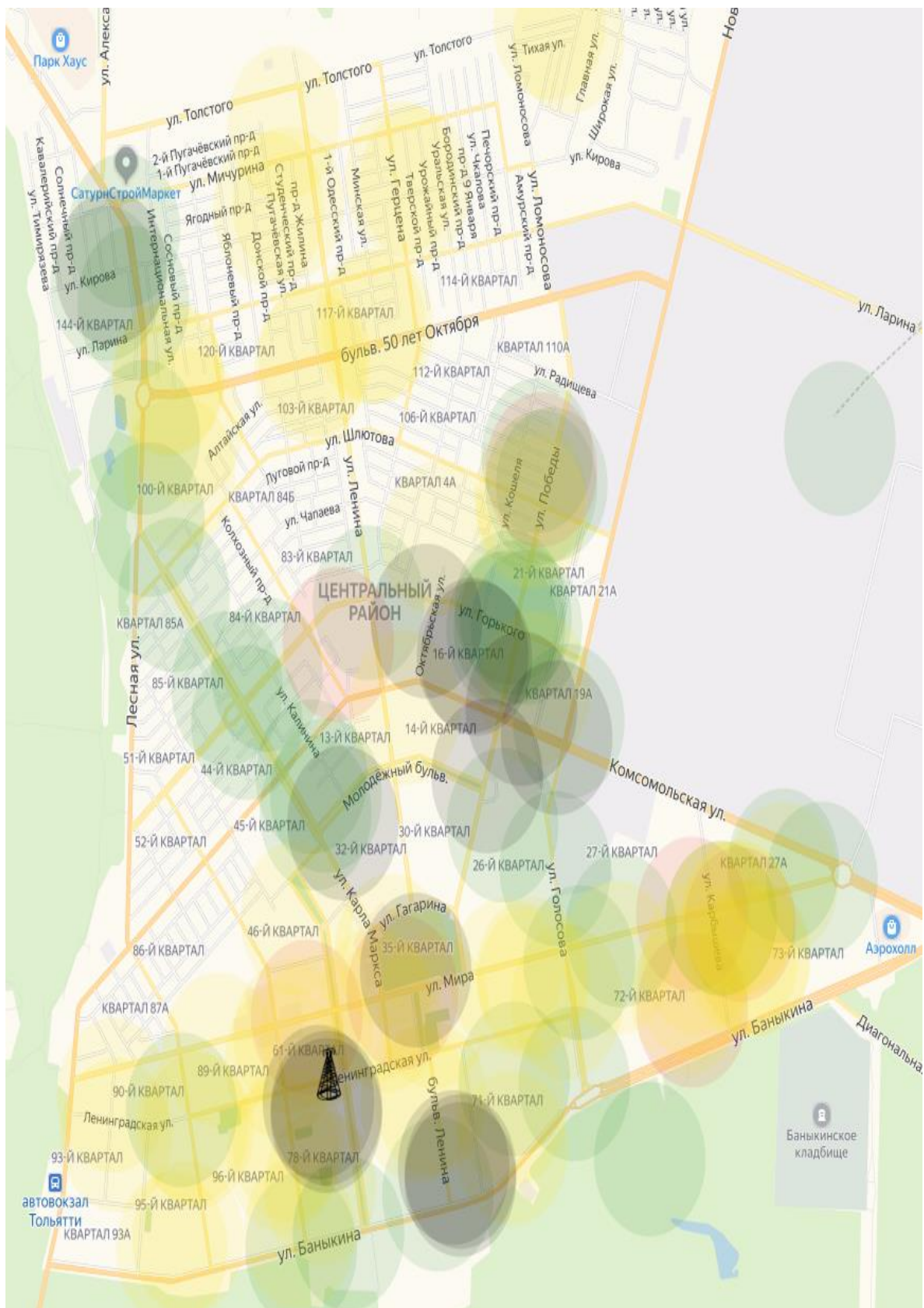


Рисунок 4 – Сотовые вышки на карте Центрального района г.о. Тольятти

распространяющихся в пространстве. Напряжение в антенне связано с поляризацией и напряженностью падающих электромагнитных полей.

В электротехнике мы получаем максимальную среднюю мощность от источника с некоторым внутренним импедансом, когда импеданс подключенной нагрузки равен комплексному сопряжению импеданса внутреннего источника. Это известно, как теорема о передаче максимальной мощности [28]. Применение этой теоремы означает, что лучшее, что мы можем сделать, - это равномерно распределить мощность источника между внутренним импедансом источника и импедансом нагрузки; эффективность такой системы составляет не более 50%. Эффективность учитывает отношение рассеянной мощности в нагрузке, деленное на мощность источника, в то время как максимальная передача мощности учитывает только величину рассеиваемой мощности. Если мы увеличим сопротивление нагрузки больше, чем внутреннее сопротивление источника, мы достигнем лучшей эффективности, однако величина рассеиваемой мощности будет меньше, поскольку общее сопротивление в цепи увеличивается. Мы попытаемся подчеркнуть этот факт в проблемах с антенной и покажем, что рассмотрение эффективности излучения более целесообразно, чем рассмотрение максимальной передачи мощности. Анализ выполняется на дипольных антеннах различной длины, чтобы показать, что принцип передачи максимальной мощности, используемый при согласовании импедансов, не является оптимальным решением с точки зрения эффективности излучающей или приемной антенны.

Чтобы рассчитать поля от антенн, необходимо знать распределение тока по длине антенны. Для этого нам нужно решить уравнения Максвелла с учетом соответствующих граничных условий вдоль антенны. При отсутствии известного тока антенны можно предположить определенное распределение тока и из этого рассчитать приблизительное распределение поля. Точность рассчитанных полей будет зависеть от того, насколько хорошо было сделано

предположение для текущего распределения. Оказывается, для тонкой линейной проводной антенны; Синусоидальное распределение тока является очень хорошим приближением (чем тоньше антенна, т.е. радиус стремится к 0). Когда требуется большая точность и для случаев, когда синусоидальное приближение нарушается (для толстых или коротких дипольных антенн, если диаметр проволоки превышает одну десятую его длины), необходимо использовать распределение, близкое к истинному.

Наименьшее количество измеренной плотности мощности составило  $0,02 \text{ мВт/м}^2$ , принадлежащее БС, установленной на крыше, на высоте 1,5 м. Самое низкое измеренное количество было результатом помех зданий, так что структура работает в качестве барьера для передачи волны и препятствует прохождению микроволн.

Другие исследования, посвященные определению помех в зданиях в потенциальной плотности, показали снижение плотности зданий в качестве барьера между антенной и точкой измерения, и все это доказало снижение плотности в результате присутствия здания в качестве источника помех [5-10]. Самый высокий зафиксированный показатель был  $25 \text{ МВт/м}^2$  на самой БС, и мы полагаем, что это было из-за отражения волн и их увеличения в точке измерения.

Настоящее исследование показало, что антенны установлены в людных местах, что оказывает сильное влияние на воздействие опасных волн.

С другой стороны, операторные переменные и вертикальное расстояние были включены в регрессионную модель. Поскольку распространение электромагнитных волн не имеет нормального распределения, его необходимо статически нормировать. Приведенное ниже уравнение регрессии было результатом анализа, в котором вертикальное расстояние и тип оператора оказали значительное влияние на логарифм плотности мощности и составили 60% его вариаций ( $R_2 = \% 60$ ).

$$\text{Power Density (mw/m}^2\text{)} = 10^{X+0.175 \times (\text{measuring height})} \quad (3)$$

где

X - это переменная, которая учитывает тип оператора, в этом случае, если он является значимым фактором.

Поскольку сообщается о максимальной плотности антенн БС на самом высоком и ближайшем вертикальном расстоянии от антенны, рекомендуется не устанавливать антенны вблизи высоких зданий. Исследование также доказало, что антенны БС нуждаются в серьезных мерах предосторожности из-за высокого излучения микроволн, излучаемых в общественных местах.

МКЗНИ введены два уровня ограничений [12], рассмотрим их далее. Основные ограничения модели следующие.

Параметр, который легко измерить вне тела человека, это плотность потока энергии в воздухе. Для практической оценки воздействия, например, при проведении санитарно-гигиенического контроля, введены контролируемые уровни.

Контролируемые уровни – это ограничения, которые нами были введены для практической оценки воздействия и позволяют определить его соответствие основным ограничениям. Контролируемые уровни были получены из соответствующих основных ограничений с использованием расчетных или инструментальных методов, либо были получены с учетом чувствительности человека к воздействию (например, к току прикосновения) и неблагоприятных эффектов косвенного воздействия ЭМИ.

В ситуации, характеризующейся воздействием ЭМИ на человека, измеренные или рассчитанные значения указанных физических величин сопоставляют с соответствующими контролируемыми уровнями. Соответствие с контролируемыми уровнями гарантирует соответствие с основными ограничениями. Если измеренное или расчетное значение превышает значение контролируемого уровня, это не всегда означает, что

основное ограничение будет превышено. Однако в случае, если значение контролируемого уровня будет превышено, необходимо проверить соответствие с основными ограничениями и оценить необходимость введения дополнительных защитных мер.

«Установлены три основных механизма взаимодействия переменных электрических и магнитных полей с живой материей» [12]:

- с низкочастотными электрическими полями;
- с низкочастотными магнитными полями;
- поглощение энергии ЭМП.

Нелинейная регрессия является мощным статистическим инструментом, редко встречающимся в традиционных учебниках по статистике. Нелинейная регрессия - это не только практически важный метод, но и важный пример реальной статистической модели, в которой классическая теория несмещенной оценки и достаточной статистики не работает. Несомненно, линейная модель является лидером среди статистических методов, когда дело доходит до моделирования отношений между переменными. Однако иногда связь не является линейной, например, когда ответ имеет сигмовидную форму - тогда должна применяться нелинейная регрессия. В отличие от линейной регрессии, нелинейная регрессия представляет собой сложную статистическую модель, в которой трудно исследовать свойства малых выборок - здесь мы полагаемся на асимптотические свойства. Основным методом оценки является нелинейный метод наименьших квадратов, который, в отличие от линейных наименьших квадратов, требует итераций. Численные проблемы возникли в модели нелинейной регрессии при расчете схемы расположения БС: нахождение удовлетворительного начального значения, существование решения нелинейных наименьших квадратов, кратные локальные минимумы для остаточной суммы квадратов.

Технология стала неотъемлемой частью нашей жизни, пронизывая все аспекты нашего повседневного существования. С сегодняшней точки зрения было бы очень трудно представить нашу жизнь без технологий. В основе этой вездесущей технологии лежит невидимая движущая сила, созданная в результате овладения человечеством законами электричества и магнетизма. Однако эта огромная сила, которой наделено человечество, не обходится без цены.

Использование электричества неизбежно приводит к генерации электрических и магнитных полей. В 21-м веке возникновение электрических, магнитных и электромагнитных полей в окружающей среде из-за огромного роста электрических сетей, радио- и телевизионных станций, радаров, базовых станций, мобильных телефонов, многочисленных бытовых приборов и приборов на рабочих местах значительно возросло. Представляется, что нынешний век демонстрирует дальнейшее развитие этой тенденции.

Тем не менее, по-прежнему существует обеспокоенность общественности в отношении возможных неблагоприятных последствий для здоровья из-за воздействия на эти поля человека, в частности, воздействия высоковольтных линий электропередач и излучения от вышек базовой станции и мобильных телефонов.

Наличие электромагнитных полей в окружающей среде и их опасность для человека представляет собой противоречивую научную, техническую и, чаще всего, общественную проблему. Электромагнитные поля являются продуктом технологии, которая должна использоваться в повседневной жизни, несмотря на неизвестный риск.

Сегодня основными причинами беспокойства являются антенны базовых станций, мобильные телефоны и другое оборудование беспроводной связи. В частности, идея воздействия на здоровье мобильных телефонов находится в центре внимания исследований в этой области.

Отправной точкой любого анализа возможного риска для здоровья является дозиметрия падающего поля, включая оценку падающих полей, генерируемых различными электромагнитными источниками, и дозиметрия внутреннего поля, включающая различные методы определения внутреннего электромагнитного поля [21, 22] ,

Оценка любого риска для здоровья, вызванного воздействием электромагнитных полей, основывается на результатах хорошо зарекомендовавших себя исследований, основанных на экспериментальных данных биологических систем, эпидемиологических и человеческих исследованиях, а также на понимании различных механизмов взаимодействия.

К сожалению, информация, предоставляющая общественности удовлетворительное понимание воздействия электромагнитных полей и связанного с этим эффекта, все еще редко доступна. Исследование воздействия электромагнитных полей включает в себя несколько аспектов электромагнитных полей, таких как биологическая, медицинская, биохимическая, эпидемиологическая, экологическая, оценка риска и политика здравоохранения. Единственный подходящий подход - принять во внимание все вышеперечисленные аспекты

### **3.2. Информационные технологии как инструмент оценки прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)**

Для антенных систем необходимо учитывать эффективность излучения или максимальное преобразование мощности источника в нагрузку. Также обратите внимание, что антенна является излучателем полей, которые возбуждаются источником напряжения. В антенной системе цель должна

состоять в том, чтобы повысить эффективность излучения антенны и НЕ сосредоточиться на максимальной передаче мощности, как это делается в простых бытовых приборах, где целью является повышение эффективности, а не максимальная передача мощности. Если бы отрасль приборов стремилась максимизировать передачу мощности, она достигла бы эффективности всего лишь 50%, при этом половина мощности терялась бы (терялась), потому что она не поглощалась требуемой нагрузкой и эквивалентна величине, излучаемой антенной. Поэтому необходимо обращать внимание на эффективность передачи энергии или энергии, а не на максимальную передачу мощности.

Наилучшая нагрузка с точки зрения эффективности не такая, как в случае максимальной передачи мощности. Этот принцип достижения максимальной эффективности может привести к изменению нашего представления о том, что согласование максимальной передачи мощности является оптимальным решением во всех случаях. Кажется, что мы можем придумать более простые процедуры сопоставления, которые дадут лучшие показатели эффективности.

Далее мы формулируем выходную мощность на стороне нагрузки, а также оцениваем эффективность системы. Кроме того, приведено краткое сравнение, в результате которого сделаны некоторые конкретные выводы. Также мы приводим пример применения концепции эффективности к проблемам антенн, где мы показываем, что обычный способ согласования комплексных сопряженных сигналов не является наилучшей процедурой, которой нужно следовать, вместо этого достижение высокой эффективности является целью.

Электромагнитное загрязнение территории района мы оценивали на основе базовых данных о плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитного излучения. Расчет ППЭ ЭМИ выполнен на основе методических указаний и при непосредственном использовании



Программного комплекса анализа электромагнитной обстановки (ПК АЭМО).

Разработчиком ПК АЭМО является Самарское отделение научно-исследовательского института радио. ПК АЭМО имеет Свидетельство Федеральной службы по надзору № 2 от 12.12.2006 г. о пригодности к использованию в органах и организациях Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

С помощью этого программного комплекса произведены расчеты и визуализация пространственного распределения ППЭ ЭМИ для базовых станций сотовой связи.

Расчет выполнен для трех высот – 2, 15 и 30 м от поверхности земли. Высота 2 м избрана с целью оценки воздействия ЭМИ на население вне строений, высота 15 м – с целью оценки воздействия ЭМИ на жителей пятых этажей, 30 м – с целью оценки воздействия ЭМИ на жителей девятых этажей.

Проведенный статистический анализ характеристик ППЭ ЭМИ на высоте 2, 15 и 30 метров показал, что при значениях ППЭ более 0,1 мкВт/см<sup>2</sup> наибольшая площадь покрытия электромагнитным полем отмечается на высоте 30 (0,15 км<sup>2</sup>) и 15 (0,16 км<sup>2</sup>) метров, а на высоте 2 метра она ничтожно мала и составляет 0,0025 км<sup>2</sup>. В случае более низких значений ППЭ (0,01 – 0,1 мкВт/см<sup>2</sup>) лидерами в отношении площади покрытия ЭМИ остаются высоты 30 и 15 метров. Для высоты 30 метров площадь покрытия ЭМИ с такими значениями ППЭ составляет 4,00 км<sup>2</sup>, а для высоты 15 метров – 1,44 км<sup>2</sup>, что соответственно в 26,7 раза и в 9,0 раз больше, чем при значениях ППЭ ЭМИ более 0,1 мкВт/см<sup>2</sup>. Следует обратить внимание на то, что для уровней ППЭ 0,01 – 0,1 мкВт/см<sup>2</sup> на высоте 2 метра резко и значительно (в 400 раз) увеличивается покрытие электромагнитным полем рассматриваемой территории, площадь которого составляет 0,71 км<sup>2</sup>. Что касается ППЭ, значения которой лежат в диапазоне 0,001 – 0,01 мкВт/см<sup>2</sup>, то в данном случае наблюдается смена лидера в отношении площади покрытия

электромагнитным полем. Для этих значений ППЭ первое место по площади покрытия ЭМИ занимает высота 2 метра (3,8 км<sup>2</sup>), второе – 15 метров (3,4 км<sup>2</sup>), а третье – 30 метров (2,95 км<sup>2</sup>).

Распределение плотности потока энергии электромагнитного поля на территории Автозаводского района городского округа Тольятти на высоте 2 м и 15 м.

С увеличением высоты число участков со значительным уровнем ЭМИ заметно растет. Так, на высоте 15 метров отмечаются уже большие по площади территории, где ППЭ более 5 мкВт/см<sup>2</sup> (в районе пересечения Революционной улицы и улицы Фрунзе) или равна 3 мкВт/см<sup>2</sup> (Ленинский проспект).

На высоте 30 метров характер распределении ППЭ по территории Автозаводского района городского округа Тольятти близок к тому, что получено для высоты 15 метров. Высокие уровни ППЭ (до 3,6 мкВт/см<sup>2</sup>) типичны для восточной части района, в то время как на западной его части максимальные значения ППЭ не превышают 0,1 мкВт/см<sup>2</sup>.

Выполнен анализ результатов исследований по теме магистерской диссертации. Результаты показали, что у операторов большой тройки, плотность мощности росла с увеличением высоты измерения или уменьшением вертикального расстояния антенны вещателя БС.

Спецификация измерения определяет, как эти измерения должны проводиться и что БС должна излучать ниже, чем:

- 900 МГц, максимум 4,5 Вт/м<sup>2</sup>.
- 1800 МГц, максимум 9 Вт/м<sup>2</sup>.
- 2100 МГц, максимум 10 Вт/м<sup>2</sup>.

Измерение усреднено за 6 минут согласно теореме Максвелла, о которой мы говорили в предыдущем разделе.

Чтобы исправить подавление сигнала в сложной среде, как показано, даже с простым примером, представленным в предыдущем разделе (антенна,

расположенная на крыше офиса), часто предлагается, чтобы развертывание большего количества передающих антенн путем увеличения пространственного разнесения передачи дает возможность уменьшить потери сигнала из-за многолучевого распространения на приемной антенне. Трудно принять такую ненаучную гипотезу при нынешнем сценарии, когда мы наблюдаем диаграммы направленности излучения на рисунке 1. Электрическое поле является векторной величиной и, очевидно, складывается в соответствии с конкретными правилами, которые применяются для этих типов векторных величин. Наличие препятствий на селитебных территориях еще больше усложняет этот сценарий. Учитывая сильно искаженную структуру элементов сотовой сети, невозможно увидеть, как добавление большего количества элементов БС в режиме передачи устранит помехи. Напротив, добавление большего количества элементов БС приведет к дальнейшему ухудшению сценария, что демонстрирует точное решение уравнений Максвелла. Например, мы знаем из упрощенной теории антенных решеток точечного источника, что результирующая диаграмма направленности является произведением диаграммы направленности одиночного антенного элемента и коэффициента решетки, что обусловлено наличием нескольких антенных элементов в решетке [21-24].

Однако мы можем прийти к некоторым странным выводам, если применим теорию вероятностей. Например, поскольку диаграмма направленности антенного элемента имеет так много максимумов и минимумов, диаграмму направленности антенны можно гипотетически рассматривать как случайную величину, и, используя центральную предельную теорему [27], можно прийти к ошибочному выводу о том, что добавление большего количества элементов антенны. При улучшении сценария напряженность поля в пространственном месте улучшится благодаря усреднению по ансамблю. Часто при анализе проблем очень больших систем связи мы вводим понятия теории вероятностей либо для

введения неопределенности в модель, либо для дополнения наших неполных знаний о системе [28]. Кроме того, когда проблема слишком велика или слишком сложна для решения любым другим методом, мы прибегаем к использованию теории вероятностей. Следует отметить, что вероятностная модель не может быть использована для дополнения недостаточных или неадекватных знаний о системе [28]. Благодаря введению вероятностной модели мы не можем получить больше знаний о системе. Мы просто делаем некоторые предположения о базовом процессе, чтобы мы могли применять доступные аналитические инструменты для решения проблемы размещения БС на селитебных территориях, не задумываясь о том, действительно ли сделанные для системы предположения действительно актуальны. Вероятностное описание случайного процесса не является адекватным, поскольку может потребоваться дополнительная информация о системе, причем такая информация обычно недоступна. Анализ часто упрощается благодаря использованию стационарности в широком смысле или предположению об эргодической системе. Опять же, следует отметить, скалярная теория вероятностей неправильно обрабатывает различные векторные взаимодействия различных компонентов электрических полей. Кроме того, введение концепции случайного процесса при анализе системы предполагает, что в ансамбле можно получить решение, которое будет возможным исходом. Однако вероятностное решение может не быть подходящим. Иногда применение теории вероятностей может дать очень интересный противоречивый результат [29].

Использование подхода, основанного на предложенной модели, не только говорит нам, какая система работает не так, как нам хотелось бы, но также мы можем предсказать, что может быть жизнеспособным решением, и исправить недостатки. Поэтому, чтобы понять основные свойства БС и ее фундаментальные ограничения в рабочих характеристиках, необходимо

применять теорию Максвелла для получения руководящих принципов проектирования, а не использовать статистическое моделирование.

При тестировании смешанной модели наблюдалась значительная статистическая зависимость между высотой измерения и средней плотностью мощности у операторов обоих типов. С увеличением высоты измерения плотность мощности увеличивается у всех операторов.

Во-первых, мы строим модель, основанную на физических законах, регулирующих проблему. Мы обычно стремимся сделать модель как можно более простой, которая содержит основную физику. С одной стороны, ключевые физические понятия лучше всего понять из простейших моделей. С другой стороны, многие проблемы достаточно сложны, и без упрощения приближений их невозможно решить даже с помощью самых мощных компьютеров.

Во-вторых, мы строим метод моделирования или алгоритм для решения задачи на основе математического описания физической модели. Рассмотрение рабочего поведения алгоритма часто может привести к физическому пониманию того, как разворачиваются физические процессы. Обычно при выборе алгоритмов существует компромисс. Основными критериями, влияющими на наш выбор, являются точность, простота, стабильность и надежность.

Наконец, мы реализуем алгоритм на языке программирования и представляем результаты соответственно. Здесь мы снова сталкиваемся с несколькими возможными вариантами. Мы выбираем Python, потому что, помимо прочего, его легко писать и читать, и он является открытым исходным кодом. Python является гибким и сделан более привлекательным и мощным для научных вычислений благодаря доступности внешних библиотек для численного моделирования.

Мы постарались представить физические системы как автономные модели. Что касается механических систем, студент должен хорошо

разбираться в физике на начальном уровне или выше. Для квантовых и тепловых систем будет полезно некоторое знакомство с соответствующими понятиями, такими как, например, волновая функция, ожидаемое значение, энтропия и т.д.

Научные вычисления естественно включают в себя численные вычисления (сокращение чисел). Он использует целые и действительные значения или числа с плавающей точкой. Целочисленная арифметика на компьютере точна, но ее диапазон ограничен. Он не подходит для научных вычислений, поскольку наш физический мир охватывает огромные масштабы на многие порядки. Числа с плавающей запятой имеют значительно расширенный диапазон, но их операции могут быть неточными в математическом смысле, поэтому точность жертвуется ради расширенного диапазона.

Подобно гравитации, электромагнитные взаимодействия происходят через воздействие на расстоянии через электромагнитные поля, описываемые классическими уравнениями поля, уравнениями Максвелла. В этой главе нас интересует моделирование электрических потенциалов и полей в электростатике и распространении электромагнитных волн. Как скалярные, так и векторные поля в электромагнетизме были изучены путем решения соответствующих значений.

Мы рассматривали два метода на основе сетки для решения двумерных уравнений Пуассона и Лапласа и связанных с ними краевых задач: итеративный самосогласованный (релаксационный) метод и неитерационный метод конечных элементов. Четыре уравнения Максвелла являются одними из самых старых наборов уравнений в математической физике, которые выдержали испытание временем. Даже с появлением теории относительности не было никаких изменений в их форме. Поэтому на их основе построена модель.

Физико-математический анализ распространения электромагнитных волн в сотовой беспроводной связи описывает электромагнитные принципы проектирования сотовой беспроводной системы и включает в себя тонкие электромагнитные принципы, которые часто упускаются из виду при разработке такой системы.

### **3.3 Формирование плана минимизации прямых и косвенных рисков, вызванных негативным воздействием электромагнитного излучения базовых станций сотовой связи на городские селитебные территории (на примере ООО «Неткрэкер»)**

С ростом числа приложений, использующих микроволновую технологию, ее негативное воздействие на организм человека привлекает внимание. Тем не менее, его полезные эффекты не следует игнорировать. Например, это может сократить время реакции, чтобы люди могли лучше справляться с опасностью. Обнаружено, что время визуальной реакции у сотрудников организации было значительно короче после 10 минут индуцированного телефоном микроволнового излучения. Этот вывод согласуется с результатами ранее опубликованного исследования, которое показало, что кратковременное воздействие микроволнового излучения может сократить время реакции и улучшить когнитивные функции, внимание и кратковременную емкость памяти. Более того, риск развития болезни Альцгеймера у людей, которые используют мобильный телефон более 10 лет, на 30–40% ниже, чем у других людей. Вышеуказанные результаты указывают на положительный биологический эффект микроволнового излучения и представляют проблему в отношении того, как люди могут извлечь выгоду из микроволнового излучения.

Мы должны избегать чрезмерного воздействия микроволнового излучения в повседневной жизни и использовать мобильные телефоны

надлежащим образом, несмотря на информацию о его положительных эффектах. Для населения, подвергающегося профессиональному облучению, должны быть приняты надлежащие защитные меры, чтобы избежать ненужного вреда.

Учитывая полученные выводы, мы предложили практические рекомендации, по профилактике неблагоприятного влияния ЭМИ от БС:

- временем;
- расстоянием;
- дозой;
- экранами.

Композиционные материалы для электромагнитного экранирования могут быть изготовлены в виде текстиля с использованием проводящих нитей и текстиля с проводимостью, получаемой различными процессами отделки на текстильных поверхностях. Эффективность ЭМ экранирования тканей повышается за счет снижения ее проводимости с использованием различных методов и материалов. Альтернативой является использование новых светозащитных материалов в виде металлизированных нетканых материалов или текстиля. Их преимущества: общая доступность на рынке, низкая цена, хорошие механические свойства (прочность, эластичность) и устойчивость к условиям окружающей среды. Композитные анизотропные материалы с многослойной структурой, состоящей из материалов с различной пространственной ориентацией волокон, позволяют достигать относительно высоких и постоянных значений эффективности экранирования, которые, вместе с механическими свойствами материалов, приводит к широкому диапазону применимости в различных дисциплинах современной технологии.

Электрический проводник, такой как металлические и углеродные материалы, в основном экранирует отражение излучения. С другой стороны, магнитные материалы в основном используются для поглощения излучения.



Большинство материалов, используемых для экранирования, выбираются из-за их электрической проводимости, а не магнитного поведения. В то время как в определенных применениях, таких как технология оболочки, экранирующие материалы должны обязательно поглощать максимальное электромагнитное излучение. Магнитные поглотители зависят от эффекта магнитного гистерезиса, который достигается в магнитных материалах, таких как ферриты. Но плотности магнитных материалов, как правило, высоки, а ширина полосы поглощения магнитных поглотителей обычно узкая. С другой стороны, диэлектрические материалы имеют малый вес, но не соответствуют поглощающей способности магнитных поглотителей.

Углеродные наноматериалы в сочетании с магнитными частицами используются для улучшения поглощения электромагнитного излучения и становятся более интенсивным поглотителем по сравнению с углеродными наноматериалами.

Электромагнитное экранирование - это процесс уменьшения рассеивания электромагнитных волн в желаемом пространстве путем препятствования волнам экраном из проводящего материала. Эффективная работа электрических инструментов или работа электрических инструментов прерывается, ухудшается, затрудняется или ограничивается из-за электромагнитных помех. В материале основными механизмами ослабления электромагнитных помех являются отражение, поглощение и многократное отражение. Отражение является основным механизмом защиты от электромагнитных помех. Для отражения материал должен обладать подвижными носителями заряда, такими как электроны или дырки, которые взаимодействуют с электромагнитным излучением. Металлы являются наиболее распространенным материалом для экранирования электромагнитных помех, а имеющиеся в металлах свободные электроны взаимодействуют с электромагнитными волнами [30]. Если материал обладает высокой проводимостью, экранирование от электромагнитных волн

будет происходить через механизм отражения. Однако проводимость не является условием экранирования от электромагнитных помех, но она усиливает механизм экранирующего отражения от электромагнитных помех материала.

Вторым механизмом экранирования электромагнитных помех является поглощение, которое требует наличия электрических или магнитных диполей для взаимодействия с электромагнитным излучением. Это меняется в зависимости от толщины материала. Материалы с высокой диэлектрической проницаемостью обеспечивают электрические диполи, а материалы с высокой магнитной проницаемостью обеспечивают магнитные диполи для экранирования электромагнитных помех путем поглощения [26].

Третий механизм - это множественные отражения, то есть отражения на разных поверхностях или на границе раздела материала. Материалы с большими удельными внутренними поверхностями или композиты с наполнителями демонстрируют механизм многократного отражения. Как правило, многократное отражение уменьшает общее значение экранирования, если материал тоньше, чем глубина скин-слоя, и этим значением можно пренебречь, если материал имеет большую толщину, чем глубина скин-слоя. На более высоких частотах электромагнитное излучение проникает только в приповерхностную область электрического проводника. Это известно, как скин-эффект. Интенсивность проникновения электромагнитной волны экспоненциально уменьшается с увеличением глубины проводника.

Эффективность экранирования, выраженная в дБ, представляет собой сумму потерь на отражение, потерь на поглощение и многократных отражений. Из-за растущего использования электронного оборудования защита других приборов и людей от электромагнитных волн является очень серьезной проблемой в настоящем сценарии, который подробно описан во второй части работы. ЭМИ вредно влияет как на работу устройств, так и на

человека. В настоящее время сокращение использования электронного оборудования не всегда практично. То, что мы можем сделать, это уменьшить проникновение электромагнитных волн, создаваемых электронными приборами. Чтобы уменьшить проникновение, мы должны использовать экран или заблокировать электромагнитные волны от желаемой поверхности.

Таким образом, радиофобия населения по поводу установки базовых станций сотовой связи несколько преувеличена, в то же время недооценен риск от мобильных телефонов и средств беспроводной связи (Wi-Fi роутеров), с которыми потребитель контактирует ежедневно, порой используя безлимитные трафики общения, что может нанести непоправимый вред здоровью как настоящего, так и последующих поколений.

Исследование показало, что установка антенн в людном месте требует большей осторожности из-за более высокого излучения. Более жесткие поверхности и мобильные пользователи являются двумя важными факторами в местах скопления людей, которые могут увеличить плотность волн и, следовательно, повысить воздействие микроволнового излучения в общественных местах. наблюдалась значительная статистическая зависимость между высотой измерения и средней плотностью мощности у операторов обоих типов. С увеличением высоты измерения плотность мощности увеличивается у обоих операторов.

Для размещения базовой станции на конкретной территории или здании оператор сотовой связи должен иметь проект обоснования размещения базовой станции. При этом должны быть соблюдены требования санитарных правил СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» и СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов».

Санитарные правила не запрещают размещение БС на существующих постройках (в т.ч. и на крышах жилых зданий). При отсутствии на территориях высоких зданий, БС могут устанавливаться и на специальных мачтах высотой от 25 до 45 м., или на существующих трубах котельных, радио и телевизионных башнях. Главная задача организации эксплуатирующей БС, помимо обеспечения устойчивой связи для своих абонентов, при размещении и эксплуатации БС не допустить плотность потока электромагнитной энергии в месте нахождения человека более 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Установлено, что такой уровень электромагнитного поля не может оказать неблагоприятного воздействия на организм человека.

Необходимо обратить внимание на то, что устойчивая работа сотовых телефонов, без которых уже не обходится большинство населения, обеспечивается только развитой сетью базовых станций.

В городском округе Тольятти на сегодняшний день эксплуатируется около 370 базовых станций (по Самарской области – более 1100). Маломощные БС, устанавливаемые на малых расстояниях друг от друга (200-500м), значительно снижают уровень ЭМИ. Исследование показало, что установка антенн в людном месте требует большей осторожности из-за более высокого излучения. Более жесткие поверхности и мобильные пользователи являются двумя важными факторами в местах скопления людей, которые могут увеличить плотность волн и, следовательно, повысить воздействие микроволнового излучения в общественных местах. наблюдалась значительная статистическая зависимость между высотой измерения и средней плотностью мощности у операторов обоих типов. С увеличением высоты измерения плотность мощности увеличивается у обоих операторов. Исследование показало, что установка антенн в людном месте требует большей осторожности из-за более высокого излучения. Более жесткие поверхности и мобильные пользователи являются двумя важными факторами в местах скопления людей, которые могут увеличить плотность волн и,

следовательно, повысить воздействие микроволнового излучения в общественных местах.

В исследованиях широко изучались основные механизмы, посредством которых микроволны влияют на функции обучения и памяти, особенно синаптические структуры и функции, окислительный стресс и апоптоз, синтез белка, гены и индивидуальную восприимчивость, и энергетический обмен. Основная сложность в том, что эти исследования трудно воспроизводимы.

## Заключение

В диссертации представлены теоретические и экспериментальные исследования по теме магистерской диссертации. Выполнен анализ результатов исследований по теме магистерской диссертации, сформулированы выводы и рекомендации. Результаты исследования показали, что плотность мощности увеличилась за счет уменьшения вертикального расстояния антенн БС. Хотя измеренные значения были ниже рекомендованных руководящими принципами, принимая во внимание неизвестный аспект воздействия этого излучения на здоровье человека и возможность изменения параметров в руководящих принципах, мы предлагаем учитывать высоту здания вблизи антенн BTS при получении сертификатов на установку антенн.

Исследование показало, что установка антенн в людном месте требует большей осторожности из-за более высокого излучения.

По данным Правительства Самарской области, всего на территории региона установлено более 1100 базовых станций, мощность которых обычно не превышает 5–10 Вт. Во время всех контрольных измерений на территориях, прилегающих к базовым станциям, не было отмечено ни одного случая превышения допустимой напряженности электромагнитного поля. При этом в 91% случаев этот показатель был в несколько раз меньше предельно допустимого значения.

Если имеют место сомнения в безопасности установленной базовой станции, то можно запросить проверку объекта в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Или самостоятельно приобрести широкополосный измеритель напряженности электромагнитного поля, позволяющий получить сверхточные результаты измерений неионизирующих излучений. Измеритель

охватывает все частоты — от длинноволновых до микроволновых — и позволяет определить любой уровень ЭМИ.

Исследование, разработка, внедрение и развертывание систем мобильной связи осуществляется отраслью беспроводной связи в рамках скоординированных международных усилий, в соответствии с которыми согласованы общие отраслевые спецификации, которые определяют полную систему мобильной связи. Работа в значительной степени зависит от глобального и регионального регулирования, в частности, от использования спектра, который является важным компонентом для всех радиотехнологий.

Результаты исследования показали, что плотность мощности увеличилась за счет уменьшения вертикального расстояния антенн БС. Хотя измеренные значения были ниже рекомендованных руководящими принципами, принимая во внимание неизвестный аспект воздействия этого излучения на здоровье человека и возможность изменения параметров в руководящих принципах, мы предлагаем учитывать высоту здания вблизи антенн БС при получении сертификатов на установку антенн.

Поскольку статистическая мощность для обнаружения даже небольших эффектов была относительно высокой, мы интерпретируем это как надежное указание на то, что предупредительная информация сама по себе не приводит к увеличению ответов.

Хотя воздействие электромагнитного излучения в радиочастотном диапазоне вызывает серьезную озабоченность во всем мире, ЭМИ имеет множество важных применений как в области электросвязи, так и в области связи. В последнее время сообщалось об индукции явлений адаптивной реакции под воздействием радиочастотного излучения в виде либо повышенной устойчивости к последующей дозе ионизирующего излучения, либо устойчивости к бактериальной инфекции. Интересно отметить, что потенциальные полезные эффекты радиочастотного излучения мобильных телефонов не ограничиваются только индукцией адаптивных явлений. Ранее

было указано, что время визуальной реакции студентов университета значительно уменьшилось после 10-минутного воздействия радиочастотного излучения, испускаемого мобильным телефоном. Более того, было обнаружено, что профессиональное облучение радиолокационной станцией уменьшило время реакции у рабочих. Основываясь на этих результатах, можно предположить, что в особых обстоятельствах эти воздействия могут привести к лучшей реакции людей на различные опасности. Другие исследователи также предоставили доказательства, подтверждающие индукцию радиочастотных когнитивных эффектов. Также сложно исследовать потенциальное применение этих эффектов. Дальнейшие исследования могут пролить свет на темные области воздействия кратковременного и длительного воздействия радиочастотного излучения на здоровье человека.

По результатам исследования опубликованы 3 статьи:

4. Богданов Н.В., Богданова А.В., Глазова В.Ф. Оценка интенсивности электромагнитного излучения при установке базовых станций сотовой связи вблизи учреждений здравоохранения // в сборнике: Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук Материалы V Международной научно-практической конференции (школы-семинара) молодых ученых. 2019. С. 367-370.

5. Bogdanova A.V., Korostelev A.A., Mukhutdinov R.H., Shakirova I.A., Maselena A. Formulation of the problem of mathematical modeling of accommodation of basic stations of cellular communication in residential territories for students of it-directions of preparation. – International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. T. 7. № 6. P. 87-90.

6. Богданова А.В., Богданов Н.В. Формирование ключевых показателей для сквозного аудита в учреждении здравоохранения. – Азимут научных исследований: экономика и управление. 2018. Т. 7. № 3 (24). С. 43-46.



## Список используемых источников

1. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов». [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865556> (дата обращения: 15.02.2020)
2. Пчельник, О.А. Мобильная связь и здоровье населения // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 12-2. – С. 356-360.
3. О требованиях к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность – URL: [http://www.gigiena-saratov.ru/aktyalnye\\_temy/komGig/146168/](http://www.gigiena-saratov.ru/aktyalnye_temy/komGig/146168/) (дата обращения: 20.04.2020)
4. О внесении изменений в приказ Минздравсоцразвития России от 12.05.2011 №302н «Об утверждении Перечня вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда [Электронный ресурс]: URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PNPA&n=2063#0026065775735733654> (дата обращения: 20.02.2020)
5. Горохов, Е.Б. Электромагнитные поля на рабочих местах специалистов компаний сотовой связи / Е.Б. Горохов, А.А. Ляпкало // Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – № 1. – С. 175.
6. Мордачев, В.И. Верификация модели наихудшего случая для оценки средней интенсивности электромагнитного фона, создаваемого базовыми станциями сотовой связи. – Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2018. – № 1 (111). – С. 12-18.

7. ГОСТ 7.32-2001 «Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». [Электронный ресурс]: URL: <http://vsegost.com/Catalog/27/2737.shtml>, (дата обращения: 13.03.2020).

8. Постановление от 28 января 2016 года по делу № 5-17/2016,5-745/2015 [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/78065289/89641791/>, (дата обращения: 18.03.2020).

9. Карта сотовых вышек [Электронный ресурс]: URL: <http://wifi4g.satx.ru/karta-vyshek-sotovoy-sviazi.php>, (дата обращения: 24.02.2020).

10. Ляпкало, А.А. Электромагнитные поля на рабочих местах специалистов компаний сотовой связи // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2017. – № 1. – С. 17.

11. Мордачев, В.И. Верификация модели наихудшего случая для оценки средней интенсивности электромагнитного фона, создаваемого базовыми станциями сотовой связи. // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2018. – № 1 (111). – С. 12-18.

12. Текшева, Л.М. Гигиенические аспекты использования сотовой связи в школьном возрасте / Л.М. Текшева, Л.М. Барсукова, Н.К. Чумичева, О.А. Хатит // Гигиена и санитария. – 2014. – № 2. – С. 21-28.

13. Гаевский, И.В. Об организации надзора за размещением и вводом в эксплуатацию базовых станций операторов мобильной связи на территории Могилевской области / И. В. Гаевский, Ю. Н. Гоцкий, А. В. Купчин // Управление профессиональным здоровьем, окружающей средой и безопасностью в условиях производства и проживания: сб. материалов Респ. науч.-практ. семинара (г. Бобруйск, 24-25 мая 2012 г.) / Министерство здравоохранения Республики Беларусь, ГУ Республиканский научно-практический центр гигиены, ГУ Республиканский центр гигиены,

эпидемиологии и общественного здоровья, Белорусское научное общество гигиенистов; под ред.: Л.В. Половинкина, В.В. Гриня, Г.Е. Косяченко. Минск, 2012. – С. 20-23.

14. Андреева, Е.Е. Оценка безопасности размещения базовых станций операторов сотовой связи на территории города Москвы / Е. Е. Андреева // Здоровье населения и среда обитания. – 2015. – № 9. – С. 21-24.

15. Березин, И.И. Социально-гигиенические проблемы осуществления государственного санитарного надзора за базовыми станциями сотовой связи / И. И. Березин, А. Д. Попов // Санитарный врач. – 2013. – № 1. – С. 47-49.

16. Naseri, S. Investigation of Vertical Microwave Publishing Caused by the Base Transceiver Station (BTS) Antennas in Hashtgerd City [Электронный ресурс]: URL: [http://jehe.abzums.ac.ir/browse.php?a\\_code=A-10-1-4&slc\\_lang=en&sid=1](http://jehe.abzums.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1-4&slc_lang=en&sid=1) (дата обращения: 10.02.2020).

17. Руководство МКЗНИ по ограничению воздействия переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей (до 300 ГГц) [Электронный ресурс]: URL: [https://www.who.int/peh-emf/publications/ICNIRP\\_Guidelines\\_rus\\_final.pdf?ua=1](https://www.who.int/peh-emf/publications/ICNIRP_Guidelines_rus_final.pdf?ua=1) (дата обращения: 11.01.2020).

18. Садовой, М.А. «Система менеджмента качества в учреждениях здравоохранения». – г. Новосибирск, АНО «Клиника НИИТО», 2016.

19. Милюхин, К.В. Внутренний аудит системы менеджмента. Учебное пособие. – СПб., 2016.

20. Свиткин, М.З., Настольная книга внутреннего аудитора - Свиткин, М.З., Рахлин, К.М., Мацута, В.Д., Дымкина, О.Д.. – СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2017.

21. Перезозова, О.В. Экономика и образование: тест на совместимость / Новейшие достижения в науке и образования: отечественный и зарубежный опыт // Сборник научных трудов по материалам Международной

практической конференции 31 октября 2017 г. В 2-х частях. Часть 1. Смоленск: ООО «НОВАЛЕНСО», 2017.

22. Перезозова, О.В., Возилова, Е.В. Риски управленческой некомпетентности: источники и причины // Инновационная наука. – 2016. – Т.1. – № 3. – С.16-19.

23. Корнева, Г.В. Организация внутреннего контроля: цели, задачи и принципы построения. Журнал Института Государственного управления, права и инновационных технологий (ИГУПИТ) // «НАУКОВЕДЕНИЕ» №4. М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2016. – 184 с.

24. Аудит информационной безопасности органов исполнительной власти: учеб. пособие для высшего образования / В.Т. Еременко [и др.]. – Орел: ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», 2016. – 93с.

25. Шибиков, Д.В. Организация и методика аудита медицинских учреждений : диссертация кандидата экономических наук : 08.00.12 / Шибиков Дмитрий Витальевич; [Место защиты: Марийс. гос. техн. ун-т].- Кострома, 2016. – 153 с.

26. Wade DT. Ethics, audit and research: all shades of grey. BMJ. 2015; 330 (7489): 468–471. [Электронный ресурс]: URL: [https://www.researchgate.net/publication/8002782\\_Ethics\\_audit\\_and\\_research\\_All\\_shades\\_of\\_grey](https://www.researchgate.net/publication/8002782_Ethics_audit_and_research_All_shades_of_grey) (дата обращения: 20.04.2020).

27. Travaglia, J. Clinical audit: a comprehensive review of the literature, The Centre for Clinical Governance Research in Health, University of New South Wales, 2009 – URL: [https://health.gov.ie/wp-content/2015/01/literature\\_review\\_clinical\\_audit.pdf](https://health.gov.ie/wp-content/2015/01/literature_review_clinical_audit.pdf) (дата обращения: 11.04.2020) – Режим доступа: свободный.

28. Infection Protection Society, Hand Hygiene Observation Audit Standard Operating Procedure. Infection Protection Society, 2018 [Электронный ресурс]: URL:

<http://www.hpsc.ie/az/microbiologyantimicrobialresistance/infectioncontrolandhai/guidelines/File,14612,en.pdf> (дата обращения: 11.01.2020).

29. National Institute for Clinical Excellence Principle for Best Practice in Clinical Audit, National Institute for Clinical Excellence 2014 [Электронный ресурс]: URL: [https://www.haigekassa.ee/trykised/audit\\_rus\\_pdf\\_a5.pdf](https://www.haigekassa.ee/trykised/audit_rus_pdf_a5.pdf) (дата обращения: 03.01.2020).

30. Healthcare Quality Improvement Partnership Ltd. What is a national clinical audit? Achieving high quality national clinical audit. [Электронный ресурс]: URL: [http://www.gproxx.com/https://www.haigekassa.ee/sites/audit\\_rus\\_pdf\\_a5.pdf](http://www.gproxx.com/https://www.haigekassa.ee/sites/audit_rus_pdf_a5.pdf) (дата обращения: 24.03.2020).

31. Ansary A. Radiation Threats and Your Safety: A Guide to Preparation and Response for Professionals and Community [Электронный ресурс]: URL: <https://learning.oreilly.com/library/view/radiation-threats-and/9781420083620/chapter-84.html> (дата обращения: 08.05.2020).