

УДК 336

*Хамидов Хасан Абдумуталович*

*Ведущий инженер службы анализа электромагнитной совместимости  
ГУП «UNICON.UZ»*

*Мухамедаминов Азиз Одилжонович*

*Ассистент Ташкентский университет информационных технологий  
имени Мухаммада аль-Хорезми*

*Каюмова Азиза Мурат кизи*

*Студентка СФИТ-БГУИР Ташкентский университет  
информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми*

## **МОБИЛЬНЫЕ СЕТИ 5G, ЗАДАЧИ И ТЕХНОЛОГИИ**

**Аннотация:** В статье отмечается важность сконцентрированный опрос установленный на миллиметровом диапазоне волн вызов и основные технологии, необходимые для включения 5G мобильная система для эффективно использования этой полосы. Высокая потеря пути, атмосферное затухание, дожди амортизация, и ограниченное представление прибора вероятно, основные препятствия для установления практических схемы и системы на частотах миллиметровых волн.

**Ключевые слова:** GSM, 3G, 4G, 5G, миллиметровые волны связь, путь потери, формирование Луча, мелкая клетка макропомех (RMa) микропомех (UMi).

*Khamidov Khasan Abdumutalovich*

*Leading Engineer, Electromagnetic Compatibility Analysis Service, State  
Unitary Enterprise "UNICON.UZ"*

*Mukhamedaminov Aziz Odilzhonovich*

*Assistant, Tashkent University of Information Technologies named after  
Muhammad al-Khorezmi*

*Kayumova Aziza Murat kizi*

*Student of SFIT-BSUIR Tashkent University of Information Technologies  
named after Muhammad al-Khorezmi*

## **5G MOBILE NETWORKS, CHALLENGES AND TECHNOLOGIES**

**Abstract:** The article notes the importance of the concentrated polling of the call set on the millimeter wave and the basic technologies required to enable a 5G mobile system to efficiently use this band. High path loss, atmospheric attenuation, rainfall damping, and limited instrument performance are likely the main obstacles to establishing a practical circuit and system at millimeter wave frequencies.

**Key words:** GSM, 3G, 4G, 5G, millimeter-wave communication, path of loss, Beam formation, small macro-interference cell (RMa), micro-interference (UMi).

**Введение**

Сегодня телекоммуникационная отрасль в Узбекистане и во всем мире стоит на пороге внедрения нового, пятого поколения мобильной связи. Подобно предыдущим поколениям, 5G даст толчок развитию не только телекоммуникационной, но и другим отраслям экономики. Ожидаемые технологические инновации стандарта пятого поколения приведут к росту пропускной способности сетей мобильных операторов и скорости передачи данных, а также к появлению новых сценариев использования мобильной связи и развитию инновационных цифровых услуг. Это будет способствовать экономическому развитию за счет увеличения производительности, автоматизации и внедрения новых технологий в различных сферах экономики и деятельности человека.

Стандарт 5G - новый этап развития технологий, который обеспечит неограниченный доступ к сети пользователей и устройств. С момента появления и до сегодняшнего дня сети мобильной связи прошли большой путь развития; появились новые типы пользовательских устройств - смартфоны и планшеты. Возможности, которые открывают мобильные технологии сегодня, уже давно вышли за рамки голосовых услуг, создавая новые способы общения, обмена данными.

Огромный рост скорости передачи данных был преодолен системой мобильной связи 5-го поколения (5G), которая обеспечила скорость передачи данных 10 Гбит/с и задержку около 1мс. По мере того, как спрос на сотовые данные растет, фактическая полоса спектра 3 ГГц становится такой переполненной. Это приводит к поиску новых выделенных частотных полос мобильной связи, которые могут предложить большое количество широкополосного спектра. В мобильной системе 5G будет принят спектр сверхширокополосной миллиметровой волны. Диапазон частот миллиметровой волны от 30 ГГц до 300 ГГц составляет существенную часть неиспользованного частотного спектра, что является важным ресурсом для будущих беспроводных систем связи с целью

удовлетворения экспоненциальной потребности в емкости. В данной работе мы предоставляем обзор общих характеристик полосы частот миллиметровой волны и ее основных проблем, а также указываем необходимые технологии, которые были бы необходимы для создания 5G системы в качестве реального и эффективного решения [1].

### **Технические требования к системе 5G**

Научные и промышленные предприятия согласовали следующие технические требования к беспроводной сети 5G.

-Покрытие и скорость передачи данных: 5G должен сохранять онлайн-связь в любое время и в любом месте с минимальной скоростью передачи данных от 1 Гбит/с до 10 Гбит/с;

-Задержка: Предполагается, что сквозная задержка для 5G составит порядка 1-5 мс;

-Подключенные устройства: Сеть 5G будет иметь возможность интегрировать множество подключенных устройств, плотность этих устройств будет увеличена в 100 раз, в то время как плотность трафика увеличится в 1000 раз по сравнению с беспроводной сетью 4G;

-Технологии множественного радиодоступа: Сеть 5G не рассматривается как замена существующих беспроводных сетей. Она будет построена на современных беспроводных технологиях таким образом: GSM, 3G, HSPA, 4G (LTE-A) и беспроводная точность (Wi-Fi);

-Энергосбережение и экономическая эффективность: Беспроводные сети 5G должны быть созданы для удовлетворения потребностей приложений, потребляющих данные, но с меньшими затратами и более высокой эффективностью использования энергии по сравнению с существующей беспроводной сетью. [2].

## Проблемы распространения миллиметровых волн

Наиболее важные проблемы, влияющие на использование диапазона мм-волн для мобильной системы связи 5G, были показаны на рис. 1, и их можно резюмировать следующим образом:

### Потеря пути распространения

Потеря пути для мм-волн значительна и может ограничивать распространение. В данном разделе были проиллюстрированы три типа моделей потерь пути; первый из них - модель потерь пути свободного пространства, модель потерь пути сельских макропомех (RMa) и модель потерь пути городских микропомех (UMi) в больших масштабах.



Рис. 1: Основные проблемы распространения в мм-волнах.

### Модель потерь пути свободного пространства

Например, потеря свободного космического пути (FSPL) между двумя общающимися изотропными антеннами, разделенными расстоянием  $d$  в километрах (км) и работающими на частоте  $f$  в МГц, дается посредством следующей формулы [3].

$$FSPL_{dB} = 32.4 + 20 \log f_c + 20 \log d \quad (1)$$

Уравнение (1) может быть сформулировано как:

$$FSPL_{dB} = 92.4 + 20 \log f_c + 20 \log d \quad (2)$$

где  $L_{FSP}$  - потеря свободного пространства в дБ,  $f_c$  - несущая частота в ГГц;  $d$  - расстояние LOS между передатчиком и приемником в км. Это означает высокую потерю пространства FSPL, поскольку несущая частота входит в частную полосу миллиметровой волны, в сравнении с полосой Sub-3 ГГц. Потеря свободного пространства между передающей и принимающей антенной возрастает с увеличением несущей частоты  $f_c$ . Всенаправленная потеря пути примерно на 20 дБ выше в мм-волнах по сравнению с текущими подвижными частотами на расстояниях, имеющих отношение к малым ячейкам, как показано здесь на Рис.2, используя (2) для случая 30 ГГц и 3 ГГц соответственно. Однако, из-за уменьшения длины волны, эти потери могут быть полностью компенсированы пропорциональным увеличением усиления антенны без увеличения физического размера антенны, что может быть достигнуто при использовании решеточной антенны и техники формирования луча.

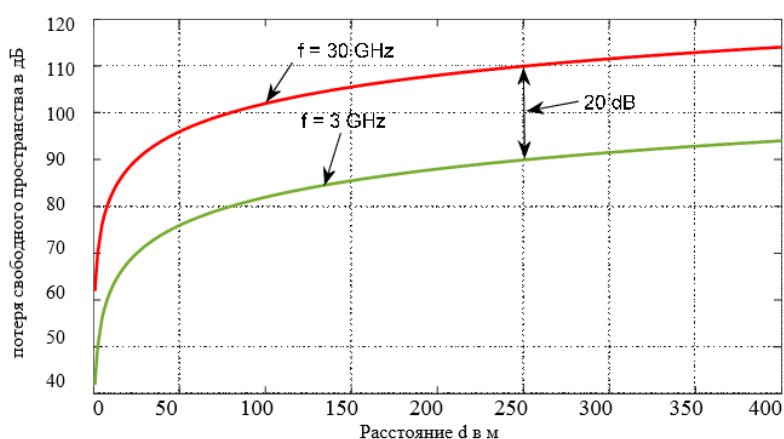


Рис.2: Потеря свободного пространства

Модель потери пути сельских макропомех

Общая формула пути потери модели близкого опорного расстояния (CI) выражается следующим образом:

$$PL^{CI}(f_c, d) [dB] = FSPL(f_c, d_0) [dB] + 10n \log_{10}(d/d_0) + x_\sigma \quad (3)$$

Где  $d \geq d_0$ , PL – это потеря пути, измеренная в дБ, которая является функцией разделения T-R расстояния  $d$  в метрах между TX и RX,

FSPL - потеря свободного пространства в дБ на расстоянии  $d_0$ ,  $f_c$  - несущая частота в ГГц, а  $d_0$  - близкое опорное расстояние в свободном пространстве в метрах. Для расстояния  $d$  между TX и RX могут быть использованы 2D или 3D расстояния,  $n$  представляет собой экспоненту потерь пути (PLE), а  $x_\sigma$  обозначает затухание тени, которое является нулевой случайной величиной Гаусса со стандартным отклонением  $\sigma$  в дБ.

Модель потери пути сельских макроэлементов близкого опорного расстояния для среды LOS и NLOS может быть записана как:

$$PC_{LOS}^{CI}(f_c, d)[dB] = 32.4 + 21.6 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c) + x_{\sigma_{LOS}} \quad (4)$$

Где  $d \geq 1$  м и  $\sigma_{LOS} = 1.7$  дБ

$$PC_{NLOS}^{CI}(f_c, d)[dB] = 32.4 + 21.6 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c) + x_{\sigma_{NLOS}} \quad (5)$$

Где  $d \geq 1$  м и  $\sigma_{NLOS} = 6.7$  дБ

где затухающие стандартные отклонения теней  $\sigma_{LOS}$  и  $\sigma_{NLOS}$  составляют 1,7 дБ и 6,7 дБ, соответственно, в соответствии с измеренными данными. Потери пути сельских макроэлементов действительны для расстояний от 1 м до 11 км и частот от 500 МГц до 100 ГГц.

Модель потерь пути городских микропомех в больших масштабах

Общая модель потери пути городской микропомехи учитывает частотную зависимость потери пути при использовании опорного расстояния близкого расстояния по закону Фрииса.

$$PL^{CI}(f_c, d_{3D})[dB] = FSPL(f_c, 1m) + 10n \log_{10}(d_{3D}) + x_\sigma^{CI} \quad (6)$$

Где  $x_{\sigma}^{CI}$  – затухание теней (SF), которое моделируется как Гауссовская случайная величина со средним нулевым и стандартным отклонением в дБ,  $n$  - это экспонент потери пути (PLE), найденный путем минимизации погрешности измеренных данных до (2),  $d > 1$  м,  $FSPL(f_c, 1m)$  - это потеря свободного пространства ( $FSPL$ ) на частоте  $f_c$  в ГГц на 1 м и рассчитывается по ней:

$$FSPL(f_c, 1m) = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi f_c \times 10^9}{c} \right) = 32.4 + 20 \log_{10}(f_c) [dB] \quad (7)$$

Где  $c$  – скорость света,  $3 \times 10^8$  м/с.

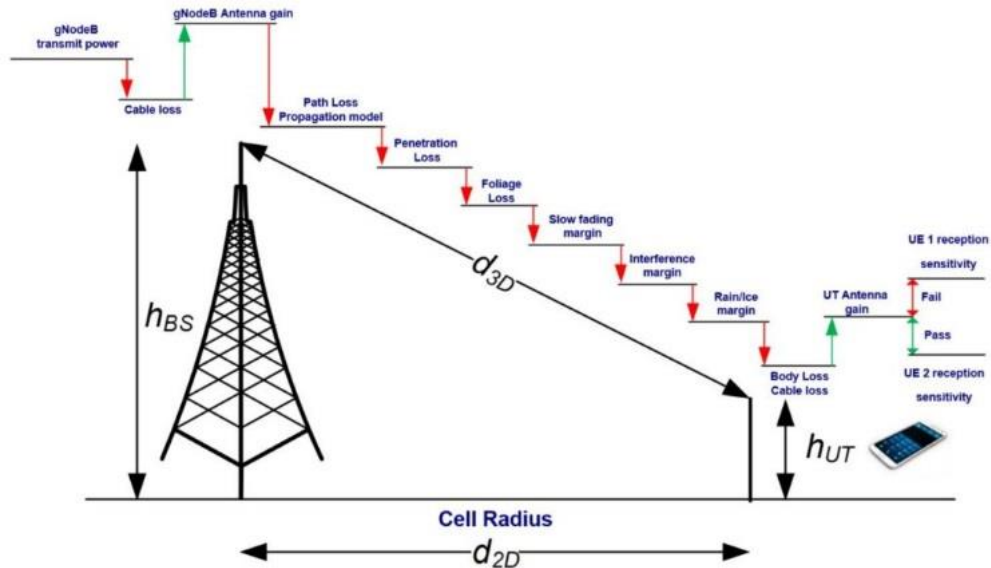
Используя (7), становится ясно, что (6) можно представить, как указано в (8) и (9) ниже, чтобы представить модель потери пути городских микропомех для наружного и уличного ущелья для LOS и NLOS соответственно. Эти уравнения действительны для частотного диапазона от 6 ГГц до 100 ГГц [T. S. Rappaport, *et al.*, "Overview of millimeter wave communications for fifthgeneration (5G) wireless networks—with a focus on propagation models," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, pp. 6213-6230, 2017.].

$$PL_{LOS} = 32.4 + 21 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) + x_{\sigma} \quad (8)$$

$$PL_{NLOS} = 32.4 + 31.7 \log_{10}(d_{3D}) + 20 \log_{10}(f_c) + x_{\sigma} \quad (9)$$

Где  $f_c$  – несущая частота в ГГц ( $6 < f_c < 100$  ГГц),  $d_{3D}$  - это расстояние от верхней части UE до верхней части BS в метрах, как показано на Рис.3. Коэффициент затухания теней представлен как  $x_{\sigma}$  и является Гауссовской переменной со средним нулевым и стандартным отклонением  $\sigma = 3.76$  и  $\sigma = 8$  для LOS и NLOS соответственно.

Вышеприведенная модель СИ связывает потери пути на любой частоте с потерями пути в физическом свободном пространстве на расстоянии 1 м в соответствии с уравнением свободного пространства Фрииса, и было



показано, что она точна в различных случаях.

Рис.3: Передача на расстояниях для распространения модели городских микропомех

### Затухание осадков

При проливном дожде передача мм-волн может сильно затухать, так как капли дождя близки к размеру длин волн (в миллиметрах) и, следовательно, приводят к рассеянию. При очень сильных осадках 25 мм/час затухание осадков на частоте 28 ГГц составляет 6 дБ/км, как показано на Рис.4. [4].



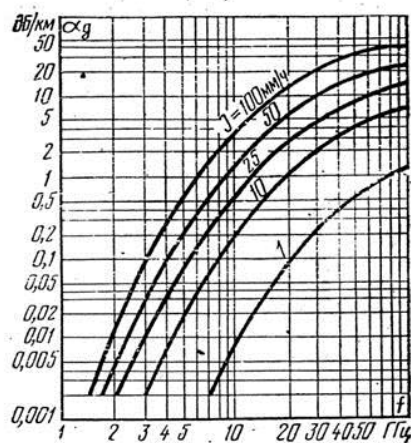


Рис.4: Характеристики затухания дождя при распространении мм-волны в дБ/км

Однако затухание дождя уменьшится примерно до  $(6/1000) \times 200 = 1,2$  дБ, если площадь покрытия соты составляет в радиусе 200 м. Очевидно, что затухание дождя может оказать незначительное влияние на распространение мм-волн на частоте от 28 ГГц до 38 ГГц для малых ячеек.

#### Атмосферное поглощение

Известно, что кислород и водяной пар ( $H_2O$ ) оказывают влияние на атмосферу. На Рис.5 представлены характеристики атмосферного поглощения по частоте для распространения волн в дБ/км. Затухание, связанное с атмосферным поглощением, составляет 0,012 дБ, более 200 м при 28 ГГц и 0,016 дБ, более 200 м при 38 ГГц. Затухание, связанное с атмосферным поглощением, составляет 0,012 дБ, более 200 м при 28 ГГц и 0,016 дБ, более 200 м при 38 ГГц. У 70-100 ГГц и 125-160 ГГц также есть небольшие потери.

В связи со значительным затуханием атмосферы (20 дБ/км), соглашение о диапазоне 60 ГГц будет назначено для применения внутри помещений на коротких расстояниях (несколько метров).

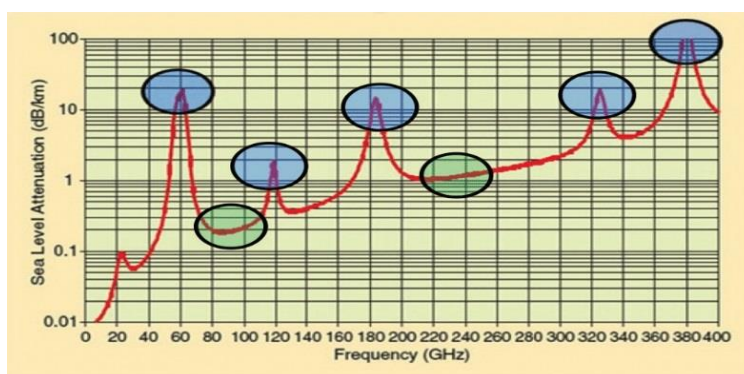


Рис.5: Поглощение электромагнитных волн в атмосфере на уровне моря.

Наиболее важные выделенные частоты в полосе частот мм-волн приведены в Табл.1.

Табл. 1. 5G Распределение частот

Частота (ГГц)	Тип полосы	Приложения
28, 38 и 73	Лицензированный	Мобильная сотовая система
60, 120, 183, 325 и 380	Нелицензированный	Short rang (в помещении)
77 и 240	Нелицензированный	Промышленные, научные и медицинские (ПНМ)

#### Затухание листьев

Наличие растительности между передатчиком и приемником создает дополнительное затухание сигнала, что может серьезно повлиять на качество обслуживания системы мобильной связи.

На Рис. 6 показана затухание листьев, вызванное наличием нескольких деревьев, где толщина показанных линий представляет собой мощность сигнала.

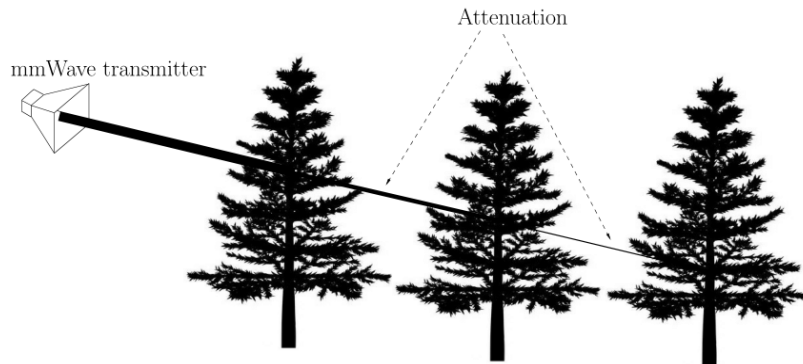


Рис. 6: Иллюстрация затухания листьев.

#### Человеческая блокада

Миллиметровые волновые системы связи могут обеспечить высокую скорость передачи данных порядка нескольких Гбит/с по сравнению с СВЧ, связь в сетях мм-волн, как ожидается, будет работать на более коротких расстояниях и в переполненных городских средах. Быстрое затухание каналов, вызванное пешеходами в плотной городской среде, окажет значительное влияние на системы связи с миллиметровыми волнами (мм-волны), которые используют электрически-устойчивые и узко-лучевые антенные решетки.

Поскольку высота передатчика базовой станции 5G может быть значительно ниже, чем высота традиционных базовых станций (BS), люди, окружающие приемник, могут выступать в роли блокираторов распространения сигнала. Кроме того, присутствие человека между передатчиком и приемником сильно ослабляет принимаемый сигнал (Рис.7). Человеческое тело может уменьшить уровень сигнала порядка 20 дБ [5].

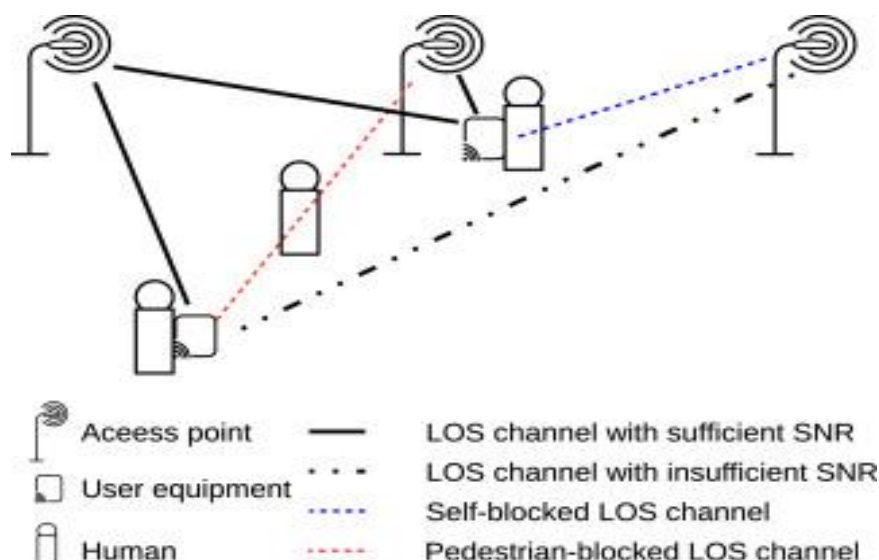


Рисунок 7: Случай блокировки человеком.

Миллиметровая (мм-Вт) связь была принята в качестве технологии для мобильных систем 5G.

**Выводы.** Эта технология обеспечивает скорость передачи данных в нескольких гигабитах в секунду диапазон частот от 30 ГГц до 300 ГГц.

Мы приходим к выводу, что, хотя mm-W системы имеют всенаправленную потерю пути, которая составляет 20 дБ хуже, чем фактические частоты ниже 3 ГГц, то использование малых размеров ячеек в городских условиях на порядка 200 м в сочетании с антенной решеткой техника формирования луча способна полностью компенсировать потери, поэтому мобильная система 5G это будет работать.

### Список литературы

[1] S. V. K. Kumar and T. V. Poornima, "A Study of Wireless Mobile Technology," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 4, pp. 470-474, 2018.

[2] G. Andrews, *et al.*, "What will 5G be?," *IEEE journal on selected areas in communications*, vol. 32, pp. 1065-1082, 2018.

- [3] I. A. Hemadeh, *et al.*, "Millimeter-wave communications: physical channel models, design considerations, antenna constructions, and link-budget," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, pp. 870-913, 2018.
- [4] T. S. Rappaport, *et al.*, "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!," *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335-349, 2013.
- [5] I. K. Jain, *et al.*, "Limited by Capacity or Blockage? A Millimeter Wave Blockage Analysis," *arXiv preprint arXiv:1808.01228*, 2018.