

УДК 621.396.41

**А.К. Мовчан, Е.В. Рогожников, Э.М. Дмитриев, С.А. Новичков, Д.В. Лаконцев****Расчет ослабления сигнала сетей сотовой связи 5G для частот диапазона FR1**

Представлена модель распространения радиосигнала системы сотовой связи пятого поколения с учетом неравномерности рельефа местности. Целью исследования является оценка уровня мощности сигнала на приемной стороне системы сотовой связи четвертого и пятого поколений при распространении сигнала над неровной местностью на частотных диапазонах FR1 (2,6 ГГц), FR1 (4,9 ГГц). При оценке мощности радиосигнала на приемной стороне в модели в качестве неровной местности использованы значения карты высот г. Томска, полученной в ходе программы SRTM3. Представленная модель распространения радиосигнала является моделью ITM (Irregular Terrain Model) Лонгли–Райса. Для данной модели приведены основные выражения, определяющие результирующее ослабление сигнала, а также выражения, описывающие геометрию трассы распространения. В статье отражены основные факторы, определяющие распространение сантиметровых волн, характерных для системы сотовой связи пятого поколения, приведены результаты моделирования распространения сигнала сотовой связи пятого 5G и четвертого 4G поколений на примере различных сценариев расположения абонентского терминала и базовой станции в г. Томске. Моделирование производилось для двух частотных диапазонов FR1 (4,9 ГГц) сети 5G и FR1 (2,6 ГГц) сети 4G. В результате моделирования получены значения ослабления уровня мощности сигнала при распространении на заданных трассах, а также, с учетом параметров приемопередающего оборудования, рассчитаны значения мощности сигнала на приемной стороне. По полученным данным произведена сравнительная оценка дальности связи для систем 4G и 5G.

**Ключевые слова:** 5G, мобильная связь, распространение радиоволн, зона покрытия, карта высот местности.

**DOI:** 10.21293/1818-0442-2021-25-1-17-23

На сегодняшний день по всему миру происходит активное внедрение сетей сотовой связи пятого поколения 5G NR (fifth generation new radio) [1].

Основными отличительными особенностями сетей 5G от сетей четвертого поколения являются: более высокие скорости передачи данных до 20 Гбит/с при передаче от базовой станции (БС) к абонентскому терминалу (АТ) и 10 Гбит/с при передаче в обратную сторону, меньшая задержка обработки данных в сети до 0,5 мс, большая энергоэффективность, поддержка трафика для устройств интернета вещей IoT (internet of things), большая плотность подключения абонентов к сети до 1 млн/км<sup>2</sup> [2].

Вышеописанные преимущества сети 5G достигаются благодаря использованию дополнительных частотных диапазонов и широкой полосы частот.

В спецификации 5G предполагается использовать два частотных диапазона: низкочастотный диапазон FR1 от 450 МГц до 6 ГГц и высокочастотный диапазон FR2 от 24,25 до 52,6 ГГц [3].

В России для сетей 5G выделены следующие полосы радиочастот: в FR1 это n79 с частотами от 4,4 до 5 ГГц, в FR2 это полоса n258 с частотами от 24,25 до 27,5 ГГц. При этом ширина полосы частот, занимаемая одним каналом, может составлять в FR1 до 100 МГц, а в FR2 – до 400 МГц. Для повышения энергоэффективности в 5G применяется технология формирования направленного радиолуча Beam Forming (BF), позволяющая автоматически ориентировать максимум излучения передатчика в сторону абонентского терминала [4, 5].

В системах связи для расчетов, связанных с определением уровня мощности полезного сигнала, приходящего на приемник, и последующим расче-

том зоны уверенного приема (зоны покрытия), необходима информация о технических характеристиках средств связи [6, 7]. В табл. 1 представлены основные технические характеристики приемопередающей аппаратуры БС и АТ для сети 5G. Данные, указанные в табл. 1, справедливы для базовой станции широкого радиуса действия (Wide Area BS) и для диапазона частот FR1 [8].

Таблица 1  
**Характеристики приемопередающей аппаратуры базовой станции и абонентского терминала**

Параметр	Базовая станция 5G (4G)	Абонентский терминал
Мощность передатчика, дБм	43	22
Чувствительность приемника, дБм	-100,4	-85,7
Коэффициент шума приемника, дБ	10	10
Коэффициент усиления антенны, дБ	15	6

Диапазоны используемых в 5G частот относятся к сантиметровым радиоволнам (от 3 до 30 ГГц). Сантиметровые радиоволны распространяются в пределах прямой видимости и, в отличие от более длинных радиоволн, они не дифрагируют вокруг холмов, не огибают земную поверхность, как поверхностные радиоволны, и не отражаются от ионосферы, поэтому наземные каналы связи, использующие сантиметровые радиоволны, ограничены визуальным горизонтом в зависимости от высоты подвеса антенн. В верхней части сантиметрового диапазона они поглощаются газами в атмосфере, ограничивая практическое расстояние связи примерно до километра. Также стоит отметить, что распространение радиоволн в современной городской среде является сложной неоднородной электродинамиче-

ской структурой, в которой рельеф подстилающей поверхности оказывает существенное влияние на формирование поля в точке приема.

Ослабление коротковолнового сигнала в городе также вызвано отражением и рассеянием энергии радиоволны на крупных строениях. При этом отражение происходит, если размеры препятствия много больше длины волны. Также возможно поглощение мощности радиоволны препятствием.

В случае если размеры препятствия порядка длины волны или меньше, происходит рассеяние поступающей на край препятствия радиоволны, при этом она разделяется на множество радиоволн, распространяющихся в разные стороны [9].

В данной работе приводятся результаты оценки затухания сигнала между БС сети 5G и АТ для трех возможных случаев на примере г. Томска. Оценка затухания сигнала производится в разработанном программном обеспечении (ПО). Разработанное ПО реализовано на языке программирования C++ и производит расчет потерь мощности сигнала при его распространении на основе данных о рельефе местности, основываясь на модели распространения радиоволн ИТМ (Irregular Terrain Model) Лонгли–Райса [10].

#### Модель Лонгли–Райса

При прогнозировании распространения радиоволн модель Лонгли–Райса учитывает неоднородности рельефа местности [11]. Также данная модель имеет относительно малую чувствительность к частоте сигнала, позволяющую вести расчет для достаточно широкополосного сигнала, каким является сигнал сети 5G, сводящийся к расчету для центральной частоты. В данном случае реализован режим прогнозирования распространения радиоволн «точка-точка», при котором мощность полезного сигнала на приемной стороне зависит от геометрии трассы распространения радиоволны в выбранной местности, рефракции атмосферы и заданных характеристик направленности антенны приемопередающего оборудования. В общем случае мощность полезного сигнала на приемной стороне можно представить в виде следующего выражения:

$$P_{\text{rx}} = P_{\text{tx}} - \eta_{\text{tx}} + G_{\text{tx}} - A_0 - \eta_{\text{rx}} + G_{\text{rx}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{tx}}$  – выходная мощность передатчика;  $\eta_{\text{tx}}$ ,  $\eta_{\text{rx}}$  – потери в антенном фидере передатчика и приемника;  $G_{\text{tx}}$ ,  $G_{\text{rx}}$  – коэффициенты усиления антенн передатчика и приемника;  $A_0$  – результирующее ослабление радиосигнала на трассе.

Результирующее ослабление  $A_0$  радиосигнала при распространении согласно модели Лонгли–Райса определяется потерями в свободном пространстве, дифракцией, тропосферным рассеянием и статистическими параметрами изменчивости условий распространения:

$$A_0 = A_{\text{fs}} + A_{\text{ref}} + A_{\text{var}}, \quad (2)$$

где  $A_{\text{fs}}$  – ослабление свободного пространства;  $A_{\text{ref}}$  – ослабление дифракцией и рассеянием радиоволны;  $A_{\text{var}}$  – ослабление изменчивостью условий распространения.

Ослабление радиоволны при распространении в свободном пространстве вызвано сферической расходимостью фронта волны и определяется как длиной волны, так и расстоянием передачи

$$A_{\text{fs}} = 20 \lg \left( \frac{4\pi df}{c} \right), \quad (3)$$

где  $d$  – протяженность трассы распространения;  $f$  – частота радиоволны;  $c$  – скорость света.

Ослабление  $A_{\text{ref}}$  определяется совместным действием дифракции, рассеяния и поглощения радиоволны:

$$A_{\text{ref}} = A_{\text{diff}} + A_{\text{scatt}} + A_{\text{a}}, \quad (4)$$

где  $A_{\text{diff}}$  – ослабление дифракцией радиоволны;  $A_{\text{scatt}}$  – ослабление рассеянием радиоволны;  $A_{\text{a}}$  – ослабление поглощением атмосферы.

Дифракционные потери  $A_{\text{diff}}$  при распространении радиоволны вызваны наличием преграждающих препятствий на пути распространения. Для трасс, где расстояние между передающей и приёмной станциями меньше, чем расстояние до их собственного радиогоризонта, дифракционные потери могут возникать на выступах земной поверхности вследствие неравномерности рельефа местности на трассе. Для загоризонтных трасс, на которых расстояние между передающей и приёмной станциями больше, чем расстояние до их собственного радиогоризонта, дифракционные потери возникают преимущественно там, где радиоволна пересекает линию горизонта.

Потери, вызванные тропосферным рассеянием,  $A_{\text{scatt}}$  проявляются вследствие диэлектрической неоднородности тропосферы при условии, что размеры неоднородностей превышают длину волны передаваемого сигнала. Диэлектрическая неоднородность тропосферы возникает вследствие локального изменения давления, температуры и влажности, что приводит к локальному изменению коэффициента преломления атмосферы. Расчет потерь, вызванных дифракцией и рассеянием в модели Лонгли–Райса, производится на основе законов геометрической оптики.

Ослабление  $A_{\text{a}}$ , вызванное поглощением радиоволны атмосферными газами, происходит в результате потерь энергии радиоволны в кислороде и парах воды и определяется плотностью водяных паров и температурой вблизи поверхности трассы распространения. Ослабление атмосферным поглощением необходимо учитывать лишь в высокочастотном диапазоне FR2.

Ослабление  $A_{\text{var}}$ , учитывающее вероятностный характер изменчивости условий распространения на заданной трассе, определяется следующим образом:

$$A_{\text{var}} = -V_{\text{med}} - Y_T - Y_L - Y_S, \quad (5)$$

где  $V_{\text{med}}$  – среднегодовое медианное значение потерь;  $Y_T$  – потери, вызванные изменчивостью среднечасовых значений затухания;  $Y_L$  – потери, вызванные изменчивостью местоположения в пространстве;  $Y_S$  – потери, вызванные изменчивостью ситуаций при измерениях.

Статистический параметр среднегодового медианного значения потерь  $V_{med}$  определяет медианное значение потерь, которое зависит от климата в рассматриваемом регионе местности. Параметр изменчивости во времени  $Y_T$  учитывает изменения среднечасовых значений затухания, например, из-за медленных изменений атмосферной рефракции или интенсивности атмосферной турбулентности. Параметр изменчивости местоположения  $Y_L$  учитывает какие-либо вариации рельефа местности в долгосрочной статистике, которые происходят на трассе распространения. Параметр изменчивости ситуации  $Y_S$  учитывает эффекты изменения условий и результатов измерений мощности, возникающих в результате действия неизвестных переменных параметров системы и условий распространения радиоволн.

Вышеописанные статистические параметры потерь распространения в своей совокупности определяют необходимый запас надежности связи на данной трассе [12, 13].

Перед расчетом ослабления, вносимого радиотрассой, определяются геометрические параметры радиолинии. Геометрические параметры радиолинии определяются взаимным расположением передающей и приемной станций с учетом кривизны рельефа местности. К основным геометрическим параметрам радиолинии относятся: фактическое расстояние по гладкой земле  $d$  (без учета неравномерности рельефа) между передающей и приемной станцией, среднее значение высоты над уровнем моря на протяжении всей радиолинии  $h_s$ , величина, обратная эффективному радиусу Земли  $\gamma_e$  в местности радиотрассы, комплексный импеданс почвы  $z_g$  в местности заданной трассы, расстояние до радиогоризонта для передающей и приемной станции  $d_h$ , угловое расстояние  $\theta$ , высоты антенн передающей и приемной станций  $h_a$ . На рис. 1 показано относительное расположение БС и АТ на трассе и указаны некоторые из перечисленных выше геометрических параметров.

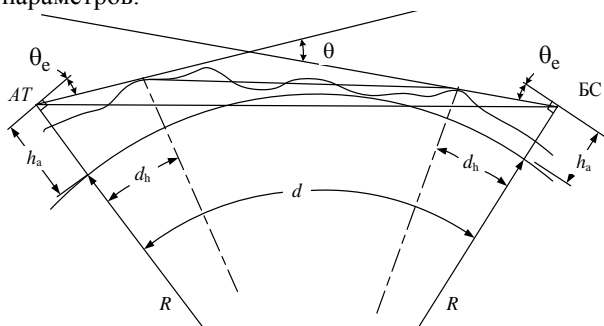


Рис. 1. Пример расположение БС и АТ на трассе

Расстояние  $d$  между БС и АТ по заданным их координатам может быть найдено следующим образом

$$d = 2R \arcsin \sqrt{\sin^2 \left( \frac{N2 - N1}{2} \right) + \cos(N1) \cos(N2) \sin^2 \left( \frac{E2 - E1}{2} \right)}, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус Земли;  $N1, N2$  – северная широта АТ и БС;  $E1, E2$  – восточная долгота АТ и БС.

Величина, обратная эффективному радиусу Земли, определяется следующим образом:

$$\gamma_e = \frac{\left( 1 - 0,04665 \cdot \exp \left( \frac{N_s}{179,3} \right) \right)}{R}, \quad (7)$$

где  $N_s$  – приведённый к  $h_s$  коэффициент рефракции.

$$N_s = N_0 \exp \left( -\frac{h_s}{9460} \right), \quad (8)$$

где  $N_0$  – среднее значение рефракции у поверхности земли;

$$z_g = \sqrt{\varepsilon + j376,62 \frac{\sigma}{f}}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость почвы;  $\sigma$  – электрическая проводимость почвы.

Расстояние до радиогоризонта в общем случае определяется следующим образом:

$$d_h = \sqrt{\frac{2h_a}{\gamma_e}}. \quad (10)$$

В случае если расстояние по гладкой земле между передающим и приемным пунктами меньше, чем их радиогоризонт, то такой случай соответствует связи в пределах прямой видимости. Для трасс прямой видимости в качестве радиогоризонта может быть принято расстояние до какого-либо препятствия на трассе распространения радиоволны.

Угловое расстояние между передающей и приемной станциями определяется следующим образом:

$$\theta = d_L \gamma_e + \theta_{et} + \theta_{er}, \quad (11)$$

где  $\theta_{er}, \theta_{et}$  – углы возвышения радиогоризонта для передатчика и приемника.

Угол возвышения радиогоризонта определяется следующим образом:

$$\theta_e = \frac{h_L - h_a}{d_h} - 2d_L \gamma_e, \quad (12)$$

где  $h_L$  – высота препятствия над средним уровнем моря в точке касания с линией прямой видимости.

В пределах прямой видимости на ровном участке местности угловые величины могут иметь значения, близкие к нулю и могут не учитываться [14].

### Моделирование

В рамках данной работы приводятся результаты оценки затухания сигнала между АТ и БС сетей 4G и 5G для сценариев расположения станций на примере г. Томска с использованием разработанной авторами программной реализации вышеописанной модели Лонгли–Райса. Входными параметрами модели являются: координаты БС и АТ в формате десятичных градусов северной широты  $N$  и восточной долготы  $E$ , высоты рельефа местности над уровнем моря на трассе, соединяющей передающую и приемную станции и извлекаемые из загружаемой карты высот Томской области, коэффициент атмосферной рефракции  $N_0$  для заданного региона, относительная диэлектрическая проницаемость почвы  $\varepsilon$  на задан-

ной трассе, электрическая проводимость почвы  $\sigma$  на заданной трассе, центральная частота используемого диапазона частот  $f$ , выходные мощности АТ и БС ( $P_{\text{тх}}$ ,  $P_{\text{рх}}$ ), потери мощности в фидерах  $\eta_{\text{тх}}$ ,  $\eta_{\text{рх}}$  АТ и БС, коэффициенты усиления антенн передающей и приемной станций  $G_{\text{тх}}$ ,  $G_{\text{рх}}$ . Оценка затухания в модели будет производиться для диапазонов FR1 (4,9 ГГц) сети 5G и FR1 (2,6 ГГц) сети 4G. В табл. 2 представлены входные параметры модели, характеризующие приемопередающее оборудование. С учетом того, что мощность передатчика АТ значительно меньше мощности передатчика БС, то разумно производить моделирование распространения радиосигнала и далее оценку зоны покрытия для случая, когда источником сигнала является передатчик АТ.

Таблица 2

**Входные параметры модели базовой станции и абонентского терминала**

Параметр	Базовая станция	Абонентский терминал
Мощность передатчика, дБм	43	22
Коэффициент усиления антенны, дБ	15	6
Высота подвеса антенны, м	20	1,8
Потери мощности в фидере, дБ	1	1

В табл. 3 представлены входные параметры модели, характеризующие трассу распространения сигнала.

Таблица 3

**Входные параметры модели радиотрассы**

Параметр	Значение
Коэффициент рефракции $N_0$	301
Проводимость почвы $\sigma$ , См	0,05
Относительная диэлектрическая проницаемость почвы $\epsilon$	15
Климат региона	Умеренный

В качестве данных высот местности Томского региона были использованы карты программы SRTM3 (SRTM-Shuttle Radar Topography Mission).

Карты высот SRTM3 представляют собой данные высот земной поверхности относительно эллипсоида WGS84. Каждый отдельный файл карты покрывает территорию  $1 \times 1^\circ$  градусов с разрешением 3 с на отсчет.

В ходе моделирования было рассмотрено двадцать сценариев расположения АТ относительно БС в г. Томске для сетей 4G и 5G. Координаты расположения БС при моделировании для систем 4G и 5G были неизменны, а высота антенны над уровнем моря составляла 220 м. На рис. 2 представлен профиль рельефа местности одного сценария моделирования с расположенными на ней БС и АТ сетей 4G и 5G.

В табл. 4 представлены результаты расчета параметров высоты над уровнем моря с учетом высоты антенны для АТ, а также расстояний для БС и АТ согласно их координатам.

В табл. 5 представлены результаты моделирования для расположения БС и АТ в соответствии с табл. 4, для которых были получены значения затухания  $A_0$  для радиосигнала АТ и значения входной мощности приёмника БС.

хания  $A_0$  для радиосигнала АТ и значения входной мощности приёмника БС.

Таблица 4

**Параметры высот и расстояний БС и АТ**

№	Расстояние между БС и АТ, км для 5G (4G)	Высота, м АТ для 5G (4G)
1	23,8(26,14)	179,5(178,2)
2	25(27,37)	134(133,7)
3	26(27,74)	178,6(179,8)

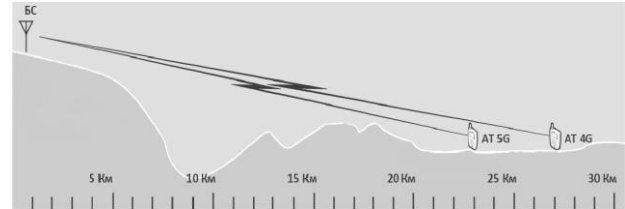


Рис. 2. Расположение БС и АТ на одном сценарии моделирования

Таблица 5

**Результаты моделирования**

№	Затухание сигнала $A_0$ , дБ для 5G (4G)	Мощность на приемнике БС, дБм 5G (4G)
1	139 (138,4)	-99,1 (-98,5)
2	138,4 (138,3)	-98,8 (-98,7)
3	139,1 (138,2)	-99,9 (-99)

Полученные в ходе моделирования значения ослабления на трассе и уровни мощности сигнала на приемниках 5G и 4G использовались для определения средней разницы в расстояниях между БС и АТ соответствующих сетей при условии приближенного равенства сигнала на приемной стороне значению чувствительности приемников БС в 5G (-100,4 дБм) (см. табл. 1) и 4G (-101,5) [15].

Для сравнительной оценки дальности действия сетей 4G и 5G был выполнен анализ результатов двадцати итераций моделирования. В среднем дальность связи от АТ к БС в сети 5G составила 27,47 км, а для сети 4G – 30 км, что составляет разницу в 2,53 км по дальности связи сетей 5G и 4G.

Из полученных результатов следует, что дальность связи в сети 4G в среднем больше на 9,3%, чем в сети 5G, в условиях неровной местности без учета городской застройки, а также при условии работоспособности данных сетей и их минимальной пропускной способности [16].

**Заключение**

В данной работе представлены результаты расчета затухания радиосигнала и сравнительной оценки дальности действия для сетей 4G и 5G частот диапазонов FR1 (2,6 ГГц) и FR1 (4,9 ГГц) с учетом характеристик приемопередающего оборудования и особенностей рельефа местности в окрестностях г. Томска.

Моделирование производилось с использованием программной реализации модели распространения радиоволн Лонгли–Райса.

При моделировании были рассмотрены двадцать различных сценариев относительного распо-

ложения базовой станции и абонентского терминала, отличающиеся между собой расстояниями между терминалами и их высотой. Результаты, полученные в ходе моделирования с использованием разработанного программного обеспечения, позволили оценить дальность связи в сетях 4G и 5G. Были получены значения расстояний между терминалами, а также значения их полных высот относительно уровня моря. Также были получены значения ослабления сигнала АТ на пути к БС и значения мощности сигнала на входе приемника БС. Были получены средние значения дальностей связи в сетях 4G и 5G, что позволило сделать выводы о разнице в дальности связи в данных сетях.

Моделирование было произведено также с учетом того, что источником сигнала был передатчик АТ, имеющий меньшую выходную мощность по сравнению с передатчиком БС, что, в свою очередь, позволило более надежно оценить дальность связи в данной сети.

Полученные в данной работе значения ослаблений радиосигнала учитывали лишь особенности рельефа местности на каждой из трасс. В дальнейшем предполагается разработка программного обеспечения, позволяющего производить расчет ослабления радиосигнала с учетом более точного описания городской радиотрассы, включающей в себя различные строения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минцифры России и АО «РВК», а также Сколковского института науки и технологий, идентификатор соглашения предоставления субсидии 0000000007119P190002, № 005/20 от 26.03.2020 г.

#### Литература

1. Iwamura M. NGMN view on 5G architecture // IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring). – 2015. – P. 1–5.
2. A survey on 5G millimeter wave communications for UAV-assisted wireless networks / L. Zhang, H. Zhao, S. Hou, Z. Zhao, H. Xu, X. Wu, Q. Wu, R. Zhang // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 117460–117504.
3. Radio propagation and wireless coverage of LSAA-based 5G millimeter-wave mobile communication systems / H. Wang, P. Zhang, J. Li, X. You // China Communications. – 2019. – Vol. 16, No. 5. – P. 1–18.
4. Design and implementation of an active multibeam antenna system with 64 RF channels and 256 antenna elements for massive MIMO application in 5G wireless communications / P. Xingdong, H. Wei, Y. Tianyang, L. Linsheng // China communications. – 2014. – Vol. 11, No. 11. – P. 16–23.
5. Low Profile, Compact Size Frequency Reconfigurable Antenna for 5G mm-Wave Wireless Communication / I. Ahmad, H. Dildar, W.U.R. Khan, S.A.A. Shah, S. Ullah, S. Ullah, S.M. Umar, M.A. Albreem, M.H. Alsharif, K. Vasudevan // IEEE 5th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS). – 2020. – P. 712–716.
6. Long distance and high bandwidth wireless link tests for a 39 GHz to 28 GHz 5G low-cost repeater / S. Maier, H. Schlesinger, W. Templ, H. Viswanathan // IEEE 5G World Forum (5GWF). – 2018. – P. 338–342.
7. Study of realistic antenna patterns in 5G mmWave cellular scenarios / M. Rebato, L. Resteghini, C. Mazzucco,

M. Zorzi // IEEE International Conference on Communications (ICC). – 2018. – P. 1–6.

8. 5G NR Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38.104 version 15.7.0 Release 15) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138100\\_138199/138104/15.07.00\\_60/ts\\_138104v150700p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/138104/15.07.00_60/ts_138104v150700p.pdf), свободный (дата обращения: 13.09.2021).

9. Мелихов С.В. Модели предсказания уровня сигнала для расчета зон обслуживания базовых станций систем мобильной связи. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2014. – 18 с.

10. Saha R.K. Comparative Analysis of Path Loss Models in Mobile Communications for Urban Case // Asian Institute of Technology, Thailand. – 2016. – P. 1–30.

11. Hufford G.A. A guide to the use of the ITS irregular terrain model in the area prediction mode / G.A. Hufford, A.G. Longley, W.A. Kissick. – Washington, DC, USA: U.S. Department of Commerce, National Telecommunications and Information Administration, 1982. – 126 p.

12. Seybold J.S. Introduction to RF propagation. – John Wiley & Sons. – 2005. – 317 p.

13. Reformat A.N. Review of methods for calculating the coverage areas of base stations of mobile radio communication networks / A.N. Reformat, V.G. Sosunov, O.V. Plygunov // Symbol of Science. – 2015. – P. 44–52.

14. Wong H. Field Strength Prediction in Irregular Terrain-the PTP Model // Report of Federal Communication Commission, USA. – 2002. – P. 1–8.

15. 5G New Radio conducted Base Station receiver tests according to TS 38.141-1 Rel. 15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/gfm314/GFM314\\_3e\\_5G\\_NR\\_BaseStation\\_Rx\\_Tests.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/gfm314/GFM314_3e_5G_NR_BaseStation_Rx_Tests.pdf), свободный (дата обращения: 01.03.2022).

16. Mapping between Average SINR and Supported Throughput in 5G New Radio Small Cell Networks / A.R. Ramos, B.C. Silva, M.S. Lourenço, E.B. Teixeira, F.J. Velez // 22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC). – 2019. – P. 1–6.

#### Мовчан Андрей Кириллович

Аспирант каф. телевидения и управления (ТУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 41-34-30  
Эл. почта: ltaak@tu.tusur.ru

#### Рогожников Евгений Васильевич

Канд. техн. наук., зав. каф. телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР) ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 41-33-98  
Эл. почта: udzhon@mail.ru

#### Дмитриев Эдгар Михайлович

Аспирант каф. ТОР ТУСУРа Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 41-33-98  
Эл. почта: edgar.dmitriev@tusur.ru

**Новичков Серафим Алексеевич**

Гл. конструктор лидирующего исследовательского центра «Сеть радиодоступа 5G с открытой архитектурой», Сколковский институт науки и технологий (Сколтех) Большой бульвар, д. 30, стр. 1., г. Москва, Россия, 121205 Тел.: +7 (495-2) 80-14-81 Эл. почта: s.novichkov@skoltech.ru

**Лаконцев Дмитрий Владимирович**

Канд. техн. наук., доцент, рук. центра компетенций национальной технической инициативы «Технологии беспроводной связи и интернета вещей», Сколковский институт науки и технологий (Сколтех) Большой бульвар, д. 30, стр. 1., г. Москва, Россия, 121205 Эл. почта: d.lakontsev@skoltech.ru

Movchan A.K., Rogozhnikov E.V., Dmitriev E.M., Novichkov S.A., Lakontsev D.V.

**Calculation of signal attenuation of 5G cellular networks for frequencies of the FR1 band**

The paper presents a model for the propagation of a radio signal of a fifth-generation cellular communication system, taking into account the unevenness of the terrain. The aim of the study is to assess the signal power level on the receiving side of the fourth and fifth generation cellular communication system when the signal propagates over uneven terrain in the frequency bands FR1 (2.6 GHz), FR1 (4.9 GHz). When estimating the power of the radio signal on the receiving side in the model, the values of the height map of the of Tomsk city, obtained in the course of the SRTM3 program, were used as uneven terrain. The presented radio signal propagation model is the Longley–Rice ITM (Irregular Terrain Model). For this model, the main expressions are given that determine the resulting signal attenuation, as well as expressions that describe the geometry of the propagation path. The article reflects the main factors that determine the propagation of centimeter waves characteristic of the fifth generation cellular communication system, presents the results of modeling the propagation of the fifth 5G and fourth 4G generation cellular signal using the example of various scenarios for the location of a subscriber terminal and a base station in the Tomsk city. The simulation was carried out for two frequency bands FR1 (4.9 GHz) of the 5G network and FR1 (2.6 GHz) of the 4G network. As a result of the simulation, the values of the attenuation of the signal power level during propagation along the given paths were obtained, and also, taking into account the parameters of the transceiver equipment, the values of the signal power on the receiving side were calculated. Based on the data obtained, a comparative assessment of the communication range for 4G and 5G systems was made.

**Keywords:** 5G, mobile communications, radio propagation, coverage area, millimeter waves, terrain elevation map.

**DOI:** 10.21293/1818-0442-2021-25-1-17-23

**References**

1. Iwamura M. NGMN view on 5G architecture. *IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2015, pp. 1–5.
2. Zhang L., Zhao H., Hou S., Zhao Z., Xu H., Wu X., Wu Q., Zhang R. A survey on 5G millimeter wave communications for UAV-assisted wireless networks. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 117460–117504.
3. Wang H., Zhang P., Li J., You X. Radio propagation and wireless coverage of LSAA-based 5G millimeter-wave

mobile communication systems. *China Communications*, 2019, vol. 16, no. 5, pp. 1–18.

4. Xingdong P., Wei H., Tianyang Y., Linsheng L. Design and implementation of an active multibeam antenna system with 64 RF channels and 256 antenna elements for massive MIMO application in 5G wireless communications. *China Communications*, 2014, vol. 11, no. 11, pp. 16–23.

5. Ahmad I., Dildar H., Khan W.U.R., Shah S.A.A., Ullah S., Ullah S., Umar S.M., Albreem M.A., Alsharif M.H., Vasudevan K. Low Profile, Compact Size Frequency Reconfigurable Antenna for 5G mm-Wave Wireless Communication. *IEEE 5th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, 2020, pp. 712–716.

6. Maier S., Schlesinger H., Templ W., Viswanathan H. Long distance and high bandwidth wireless link tests for a 39 GHz to 28 GHz 5G low-cost repeater. *IEEE 5G World Forum (5GWF)*, 2018, pp. 338–342.

7. Rebato M., Resteghini L., Mazzucco C., Zorzi M. Study of realistic antenna patterns in 5G mmWave cellular scenarios. *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2018, pp. 1–6.

8. 5G NR Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38.104 version 15.7.0 Release 15). Available at: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138100\\_138199/138104/15.07.00\\_60/ts\\_138104v150700p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/138104/15.07.00_60/ts_138104v150700p.pdf), free. (Accessed: September 13, 2021).

9. Melikhov S.V. [Signal level prediction models for calculating the service areas of base stations of mobile communication systems]. Tomsk, TUSUR Publ., 2014, 18 p. (in Russ.).

10. Saha R.K. Comparative Analysis of Path Loss Models in Mobile Communications for Urban Case. *Asian Institute of Technology, Thailand*, 2016, pp. 1–30.

11. Hufford G.A., Longley A.G., Kissick W.A. A guide to the use of the ITS irregular terrain model in the area prediction mode. *Washington, DC, USA: US Department of Commerce, National Telecommunications and Information Administration*, 1982, 126 p.

12. Seybold J. S. Introduction to RF propagation. *John Wiley & Sons*, 2005, 317 p.

13. Reformat A.N., Sosunov V. G., Plygunov O. V. Review of methods for calculating the coverage areas of base stations of mobile radio communication networks. *Symbol of Science*, 2015, pp. 44–52.

14. Wong H. Field Strength Prediction in Irregular Terrain-the PTP Model. *Report of Federal Communication Commission, USA*, 2002, pp. 1–8.

15. 5G New Radio conducted Base Station receiver tests according to TS 38.141-1 Rel. 15. Available at: [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/gfm314/GFM314\\_3e\\_5G\\_NR\\_BaseStation\\_Rx\\_Tests.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/gfm314/GFM314_3e_5G_NR_BaseStation_Rx_Tests.pdf), free (Accessed: March 03, 2022).

16. Ramos A.R., Silva B.C., Lourenço M.S., Teixeira E.B., Velez F.J. Mapping between Average SINR and Supported Throughput in 5G New Radio Small Cell Networks. *22nd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 2019, pp. 1–6.

**Andrey K. Movchan**

Junior Researcher (Department of Television and Control), Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics (TUSUR) 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050 Phone: +7 (382-2) 41-34-30 Email: mr.movchann@mail.ru

**Eugeny V. Rogozhnikov**

Candidate of Science in Engineering, Head of the Department of Telecommunications and Basic Principles of Radio Engineering, TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 41-33-98  
Email: udzhon@mail.ru

**Edgar M. Dmitriev**

Postgraduate Student, Department of Telecommunications and Basic Principles of Radio Engineering, TUSUR  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 41-33-98  
Email: dmitriyev.edgar@gmail.com

**Serafim A. Novichkov**

Chief Design Engineer of Leading Research Center «5G Open Radio Access Networks», Skoltech  
30, Bolshoy Boulevard, bld. 1, Moscow, Russia, 121205  
Phone: +7 (495-2) 80-14-81  
Email: S.Novichkov@skoltech.ru

**Dmitriy V. Lakontsev**

Candidate of Science in Engineering, Associate Professor, Head of the Center of Excellence NTI «The Wireless Network Technologies and Internet of Things», Skoltech  
30, Bolshoy Boulevard, bld. 1, Moscow, Russia, 121205