

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ, СОЗДАВАЕМЫХ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ MASSIVE MIMO ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ NEW RADIO (5G)

Козел В.М., Ковалев К.А., Жолудь А.В.<sup>1</sup>, студентка гр.045241/магистрант  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>1</sup>  
г. Минск, Республика Беларусь

Козел В.М. – канд. тех. Наук, доцент

**Аннотация.** В ближайшем будущем беспроводное покрытие будет обеспечиваться базовыми станциями (БС), оснащенными массивными фазированными антенными решетками с динамическим управлением, которые направляют передачу на пользователя. Долгожданное развертывание телекоммуникационных сетей пятого поколения (5G) ставит новые задачи, связанные с ограничением воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на население и работников. Одной из ключевых универсальных особенностей сетей следующего поколения, общих для различных технологий 5G, является использование больших антенных решеток на стороне БС. Диаграмма направленности антенной решетки зависит от амплитудных и фазовых отношений элементов решетки. В связи с активным развитием и внедрением новых технологий в области телекоммуникационных сетей адаптация методов оценки значений излучения БС является актуальной и малоизученной в настоящее время.

**Ключевые слова.** Уровни электромагнитных полей, распределение плотности потока энергии, Massive MIMO, критерий электромагнитной безопасности.

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 электромагнитных полей, 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.

Антенная система с технологией Massive MIMO является фундаментальным средством обеспечения высокой пропускной способности данных в сотовых сетях следующего поколения (5G). Оснащая базовые станции (БС) десятками или сотнями антенных элементов, можно использовать узкие лучи с высоким коэффициентом усиления для пространственного мультиплексирования нескольких устройств пользовательского оборудования (UE). При повышении достижимой производительности сосредоточение мощности передачи в конкретных направлениях к абоненту также создает новые проблемы при выполнении оценки воздействия радиочастот (РЧ). Фактически пространственное распределение фактической мощности передачи БС сильно зависит от сценария развертывания и от положения UE. Традиционные методы оценки границ соответствия радиочастотному излучению вокруг БС, как правило, основаны на максимальной мощности передачи и статических лучах. В системах Massive MIMO эти подходы имеют тенденцию быть очень консервативными, в частности, когда должным образом учитывается усреднение по времени.

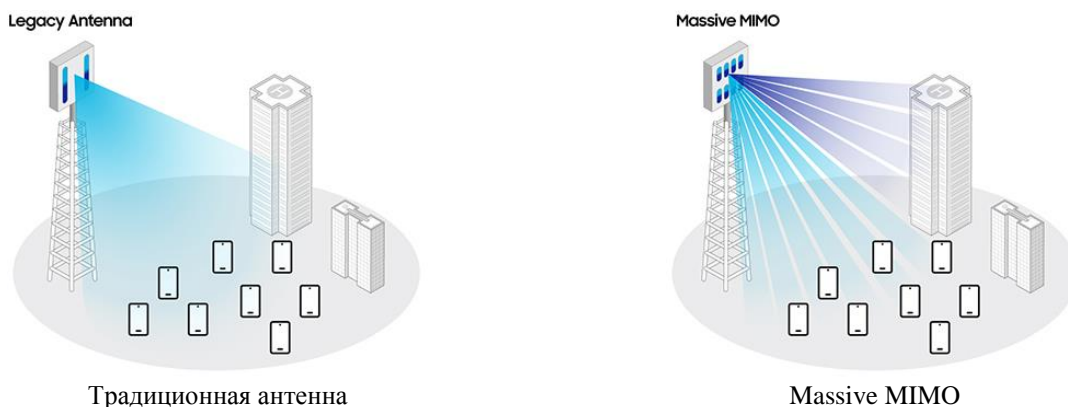


Диаграмма направленности и коэффициент усиления антенны вместе с входной мощностью и характеристиками канала распространения определяют распределение ЭМП в пространстве, окружающем излучающую систему. Для антенны Massive MIMO нет прямой пропорциональности между общей передаваемой мощностью и эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) в направлении пользователя. Отсюда следует, что оценка его полной передаваемой

мощности не позволяет детерминистически оценить фактическое распределение напряженности электромагнитного поля в пространстве и во времени.

Для определения уровней электромагнитных полей, создаваемых радиоэлектронными средствами использующими технологию Massive MIMO были проведены экспериментальные исследования, позволяющие оценить распределения плотности потока энергии (ППЭ), создаваемых массивом элементарных излучателей Massive MIMO для технологии New Radio (5G). Измерения проводились на БС Huawei AAU5613 в режиме работы Scenario 13 на площадке складирования отвалных пород РУПП «Гранит» на карьере Микашевичи неселективным прибором ПЗ-41 и селективным прибором Anritsu MS2720T с измерительной антенной HyperLog 7060. Схематическая модель антенной решетки БС Huawei AAU5613 приведена на рисунке 1, где - элементарный излучатель Massive MIMO.

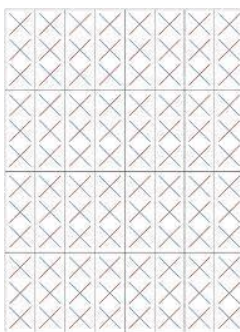


Рисунок 1 – Модель антенной решетки Massive MIMO 8x12

Конфигурация секторов и нумерация лучей для выбранного сценария подтверждалась практически, путем проведения тест-драйва с использованием тестового абонентского терминала и фиксацией индицируемого номера луча. Динамического изменения конфигурации и положения лучей в пространстве не наблюдалось.

Схематическое расположение лучей с нумерацией секторов представлено на рисунке 2.

Перед проведением экспериментальных исследований, производилась предварительная подготовка рабочей площадки, которая заключается в размещении абонентских терминалов на максимально возможном удалении от базовой станции в пределах полигона Микашевичи в середине луча наиболее удобного для проведения измерений (луч №4, обеспечивающий максимально возможное удаление при условии отсутствия затеняющих трассу распространения препятствий, растительности). Контроль середины луча производится по отметкам на местности, соответствующим переключению на соседний луч.

Линия контрольных точек уровня ЭМП фиксировалась с использованием рулетки растянутой от базовой станции в направлении на точку размещения абонентских терминалов. Контрольные точки располагались с шагом 5 метров от базовой станции на высоте 1 м от земной поверхности. На рисунке 3 представлена схематическая модель рабочей площадки для проведения экспериментальных исследований.

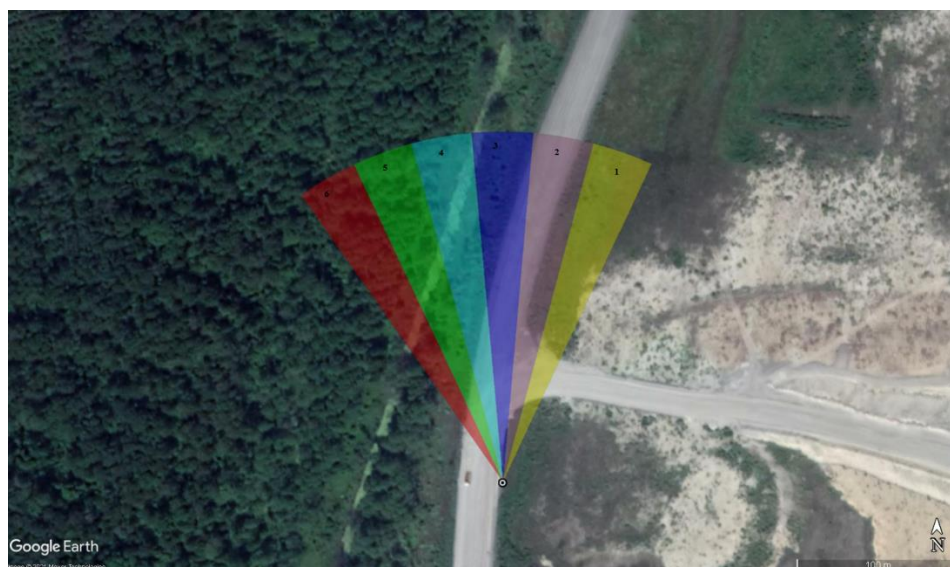


Рисунок 2 — Расположение лучей на полигоне Микашевичи

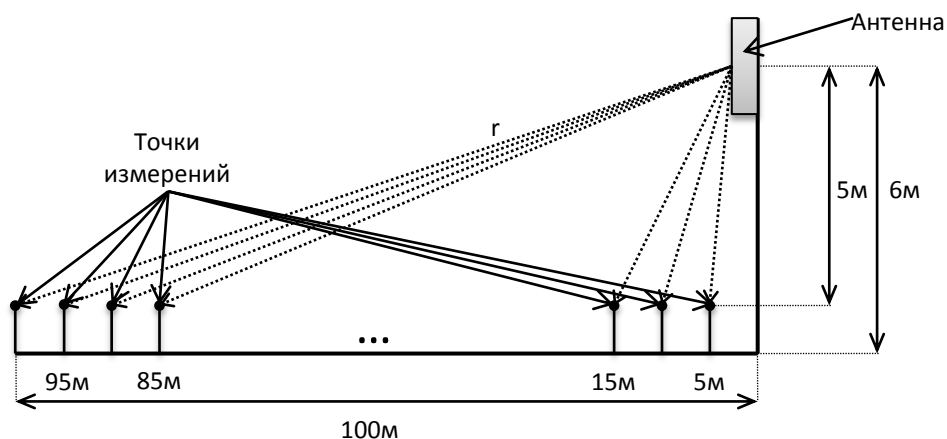


Рисунок 3 — Схематическая модель рабочей площадки для проведения натуральных измерений

На рисунке 4 представлены результаты натуральных измерений уровня плотности потока энергии электромагнитного поля, создаваемого антенной системой Massive MIMO, для высоты исследуемой точки 1м, исходя из следующих характеристик базовой станции: высота установки антенны над поверхностью земли – 6м; рабочие частоты – 3750 МГц (длина волны – 0,08 м); мощность передатчика – 200 Вт/канал; антенны: геометрические размеры антенны, высота/ширина – 1/0.5; коэффициент усиления антенны в луче – 18,84 дБи; при температуре 10оС, влажности 70%.

Зеленая линия соответствует неселективным измерениям пикового значения ППЭ; синяя – неселективным измерениям средних значений ППЭ; красная – селективным измерениям средних значений ППЭ.

В рамках санитарно-эпидемиологического законодательства Республики Беларусь требования к размещению и эксплуатации базовых станций систем сотовой подвижной электросвязи и широкополосного беспроводного доступа устанавливаются Разделом 3 «Требования к размещению и эксплуатации систем сотовой подвижной электросвязи и ШБД» Специфических санитарно-эпидемиологических требований к содержанию и эксплуатации объектов, являющихся источниками неонизирующего излучения, утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 04.06.2019 № 360.

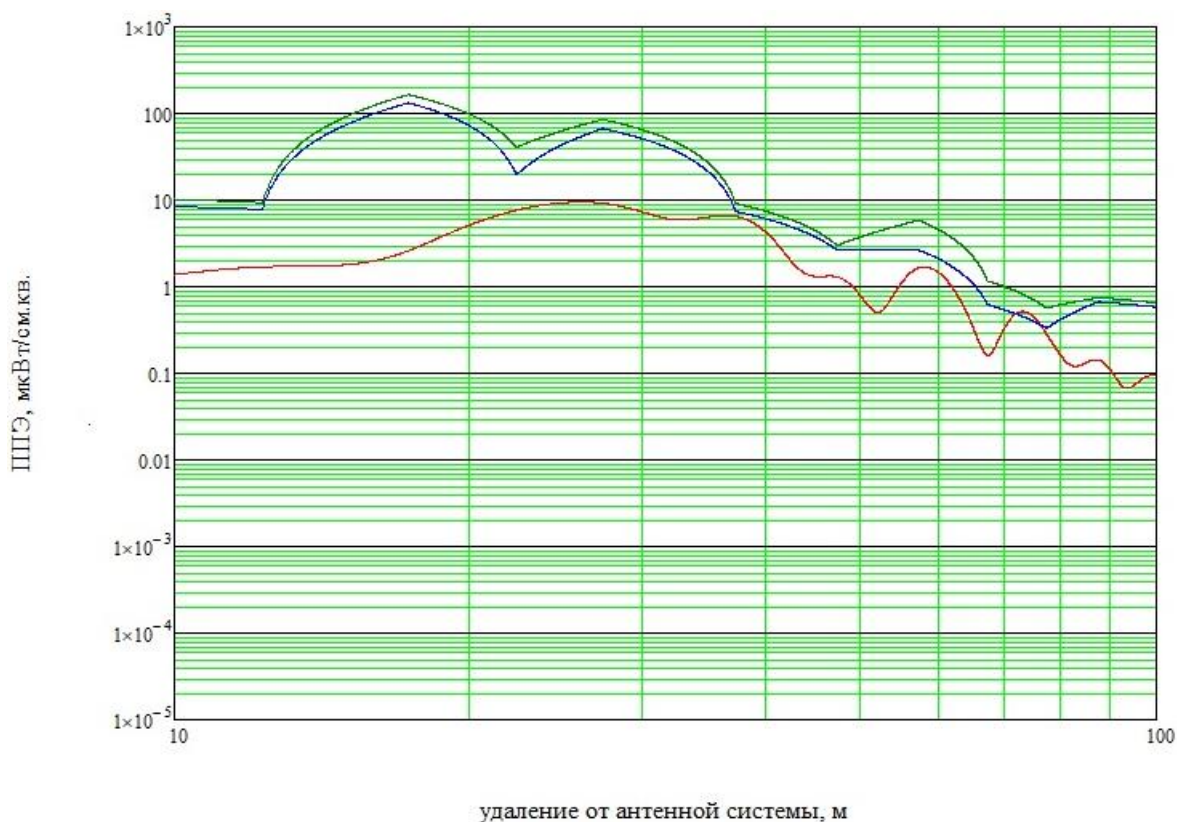


Рисунок 4 - Зависимости величины плотности потока энергии от расстояния, полученные в результате натуральных измерений

Единственным критерием электромагнитной безопасности является соблюдение предельно допустимого уровня по плотности потока энергии электромагнитных излучений (далее - ЭМИ), который для населения Республики Беларусь составляет  $10 \text{ мкВт/см}^2$ . Другие ограничения действующим законодательством в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения Республики Беларусь не предусмотрены.

Сравнение результатов селективных и неселективных измерений позволяет сделать вывод, что, данные измерений, полученных неселективным методом не вписываются в критерий электромагнитной безопасности с предельно допустимым уровнем плотности потока энергии ЭМИ  $10 \text{ мкВт/см}^2$ . Как правило, неселективные измерения показывают большие значения плотности потока энергии электромагнитного поля, чем аналогичные измерения с использованием селективного прибора.

Данное расхождение может быть вызвано несколькими особенностями неселективных измерений:

- во-первых, неселективные измерения могут накапливать в своих результатах уровни полей, создаваемые другими источниками в точке наблюдения, поскольку при данных измерениях отсутствует селекция источников по частоте;

- во-вторых, любая антенна (приемная или передающая) обладает существенной частотной зависимостью антенного фактора/действующей длины/эффективной площади, что при неселективных измерениях может быть учтено лишь приблизительно (и то только для конкретной, как правило, неизвестной точки измерительного диапазона частот).

Также следует отметить хорошую корреляцию скорости изменения уровня ППЭ при селективных и неселективных измерениях при удалениях от исследуемой антенной системы превышающих 40м.

**Список использованных источников:**

1. «Специфические санитарно-эпидемиологические требования к содержанию и эксплуатации объектов, являющихся источниками неионизирующего излучения», утвержденные постановлением Советом Министров Республики Беларусь от 04.06.2019г., №360.

2. «Методы определения уровней электромагнитных излучений, создаваемых передающими радиотехническими средствами, работающими в радиочастотном диапазоне». Инструкция по применению (рег. № 006-0413 от 29 апреля 2013г.)

*57-я Научная Конференция Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР, 2021 г.*

# **RESULTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE ENERGY FLOW DENSITY DISTRIBUTION CREATED BY THE MASSIVE MIMO ANTENNA SYSTEM FOR NEW RADIO TECHNOLOGY (5G)**

*Kozel V.M., Kovalev K.A., Zhopov A.V.1, student G.045241 / Master<sup>1</sup>*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics<sup>1</sup>, Minsk, Republic of Belarus*

*Kozel V.M. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

**Annotation.** In the near future, the wireless coating will be provided by base stations (BS) equipped with massive phased antenna lattices with dynamic controls that send the user to the user. The long-awaited deployment of the telecommunication networks of the fifth generation (5G) sets new challenges associated with the limitation of the effects of electromagnetic fields (EMF) to the population and workers. One of the key universal features of the next-generation networks, common to various 5G technologies, is the use of large antenna arrays on the BS side. The selectivity diagram of an antenna lattice depends on the amplitude and phase relations of the elements of the lattice. In connection with the active development and implementation of new technologies in the field of telecommunication networks, the adaptation of methods for estimating the values of the radiation of the BS is relevant and poorly studied at present.

**Keywords.** Electromagnetic fields, power flow density distribution, Massive MIMO, electromagnetic safety criterion.