

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
Информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.2:537.811

Жолудь  
Анна Викторовна

Прогнозирование уровней электромагнитных полей, создаваемых с  
использованием технологии Massive MIMO

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-39 80 01 «Радиосистемы и радиотехнологии»

Научный руководитель  
Козел Виктор Михайлович  
канд. технических наук,  
доцент

Минск 2022

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире информационные процессы и их цифровизация с каждым годом приобретают все большее значение для всех сфер жизни и деятельности как общества в целом, так и каждого отдельного человека.

Важным элементом будущего информационного общества является цифровая экономика, то есть экономика, основанная на новых методах генерирования, обработки, хранения, передачи данных, а также цифровых компьютерных технологиях. Однако ее создание и развитие невозможно без совершенствования областей беспроводных технологий и передачи больших объемов информации в масштабе времени, близком к реальному.

Информатизация включает в себя два ключевых компонента: компьютеризацию и связь. Их взаимообусловленность привела к появлению термина «инфокоммуникации». Это относительно новое понятие, введенное в научный оборот Международным союзом электросвязи (МСЭ), олицетворяет мощную наукоемкую сферу научной и инженерной деятельности, нацеленной на формирование инфокоммуникационной инфраструктуры.

Развитие инфокоммуникаций сегодня направлено в основном на обеспечение и совершенствование интернет-ориентированной связи и мобильной связи. На стыке этих двух направлений появилось третье, ориентированное на соединение объектов мира вокруг нас на основе инфокоммуникационной инфраструктуры. Ее организационным базисом становятся сети интернета вещей (*Internet of Things, IoT*), а технической и сетевой платформой — новая инфокоммуникационная инфраструктура (сети *5G/IMT-2020*) [1].

Сети *5G* будут отличаться от сетей предыдущих поколений, прежде всего, тем, что в зоне действия каждой соты окажется гораздо больше терминалов различных типов (в т.ч., *IoT*), чем в традиционной сети (*3G/4G*).

В течение последних лет архитектура базовых станций мобильных сетей значительно эволюционировала от традиционной архитектуры, в которой радиоблоки приёмопередатчиков радиосигнала были расположены близко к антенне. Разделение базовых блоков цифровой обработки сигналов *BBU (Base Band Unit)* от блоков аналоговых радиопередатчиков *RRH* или *RRU (Remote Radio Head/Unit)* позволяло снизить количество оборудования и обеспечить более эффективное управление сетью.

Следующий этап эволюции архитектуры базовых станций — интеграция радиочасти базовой станции непосредственно в самой антенне и распределение функционала приёмопередатчика радиосигнала по элементам антенны. Такое решение называется активной антенной (*active antenna*).

Эволюция архитектуры базовой станции от традиционной *BTS* в прошлом (к решению удалённой радиочасти *RRH*, применяемому в настоящее время, и далее к решению активной антенны для сетей *5G* в

будущем, показана на рисунке 1 ниже.

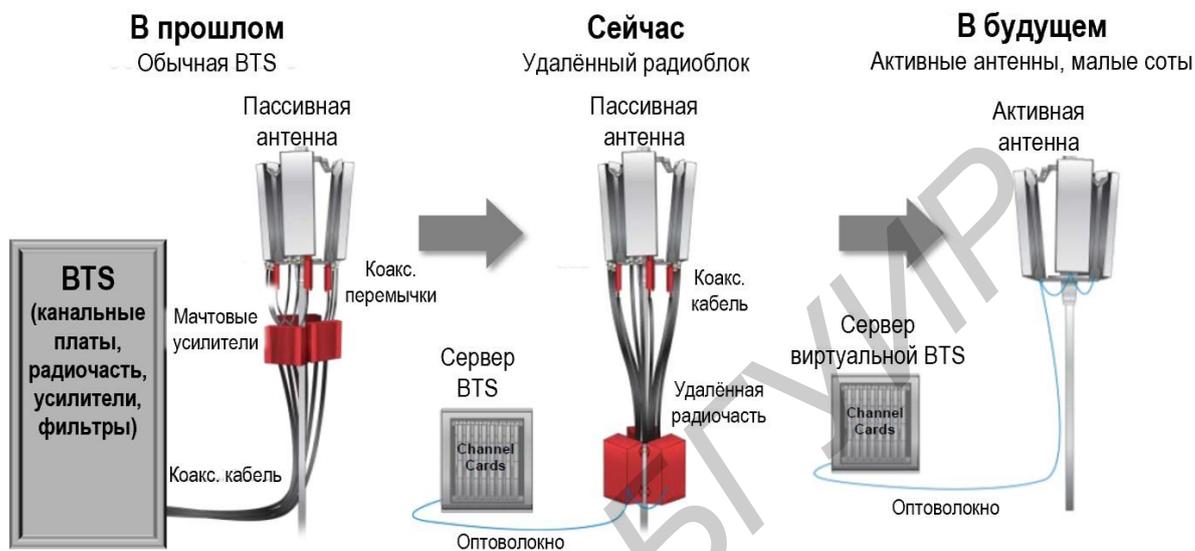


Рисунок 1 - Эволюция антенн от пассивных к активным

С активными антеннами тесно связана технология *Massive MIMO*, массивованного режима *MIMO* (*Multiple In, Multiple Out*), то есть использование нескольких антенн на передачу и на приём, как в передатчике, так и в приёмнике).

В ближайшем будущем беспроводное покрытие сети сотовой подвижной электросвязи 5G будет обеспечиваться БС, оснащёнными массивными фазированными антенными решетками с динамическим управлением, которые направляют передачу на пользователя рисунок 2.



Рисунок 2 - Сравнение технологии *Massive MIMO* в сетях 5G с антеннами для сетей 4G

*Massive MIMO* – технология, в которой количество антенн на базовой станции много больше, чем число антенн на мобильном терминале. Базовые станции 5G будут оснащены гораздо большим количеством маленьких антенн, чем традиционные базовые станции 3/4G, чтобы иметь возможность поддерживать различные применения *IoT* и другие в сети 5G.

В настоящее время в Республике Беларусь в отличие от традиционных систем сотовой связи, использующих пассивные антенны, диаграмма направленности которых статична во времени, не изучен вопрос определения уровней ЭМП, создаваемых радиоэлектронными средствами использующими технологию *Massive MIMO*, где активные антенны с различными конфигурациями используются для генерации нескольких лепестков излучения с изменяемой во времени мощностью и формой, полученных с помощью методов формирования луча.

Магистерская диссертация выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности соответствует норме, установленный кафедрой ИРТ. Цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Списке использованных источников».

## Общая характеристика работы

**Актуальность** темы магистерской диссертации состоит в уточнении вопросов обеспечения санитарных норм при расчетах СЗЗ и проведении измерений уровней ППЭ ЭМП, создаваемых радиотехническими объектами с использованием технологии *Massive MIMO*, в условиях интенсивного развития беспроводных технологий связи в частности внедрение сетей пятого поколения *5G NR*.

**Целью** диссертации является предложение корректировок метода расчета гигиенической оценки уровней ЭМП для радиоэлектронных средств сети подвижной связи *5G NR*.

**Задачами** исследования были сравнение существующих расчетных методик определения уровней ЭМП; получение экспериментальных результатов распределения ППЭ, создаваемых радиотехническими объектами с технологией *Massive MIMO*; предложение методики аналитического предсказания уровней ППЭ, создаваемых радиотехническими объектами с технологией *Massive MIMO*.

## **Краткое содержание работы**

Во введении рассмотрены краткие теоретические, медицинские, научно-технические сведения о разрабатываемом устройстве.

В первой главе магистерской диссертации приводится описание существующих расчетных методик определения уровней ЭМП, создаваемых радиотехническими объектами, и расчет уровней ЭМП по этим методикам.

Во второй главе была предложена методика расчета напряженности ЭМП с моделированием характеристик направленности антенной системы с технологией Massive MIMO.

Третья глава была посвящена проведению экспериментального исследования уровней ЭМП в ходе проведения натурных измерений.

В четвертая глава магистерской диссертации является анализом полученных данных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленные в начале магистерской диссертации задачи и цели были выполнены. В результате проведенных исследований были выявлены несоответствия расчетных значений уровней ППЭ ЭМП с полученными в ходе натурных измерений для базовой станции сети сотовой подвижной электросвязи *IMT-2020 (5G NR)* в полосе радиочастот 3400-3800 МГц с антенной *AAU5613* с технологией *Massive MIMO*.

Основной вывод, который следует из результатов исследований заключается в необходимости внесения корректировок в методики расчетов СЗЗ и измерений ППЭ, с целью учета всех особенностей технологии *Massive MIMO*.

В качестве первоначальной альтернативы предложена модель свободного распространения радиоволн с учетом наличия отражающей поверхности (земли), которая определяется выражением Введенского, формула (2.4), и имеет значительную корреляция между расчетными данными, полученными с использованием моделирования характеристик направленности антенной системы и результатами натурных измерений в дальней зоне (на удалении более 30м от антенной системы с технологией *Massive MIMO*).

## СПИСОК СОБСТВЕННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Жолудь А.В. 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, «Оценка среднего количества бумаги, потребляемого одним человеком за год в эквиваленте деревьев» – Минск: 2018.

2. Жолудь А.В. Республиканская научно-практическая конференция «Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2020», «Критерий определения величины абонентской нагрузки базовой станции сети связи технологии LTE на основе статистических данных» – Минск: 2020.

3. Жолудь А.В., Козел В.М., Ковалев К.А. 58-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, «Результаты экспериментального исследования распределения плотности потока энергии, создаваемых антенной системой Massive MIMO для сетей 5G NR», – Минск: 2022.

4. Жолудь А.В., Козел В.М., Ковалев К.А. Веснік сувязі (№3-2022), «Сравнение результатов экспериментальных исследований и результатов аналитического предсказания уровней плотности потока энергии, создаваемых антенной системой с технологией Massive MIMO для сетей 5G NR».