

Научные публикации

УДК 621.396.2:537.811

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ УРОВНЕЙ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ, СОЗДАВАЕМЫХ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ С ТЕХНОЛОГИЕЙ MASSIVE MIMO ДЛЯ СЕТЕЙ 5G NR

В. М. КОЗЕЛ, доцент кафедры информационных радиотехнологий, к. т. н., доцент**К. А. КОВАЛЕВ**, ст. научный сотрудник**А. В. ЖОЛУДЬ**, магистрант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

В статье рассматриваются результаты уровней плотности потока энергии, полученные путем аналитического предсказания методиками, используемыми в настоящее время в Республике Беларусь, и путем натуральных измерений. В связи с активным развитием и внедрением новых технологий в области телекоммуникационных сетей адаптация методов оценки значений излучения базовых станций является актуальной и малоизученной в настоящее время.

Ключевые слова: уровни электромагнитных полей, распределение плотности потока энергии, Massive MIMO, 5G, критерий электромагнитной безопасности.

ВВЕДЕНИЕ

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. Подбирая особым образом амплитуды и фазы элементов, БС может формировать в дальней зоне направленные «лучи» – основные лепестки диаграммы направленности решетки. Этот метод называется формированием луча. Чем больше элементов имеет антенная решетка (до определенного предела), тем более узкие лучи она способна формировать. Более узкий луч означает более высокий максимальный коэффициент усиления при равной общей мощности передачи, поскольку энергия ЭМП более плотно фокусируется в желаемом направлении.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

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.

Для проведения экспериментального исследования выбрана базовая станция Huawei AAU5613 в режиме работы Stenarю 13 на площадке складирования отвалных пород РУПП «Гранит» на карьере Микашевичи со следующими характеристиками базовой станции: высота установки антенны над поверхностью земли – 6 м; 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.

Схематическая модель рабочей площадки для проведения экспериментальных исследований представлена на рис. 1.

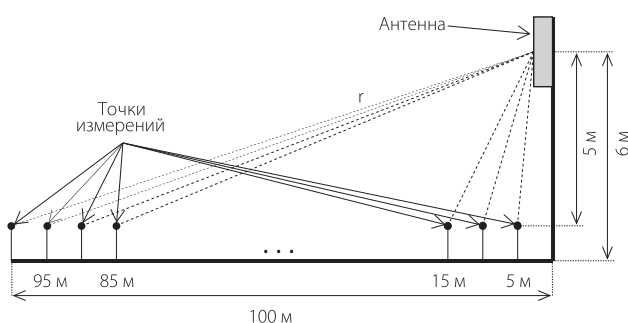


Рисунок 1. Схематическая модель рабочей площадки для проведения натурных измерений

В ходе проведения натурных измерений 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 м от базовой станции на высоте 1 м от земной поверхности.

В настоящее время в Республике Беларусь для расчета уровней ЭМП применяются следующие методики, которые имеют свои особенности:

1. Методика расчета уровней ЭМП в соответствии со специфическими санитарно-эпидемио-

логическими требованиями к содержанию и эксплуатации объектов, являющихся источниками неионизирующего излучения, изложенная в инструкции «Методы определения уровней электромагнитных излучений, создаваемых передающими радиотехническими средствами, работающими в радиочастотном диапазоне». Инструкция по применению (рег. № 006-0413 от 29 апреля 2013 г.) – методика № 1 [1].

2. Методика расчета уровней ЭМП в соответствии с инструкцией «Определение ППМ ЭМП в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700 МГц – 30 ГГц». Инструкция (рег. 4.3-11-10-19-2003 от 26 августа 2003 г., утвержденная постановлением № 94) – методика № 2 [2].

Отличительной особенностью расчета уровней ЭМП по методике № 1 является то, что она справедлива для дальней зоны действия антенны (> 25 м для характеристик экспериментальной базовой станции). Отличительной особенностью расчета уровней ЭМП по методике № 2 является то, что она применима только для ближней зоны антенны, поскольку зависимости функции $F(u, x)$ для $x > 1$ в ней не представлены.

Согласно утвержденной санитарной инструкции для определения санитарно-защитных зон и зон ограничения застройки излучаемая антенной электромагнитная энергия оценивается поверхностной плотностью потока энергии, имеющая размерность мкВт/см². В связи с этим полученные экспериментальные данные с помощью прибора Anritsu MS 2720T в дБм необходимо пересчитать в плотность потока электромагнитной энергии с использованием следующей формулы:

$$P[\text{мкВт/см}^2] = \frac{10^{(P+30)/10} \cdot 4\pi}{G\lambda^2}, \quad (1)$$

где P – мощность, измеренная с помощью прибора Anritsu MS 2720T, дБм; $G = 3,2$ – коэффициент усиления измерительной антенны HyperLog 7060 на частоте 3750 МГц; $\lambda = 0,08$ – длина волны, м.

Для удобства последующего сравнительного анализа результатов математических расчетов и натурных измерений в табл. 1 приведены результаты расчетов уровней совокупного электромагнитного поля в 20 контрольных точках с шагом в 5 м.

Единственным критерием электромагнитной безопасности является соблюдение предельно допустимого уровня по плотности потока энергии электромагнитных излучений (далее – ЭМИ), который для населения Республики Беларусь составляет 10 мкВт/см² [3]. Другие ограничения

Таблица 1. Измеренные и расчетные значения ППЭ ЭМП

Удаление от БС, м	Значение ППЭ				
	По расчетной методике № 1 [1]	По расчетной методике № 2 [2]	Неселективный прибор ПЗ-41	Селективный прибор Anritsu MS 2720T	
	мкВт/см ²	мкВт/см ²	мкВт/см ²	дБм	мкВт/см ²
5	39,979577	0,951	1,16	-26,8	0,1
10	116,21233	1,095	9,1	-17	1,2
15	248,85612	1,171	7,8	-13,5	2,7
20	236,83562	1,183	132,3	-13,2	2,9
25	193,2592	1,234	19,5	-7,8	10,1
30	152,72608	-	66,9	-7,5	10,7
35	121,56107	-	38,46	-9,9	6,2
40	97,911722	-	7,36	-9,5	6,8
45	80,107682	-	5,12	-14	2,4
50	66,557631	-	2,63	-16	1,5
55	55,989223	-	2,64	-22	0,4
60	47,689694	-	2,64	-15	1,9
65	41,090795	-	1,54	-18	0,9
70	35,707829	-	0,62	-25	0,2
75	31,315412	-	0,47	-20,5	0,5
80	27,685021	-	0,33	-23	0,3
85	24,650323	-	0,49	-26,7	0,1
90	22,059974	-	0,67	-26	0,2
95	19,852115	-	0,63	-29	0,08
100	17,959601	-	0,6	-28	0,09

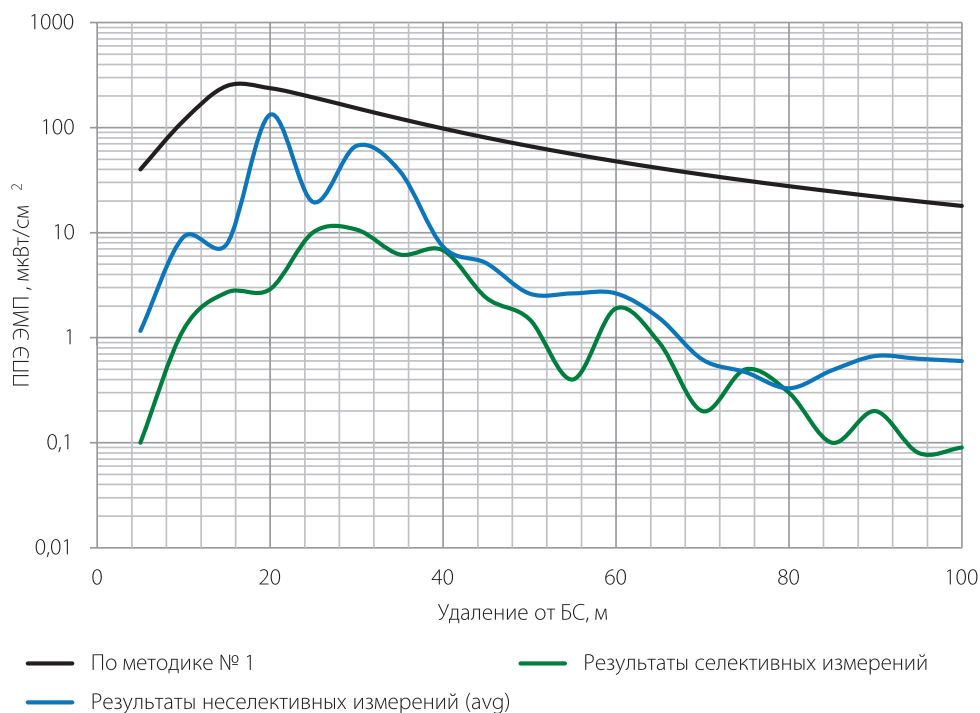


Рисунок 2. Сравнение расчетных и экспериментальных значений ППЭ

действующим законодательством в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения Республики Беларусь не предусмотрены.

На рис. 2 представлены результаты натурных измерений и расчетных значений уровня плотности потока энергии электромагнитного поля, создаваемого антенной системой с технологией Massive MIMO, исследуемой БС: черная линия – расчетные значения ППЭ, полученные в соответствии с методикой № 1; синяя линия – реальные результаты неселективных измерений; зеленая линия – реальные результаты селективных измерений.

Результаты расчетов по методике № 1 в соответствии с действующим санитарно-гигиеническим нормативным документом имеют завышенные значения более чем в 10 раз по сравнению с полученными результатами реальных измерений.

В ходе измерений выявлено существенное различие результатов селективных и неселективных измерений, особенно на расстояниях до 40 м от антенны. Однако следует отметить хорошую корреляцию скорости изменения уровня ППЭ при селективных и неселективных измерениях при удалении от исследуемой антенной системы более чем на 40 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение результатов селективных и неселективных измерений позволяет сделать вывод, что данные измерений, полученные неселективным методом, не вписываются в критерий электромагнитной безопасности с предельно допустимым уровнем ППЭ ЭМИ 10 мкВт/см². Как правило, неселективные измерения показывают большие значения ППЭ ЭМП, 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).

ЛИТЕРАТУРА

1. «Методы определения уровней электромагнитных излучений, создаваемых передающими радиотехническими средствами, работающими в радиочастотном диапазоне». Инструкция по применению (рег. № 006-0413 от 29 апреля 2013 г.).
2. «Определение ППМ ЭМП в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 700МГц-30ГГц». Инструкция (рег. 4.3-11-10-19-2003 от 26 августа 2003 г., утвержденная постановлением № 94).
3. «Специфические санитарно-эпидемиологические требования к содержанию и эксплуатации объектов, являющихся источниками неионизирующего излучения», утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 4 июня 2019 г., № 360.

The article discusses the results of energy flux density levels obtained by analytical prediction by methods currently used in the Republic of Belarus and obtained by field measurements. Due to the active development and introduction of new technologies in the field of telecommunication networks, the adaptation of methods for estimating the values of BS radiation is relevant and little studied at present.

Keywords: levels of electromagnetic fields, energy flux density distribution, Massive MIMO, 5G, electromagnetic safety criterion.