

МОНИТОРИНГ ПОТЕРЬ РАДИОЧАСТОТНОЙ ЭНЕРГИИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ МЕГАПОЛИСА МОСКВЫ

Иконникова Д.М.¹, Кацнельсон А.И.²,
Громова П.И.², Ильянова Д.С.¹

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,

¹департамент электронной инженерии,
²департамент компьютерной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В данной работе оцениваются зоны покрытия операторов сотовой связи в Москве и Московской области по диапазонам используемых частот с учетом распределения мощности, рассмотрены потери радиочастотной энергии телекоммуникационного оборудования.

Введение

Растущие популярность и перспективы использования беспроводного Интернета вещей и киберфизических систем повышают спрос на «зеленые» технологии в сфере мобильных телекоммуникаций. Актуальность исследований, связанных с разработкой созданием «умных» систем для пространственного сбора радиочастотной энергии [1], вынуждает пересматривать покрытие в крупных городах уже не просто с точки зрения качества предоставления услуг, а со стороны изучения доступности определенных диапазонов частот.

Проведено экспериментальное исследование уровней потерь радиочастотной энергии телекоммуникационного оборудования с помощью логопериодической антенны с линейной поляризацией и портативного анализатора спектра с трекинг генератором. Получены результаты затухания электромагнитных волн диапазонов GSM и Wi-Fi при различных условиях окружающей среды, что представляет интерес для разработки эффективных интеллектуальных ректенных систем.

Зоны покрытия

В России, для сотовых операторов мобильной связи выделено 5 частотных диапазонов [2-5]:

1. Частота 2600 МГц для стандарта 4G,
2. Частота 2100 МГц для стандарта 3G,
3. Частота 1800 МГц для стандартов 2G и 4G,
4. Частота 900 МГц для стандартов 2G и 3G,
5. И частота 800 МГц для стандарта 4G.

Однако использование стандарта 5G в данный момент ограничено единственным диапазоном 4,8-4,99 ГГц [2].

GSM голосовая связь на частотах 1800 МГц и 900 МГц до сих пор является безусловным лидером покрытия, однако частоты стандарта 3G уже сопоставимы с ним. Проблема UMTS заключается в использовании частоты 2100 МГц, обеспечивающей более высокую мощность.

Причем то, что частота имеет более сильное затухание при прохождении через препятствия – половина проблемы. Главный вопрос – в использовании этой частоты для работы телекоммуникационных систем военных и силовых ведомств. Поэтому использование частоты 2100 МГц для передачи данных возможно не везде, что наглядно демонстрирует карта покрытия сотового оператора МТС (Рис. 1)

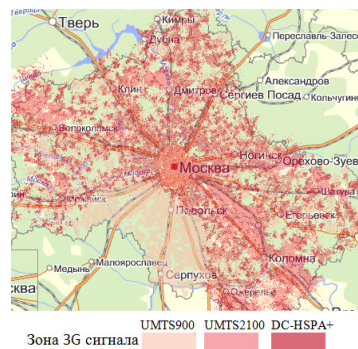


Рис. 1 Карта зоны покрытия UMTS сотового оператора МТС.

Для пользователя не заметно разницы при использовании различных частот одного стандарта связи, однако это оказывает существенное влияние на системы сбора электромагнитной энергии с использованием одночастотной антенны, для которых выбор правильной частоты является главным фактором, определяющим успешность работы.

Рассматривая паттерны покрытия сети на примере Москвы как макрорегиона, можно заметить существенные различия между зонами различных стандартов. На Рис. 2, отражающим карты покрытия сотовым оператором «Т2 Мобайл» двух вариантов стандартов 3G (а) и 4G (б), можно констатировать, что проблемные места покрытий практически не имеют пересечений между собой.

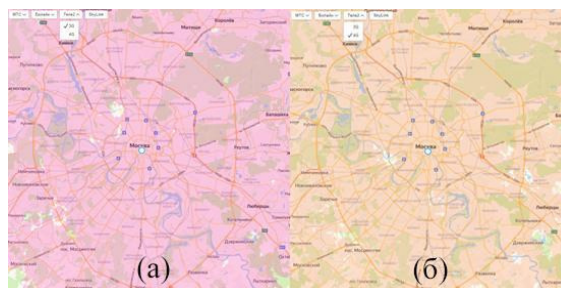


Рис. 2 Карта зоны покрытия 3G (а) и 4G (б) сотового оператора Т2 Мобайл.

Таким образом, для каждого конкретного микрорегиона требуется, в первую очередь, оценка стандартов и протоколов, составляющих сети, а во вторую очередь – учет распределения мощности по частотам внутри каждого из стандартов для возможного использования в интеллектуальных системах сбора радиочастотной энергии.

Мониторинг потерь радиочастотной энергии

Экспериментальное исследование уровней потерь радиочастотной энергии телекоммуникационного оборудования сотовых операторов осуществлено с помощью измерительной логопериодической антенны КМ6-600/6000 с линейной поляризацией и портативного анализатора спектра с трекинг генератором Against SSA-TG R2 [6].

Логопериодическая антенна КМ6-600/6000 предназначена для проведения радиочастотных измерений в диапазоне частот от 600 до 6000 МГц.

Антенна обладает кардиоидной диаграммой направленности (Рис. 3), причем с ростом рабочей частоты возрастает уровень боковых лепестков в вертикальной плоскости с (-21,3) дБ на частоте 1000 МГц, до (-32,3) дБ на частоте 5000 МГц. При этом направленность антенны растет, что определяется уменьшением угла раскрытия по уровню половинной мощности с $145,3^\circ$ до $119,9^\circ$.

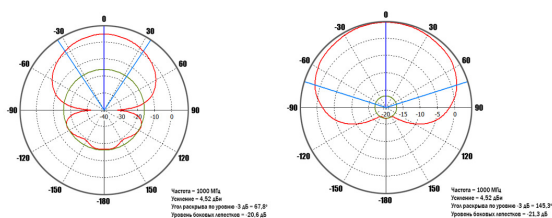


Рис. 3 Диаграммы направленности измерительной антенны КМ6-600/6000 в горизонтальной и вертикальной плоскостях на частоте 1000 МГц.

Коэффициент усиления антенны в диапазоне рабочих частот имеет максимум 6,8 дБ (Рис. 4) на частоте 1400 МГц и далее равномерно изменяется от 5,5 до 5,9 дБ на участке 2000 - 6000 МГц.

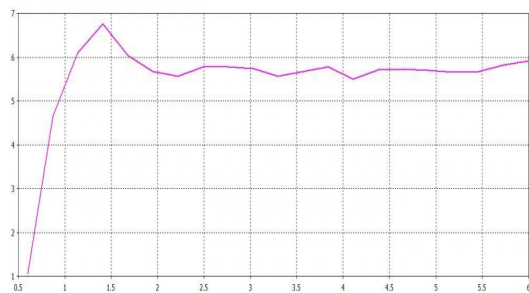


Рис. 4 Зависимость коэффициента усиления измерительной антенны КМ6-600/6000 от частоты.

Для проведения экспериментальных измерений уровней потерь радиочастотной энергии от телекоммуникационного оборудования сотовых операторов в г. Москве были выбраны места, отвечающие основным локациям, которые в течение суток может посещать среднестатистический гражданин. А именно, в помещениях офисного типа, на улицах и центральных площадях, в торговых центрах, метрополитене (как в вагоне поезда, так и на подземных и наземных станциях), лесопарковой зоне, зоне близ реки, в жилом доме.

Диагностирование производилось в старых и новых районах Москвы, в центре и на окраинах, возле промышленных зон. В ходе исследования были получены 26 таблиц со значениями амплитуд в дБ для каждой частоты от 600 до 6000 МГц включительно, далее преобразованных в графики, среди которых 10 были сгенерированы в помещении, а остальные 16 – на открытом пространстве либо в транспорте. Далее собранные данные были сгруппированы по типам локации:

1. Здание МИЭМ НИУ ВШЭ.
2. Улица.
3. Метрополитен.
4. Торговые центры и офисные помещения.
5. Квартира.

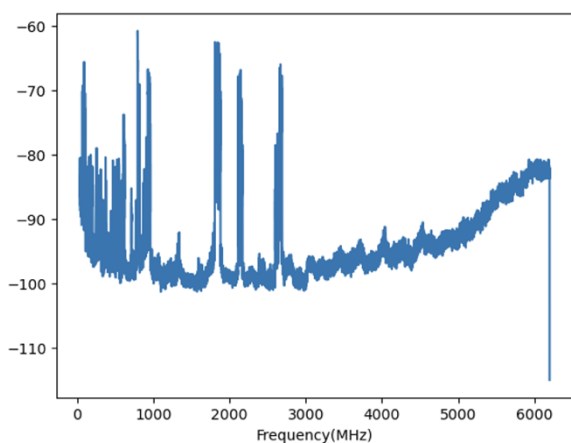
Из полученных результатов эксперимента видно, что общая тенденция занятых частот кардинально не зависит от места проведения исследования. На всех измерениях явно отображены пики на частотах 900, 1800 и 2600 МГц. Данные значения экстремумов являются основными частотами базовых станций мобильной связи, которые, несмотря на индивидуальную передачу информации каждому устройству, подвержены сильному загрязнению радиосферы из-за большой плотности населения и, как следствие, большого числа мобильных устройств, работающих на пиковых частотах. Также хорошо заметно, что амплитуда сигнала базовых станций при измерениях на улице немного выше. Это обусловлено тем, что базовые станции находятся практически в области прямой видимости, и волны не сильно затухают при многочисленных переотражениях, например, от стен домов.

Также следует отметить, что в квартирах одним из наиболее мощных является пик на частоте 2450 МГц, что соответствует сигналам от многочисленных роутеров сети Wi-Fi. Данный максимум практически отсутствует на графике, полученном при измерении на этой частоте, но на улице.

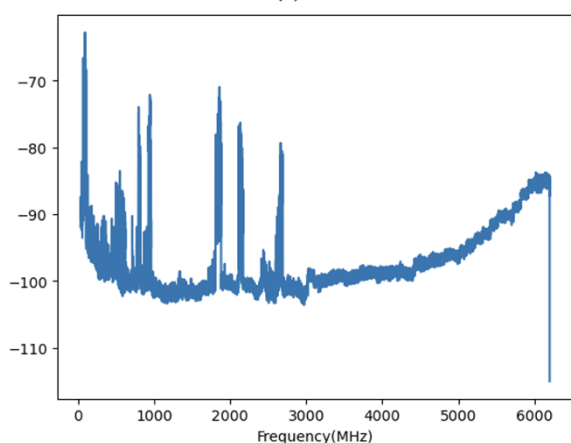
В радиочастотном спектре метрополитена также присутствует небольшой пик от точек доступа Wi-Fi, расположенных в каждом вагоне. Аналогично и для торговых центров (ТЦ) – в них тоже часто присутствует Wi-Fi сеть, причем почти каждый магазин имеет собственную точку доступа, из-за чего амплитуда сигнала существенно выше, чем в квартире. Нельзя не отметить явный пик в самом начале любого из представленных графиков – это пик радиовещательных станций УКВ (FM) диапазона. В городской среде находится избыточное количество различных радиостанций, чем и объясняется крупный всплеск амплитуд сигналов в области от 88 до 108 МГц. Также на всех графиках отлично виден нарастающий пик в 6000 МГц, связанный с функционированием различного измерительного оборудования.

Для дальнейшего анализа используется усреднение экспериментальных результатов по уровню максимальных пиков: оставлено только 2 категории, полученные при исследовании уровней

радиочастотных потерь внутри здания и на улице (Рис. 5).



(а)



(б)

Рис. 5 Усредненные зависимости уровней радиочастотных потерь от частоты на улице (а), внутри здания (б).

Заключение

Проведено исследование уровней потерь радиочастотной энергии телекоммуникационного оборудования мобильных операторов сотовой связи с помощью логопериодической антенны (KM6-600/6000) с линейной поляризацией и портативного анализатора спектра с трекинг генератором Arinst SSA-TG R2. Получены результаты анализа затухания электромагнитных волн диапазонов GSM (UMTS) и Wi-Fi при различных условиях окружающей среды в г. Москве. Из полученных зависимостей следует, что максимальные уровни радиочастотных потерь энергии наблюдаются на частотах 90 МГц, 800 МГц, 1800 МГц, 2100 МГц и 2600 МГц. Данные частоты представляют интерес при создании высокоэффективных интеллектуальных систем сбора радиочастотной энергии для устройств Интернета вещей и киберфизических систем.

Благодарность

Публикация подготовлена в ходе проведения исследования (проект №23-00-003 «Исследование технологий и устройств беспроводного трансфера

электромагнитной энергии для высокоскоростных мобильных и нательных устройств Интернета вещей (IoT/IIoT) и киберфизических систем») в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2022–2023 гг.

Список литературы

1. A.A. Yelizarov, I.V. Nazarov, E.A. Zakirova, A.A. Skuridin, D. Rano. Smart Energy Harvesting System for IoT & Cyber Physical Devices / Proceedings of 2022 IEEE Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). IEEE, 2022. P. 1-5.
2. Yelizarov A. A., Nazarov I., Skuridin A., Yakymenko S., Ikonnikova D. M. Features of Wireless Charging of Mobile and Wearable Devices for the IoT and Cyber Physical Systems/ 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), 20-22 October 2020, Vienna, Austria. IEEE, 2020. P. 1-4.
3. Y.N.Pchelnykov, A.A. Yelizarov, A.G. Pchelnykov. Wireless Charging Mechanism for Outdoor Appliance // 23rd International Crimean Conference "Microwave Equipment and Telecommunications Technologies". September 8-13, 2013. Sevastopol, Crimea, (KryMiKo-2013). Sevastopol: Weber, 2013. P. 1058-1059.
4. A. A. Yelizarov, A. D. Kuznetsov, I. V. Nazarov and I. R. Lavrukhin, "Prospects for Applications of Small-Sized Antennas on Flexible Substrates," 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, IEEE, 2020, P.1-4.
5. Y.N.Pchelnykov, A.A. Yelizarov, A.G. Pchelnykov. Wireless Charger on Coupled Radial Spirals // Proceedings of the 15th IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC-2014). Monterey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. P. 473-474.
6. Portable spectrum analyzer with built-in signal generator Arinst SSA TG R2S manual // Arinst.net URL: <https://arinst.net/files/Spectrum-Analyzer-Arinst-SSA-TG-R2s-ENG.pdf> (дата обращения: 20.01.2023).