

АНАЛИЗ ИЗЛУЧЕНИЯ СЕКТОРОВ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ 5G© 2023 *Е. С. Брусов, А. П. Преображенский**Воронежский институт высоких технологий (Воронеж, Россия)*

В статье обсуждаются вопросы, связанные с развитием беспроводных мобильных сетей, в частности сети 5G, влиянием излучения мобильных устройств 5G на здоровье человека. Приведены характеристики и методы оценки излучения в мобильных сетях. Указаны документальные нормы и предельно допустимые значения уровня излучения на территории РФ. Проведен расчет ориентировочных значений излучений секторов базовых станций 5G. На основе полученных результатов дана оценка излучения мобильных секторов 5G.

Ключевые слова: мобильная сеть, сеть 5G, сектор, базовая станция, излучение.

Реализация сети нового поколения 5G не только позволит увеличить скорость передачи данных, уменьшить задержки в сетях, но и предоставит возможность реализовать большое количество идей, которые невозможно было внедрить в проводных сетях, а также в других технологиях беспроводного доступа.

Основными практическими приложениями при реализации сети 5G являются умные дома. Сеть 5G позволит внедрить большее число устройств на квадратный метр, увеличить скорость передачи данных и снизить задержки. Всё это позволяет создать наиболее современные и гибкие системы автоматизации в каждом отдельном доме. 5G будет иметь ряд положительных качеств, для умного дома, стимулируя внедрение устройств, повышая безопасность и предоставляя альтернативу проводным сетям.

Говоря о безопасности, стоит отметить, что речь идёт не только о защищенности самой сети или пользовательских данных. В современных условиях некоторые вопросы связаны с влиянием сети нового поколения на окружающий мир и в основном на здоровье каждого человека находящегося в зоне действия сети 5G.

Соответственно, перед построением сети 5G и тем более реализации на её основе систем автоматизации – умные дома, необ-

ходимо провести анализ общих характеристик и результатов воздействия каждой отдельной базовой станции, сектора или устройства на окружающий мир и людей.

В рамках данной статьи мы рассмотрим особенности влияния излучения базовых станций, работающих на основе технологии 5G, на организм человека.

Каждое беспроводное устройство при работе является излучателем, который, в свою очередь, создаёт электромагнитное поле и электромагнитное излучение (волны).

Электромагнитное излучение является распространяющимся в пространстве и изменяющимся во времени электромагнитным полем. Каждый передатчик сектора базовых станций мобильной сети работает на основе радиоволн, которые в свою очередь являются электромагнитными волнами.

Электромагнитные поля (ЭМП) являются невидимыми, они изменяются с некоторой частотой, которая измеряется в герцах (Гц).

Нормируемая величина предельно допустимого уровня ЭМП диапазона 30 кГц-300 ГГц для населения составляет 10 мкВт/см², в соответствии с нормативными документами и нормами СанПиН РФ. Стоит отметить, что в других странах, в большинстве стран Европы и Азии, а также США эта норма составляет 200-1000 мкВт/см².

Электромагнитное поле – это совокупность двух неразрывно связанных между собой переменных полей, характеризующихся электрической (E, В/м) и магнитной (H, А/м) напряженностью.

Брусов Евгений Сергеевич – Воронежский институт высоких технологий, аспирант, e-mail: john_bru@mail.ru.

Преображенский Андрей Петрович – Воронежский институт высоких технологий, доктор техн. наук, профессор, e-mail: app@vivt.ru.

При распространении электромагнитного поля происходит перенос энергии, величина которой определяется вектором Умова-Пойтинга. Количественно этот вектор измеряется в Вт/м² и называется плотностью потока энергии I (ППЭ).

$$I \text{ (ППЭ)} = E \cdot H, \text{ Вт/м}^2$$

Радиочастотное распространение определяется как проникновение электромагнитных волн сквозь среду или вдоль нее. При распространении радиоволн в диапазоне частот 100 МГц и 10 ГГц, радиоволны распространяются так же, как и в свободном пространстве. Существует небольшая разница в диэлектрических постоянных пространства и воздуха. Диэлектрическая проницаемость пространства равна 1. Диэлектрическая проницаемость воздуха на уровне моря равна 1,000536. Во всех расчетах, кроме самых высокоточных, этой небольшой разницей пренебрегают.

Устройство базовой станции (передатчик) является изотропным излучателем, то есть – это всенаправленная (сферическая) антенна без потерь. Мощность передатчика, излучаемого изотропной антенной, будет иметь одинаковую плотность мощности (мощность на единицу площади) во всех направлениях. Плотность мощности на любом расстоянии от изотропной антенны – это отношение мощности передатчика к площади поверхности сферы (4π·r²) на соответствующем расстоянии. Площадь поверхности сферы увеличивается пропорционально квадрату радиуса, поэтому плотность мощности будет уменьшаться пропорционально квадрату радиуса.

$$I \text{ (ППЭ)} = E \cdot H = \frac{P}{4\pi \cdot r^2}, \text{ Вт/м}^2$$

здесь P – мощность излучения антенны (передатчика), r – расстояние между антенной и точкой наблюдения.

Данная формула не содержит никаких параметров, касающихся частоты или коэффициента усиления антенны (передатчика). Это означает, что в таком случае мощность сигнала не зависит от частоты сигнала или усиления антенны (передатчика). В реальной жизни мощность сигнала зависит от частоты (длины волны) и усиления антенны.

Примем во внимание коэффициент усиления антенны и зависимость от частоты

(длины волны). В данном случае плотность потока мощности электромагнитного поля ППЭ, излучаемого антенной, можно рассчитать по формуле:

$$\text{ППЭ} = \frac{P \cdot G \cdot \lambda^2}{4\pi \cdot r^2}, \text{ Вт/м}^2$$

где G – коэффициент усиления антенны (передатчика), λ – длина волны.

Стоит снова отметить, что в сетях 5G используются сигналы более высокой частоты, что означает гораздо более короткую длину волны. То есть, если использовать частоту в 2 ГГц в сетях LTE и использовать частоту 20 ГГц в 5G, длина волны в 20 ГГц будет в 10 раз короче, чем длина волны в 2 ГГц.

На основе формулы, описанной выше, произведем расчеты ППЭ сектора базовой станции 5G.

Возьмем усредненные данные и параметры для сектора 5G:

- мощность излучения антенны (передатчика) 5G: P = 20 Вт (взято практически максимальное значение);

- коэффициент усиления антенны (передатчика) 5G: G = 30 dBi (взято практически максимальное значение усиления, на практике значение не превышает 20 dBi).

В диапазонах частот 3 ГГц – 30 ГГц длина электромагнитных волн составляет от 10 до 1 см. Предположим, что частота сектора базовой станции (БС) составляет 6 ГГц, длина волны λ, в данном случае будет равна $\lambda = \frac{c}{n \cdot f}$, где c – скорость света (3·10⁸), n = √εμ – показатель преломления вещества, ε – диэлектрическая проницаемость вещества, μ – магнитная проницаемость вещества. С учетом того, что n = √εμ ≈ 1, получаем значение λ = 0,05 метров (м).

Расстояние от сектора БС до точки наблюдения: r = 50 метров (м).

Подставив значения в формулу, получаем следующий результат:

$$\text{ППЭ} = \frac{P \cdot G \cdot \lambda^2}{4\pi \cdot r^2} = 0,000047 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

или 0,0047 мкВт/см².

Данное значение излучения сектора (передатчика) 5G не превышает нормы Сан-ПиН – 10 мкВт/см². Стоит отметить, что на практике, каждый сектор БС мобильной сети 2G, 3G, LTE имеет 3 передатчика, а сектора

БС 5G могут иметь более 64 передатчиков. Это связано с использованием в сети радиодоступа 5G многоэлементных MIMO (Multiple In, Multiple Out) антенн (Massive-MIMO).

Исходя из этого итоговое значение плотности потока энергии (ППЭ) для одного сектора 5G будет составлять сумму ППЭ для каждого из передатчиков сектора: \sum ППЭ.

Возьмём для расчетов максимальное значение передатчиков для сектора 5G = 64. Произведя итоговые расчеты, получаем значение:

$$\text{ППЭ}_{\text{СУММ}} = 0,3 \text{ мкВт/см}^2$$

Суммарное значение ППЭ сектора 5G с 64-ю передатчиками не превышает нормы СанПиН - 10 мкВт/см².

По текущим стандартам, сектора БС 5G работают на мощности 30 Вт для диапазона частот FR1 (450 МГц – 6 ГГц) и 20 Вт для диапазона частот FR2 (24 250 МГц – 52.6 ГГц). Исходя из этих данных и изученных исследований можно сделать вывод, что уменьшение мощности антенн 5G связана с уменьшением расстояния до мобильных устройств. Фактически, мощность излучения антенн снижается с увеличением частоты электромагнитной волны.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что с выбранными параметрами сектора 5G и расстоянием 50 метров от сектора до точки наблюдения излучение является низким. Результаты не превышают нормы СанПиН, равной 10 мкВт/см² на территории РФ. Важно отметить, что основными условиями (параметрами) в данном случае являются – коэффициент усиления антенны и расстояние от сектора БС 5G до точки наблюдения (излучения).

Приведем пример, при котором основные параметры остаются прежними, кроме r – расстояние от сектора БС до точки наблюдения (излучения). Возьмём $r = 5$ м. Значение ППЭ для одного передатчика будет равно $\approx 0,47$ мкВт/см². С учётом Massive-MIMO и количества передатчиков равное 64-м, итоговое значение ППЭ будет равно $\approx 30,08$ мкВт/см². При $r = 1$ метру, итоговое ППЭ равно ≈ 760 мкВт/см².

Вывод. Стоит отметить, что сектора мобильной сети, в том числе сектора 5G не размещаются на таком расстоянии к жилым постройкам, то есть направленное излучение

никак не может быть направлено на человека на расстоянии одного метра, даже пяти. При строительстве БС соблюдаются все нормы и документальные правила. Только целенаправленно можно оказаться на таком расстоянии к сектору БС, но долгое нахождение возле него на таком расстоянии приведет к серьёзным последствиям.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Архитектура сети 5G. [Электронный ресурс]. Доступно по: <https://itechinfo.ru/node/136>.
2. 5G Mobile Communications, Ed. Wei Xiang, Kan Zheng, Xuemin (Sherman) / Shen, 2017. – С. 77-116.
3. Сеть радиодоступа 5G. [Электронный ресурс]. Доступно по: <https://itechinfo.ru/content/> (дата обращения: 07.02.2022).
4. Сеть радиодоступа 5G. Структура радиоинтерфейса сети 5G-NR. [Электронный ресурс]. Доступно по: <https://itechinfo.ru/content/> (дата обращения: 07.02.2022).
5. New Transport Network Architectures for 5G RAN. A Heavy Reading white paper produced for Fujitsu. 2018. [Электронный ресурс]. Доступно по: <https://www.fujitsu.com/us/Images/New-Transport-Network-Architectures-for-5G-RAN.pdf> (дата обращения: 07.02.2022).
6. Степутин А. Н. Мобильная связь на пути 6G. В 2 Т. Том 1 / А. Н. Степутин, А. Д. Николаев – 2-е изд. – Москва-Вологда: Инфа-Инженерия, 2018. – 420 с.
7. Разинкин К. А. Консенсусное управление и мультиагентное обучение с подкреплением в задачах структуризации проектных сетей / К. А. Разинкин, Е. С. Соколова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 4 (39). – С. 10-11.
8. Комплексование механизмов искусственных иммунных систем в составе интегрированной системы обнаружения атак на промышленный интернет вещей / В. И. Васильев [и др.] // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 4 (39). – С. 13-14.
9. Hybrid intrusion detection system with the use of a classifiers committee / V. I. Vasilyev // Modeling, Optimization and Information

Technology. – 2022. – Т. 10. – № 4 (39). – С. 14-15.

10. Методика оценки текущего состояния инженерной телекоммуникационной инфраструктуры сегмента сети связи специ-

ального назначения / А. В. Попов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 3 (38). – С. 28-29.

RADIATION ANALYSIS OF 5G BASE STATION SECTORS

© 2023 *E. S. Brusov, A. P. Preobrazhensky*

Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)

The paper discusses issues related to the development of wireless mobile networks, in particular the 5G network, the impact of radiation from 5G mobile devices on human health. The characteristics and methods of radiation assessment in mobile networks are given. The documentary norms and maximum permissible values of the radiation level in the territory of the Russian Federation are noted. The approximate values of the radiations of the sectors of the 5G base stations have been calculated. Based on the results obtained, the radiation of 5G mobile sectors is estimated.

Keywords: mobile network, 5G network, sector, base station, radiation.