

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.94:621.396

DOI 10.34822/1999-7604-2021-3-23-29

### ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА LTE НА СЛОЖНОЙ ПО РЕЛЬЕФУ ЗАГОРОДНОЙ ТРАССЕ С УЧЕТОМ ХВОЙНОГО ЛЕСА

Д. В. Вегера, Г. В. Жиба <sup>✉</sup>, В. П. Писаренко, С. В. Сай  
*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия*  
<sup>✉</sup> E-mail: grisha2160@mail.ru

Статья посвящена оценке распространения радиоволн для стандарта LTE в диапазоне 1 800 и 2 600 МГц. Представлен расчет затухания сигнала для сложной по рельефу трассы с хвойным лесом. Имитационное моделирование осуществлялось с помощью среды MatLab для сопоставления теоретических и практических результатов.

*Ключевые слова:* LTE, универсальная модель, модель one woodland terminal, многолучевая модель, модель knife-edge.

### EVALUATION OF THE LTE SIGNAL PROPAGATION ALONG THE HIGHWAY WITH A DIFFICULT TERRAIN IN A CONIFEROUS FOREST

D. V. Vegera, G. V. Zhiba <sup>✉</sup>, V. P. Pisarenko, S. V. Sai  
*Pacific State University, Khabarovsk, Russia*  
<sup>✉</sup> E-mail: grisha2160@mail.ru

The article is devoted to the evaluation of radio waves propagation for the LTE standard in the 1 800 to 2 600 MHz band. The attenuation is calculated for the highway with a difficult terrain in a coniferous forest. Simulated modeling is carried out using MatLab environment to compare theoretical and practical results.

*Keywords:* LTE, generic model, one woodland terminal model, multi-beam model, knife-edge model.

#### Введение

Проведено исследование распространения и затухания радиосигнала для стандарта LTE в диапазоне 1 800 и 2 600 МГц на сложной по рельефу загородной трассе с хвойным лесом в Хабаровском крае. На примере уже существующего объекта связи, работающего по стандарту LTE в диапазоне 1 800 МГц, экспериментально определены зоны покрытия; с использованием существующих методик произведен расчет распространения радиоволн и по заданным параметрам вычислены затухание и дальность распространения радиосигнала. На основе полученных результатов выбрана модель расчета дальности распространения радиосигнала в диапазоне 2 600 МГц, максимально совпадающая с фактическими показателями. Для оценки параметров использован метод имитационного моделирования. В качестве среды разработки имитационной модели выбран программный пакет MatLab.

#### Общие сведения

Разработанная программа позволяет выбрать модель распространения радиоволн и по заданным параметрам вычислить затухание и дальность распространения радиосигнала [1]. Исходя из сложности трассы, для расчета рассмотрены следующие модели: универсальная

модель (УМ) [2], one woodland terminal модель (OWTM) [2], многолучевая модель (ММ) и knife-edge модель (КЕМ) [3–7].

Измерения проводились летом 2021 г. на трассе Лидога – Ванино Хабаровского края, пролегающей через хвойный лес. Для оценки эффективности моделей результаты расчетов сравнивали с фактическим покрытием LTE-1800. Измерения проводились в движении для определения стабильности сигнала в конкретных точках, значительно удаленных от базовой станции (БС). Точки контрольных измерений выбраны с учетом нахождения измерительного комплекса в зоне излучения антенны. В составе оборудования использовали: для анализа радиопокрытия в сетях LTE-100 – измерительный комплекс; для мониторинга и контроля работы – персональный компьютер со специальным программным обеспечением; для тестирования работы и скорости – 4 сотовых телефона (Huawei, LG, Samsung, Apple) с поддержкой LTE.

На рис. 1 представлен профиль трассы с указанием рельефа местности и покрытия LTE-1800. Значения уровня сигнала, которые предложено считать соответствующими «очень плохому», «плохому», «хорошему» и «очень хорошему» качеству, представлены в табл. 1.

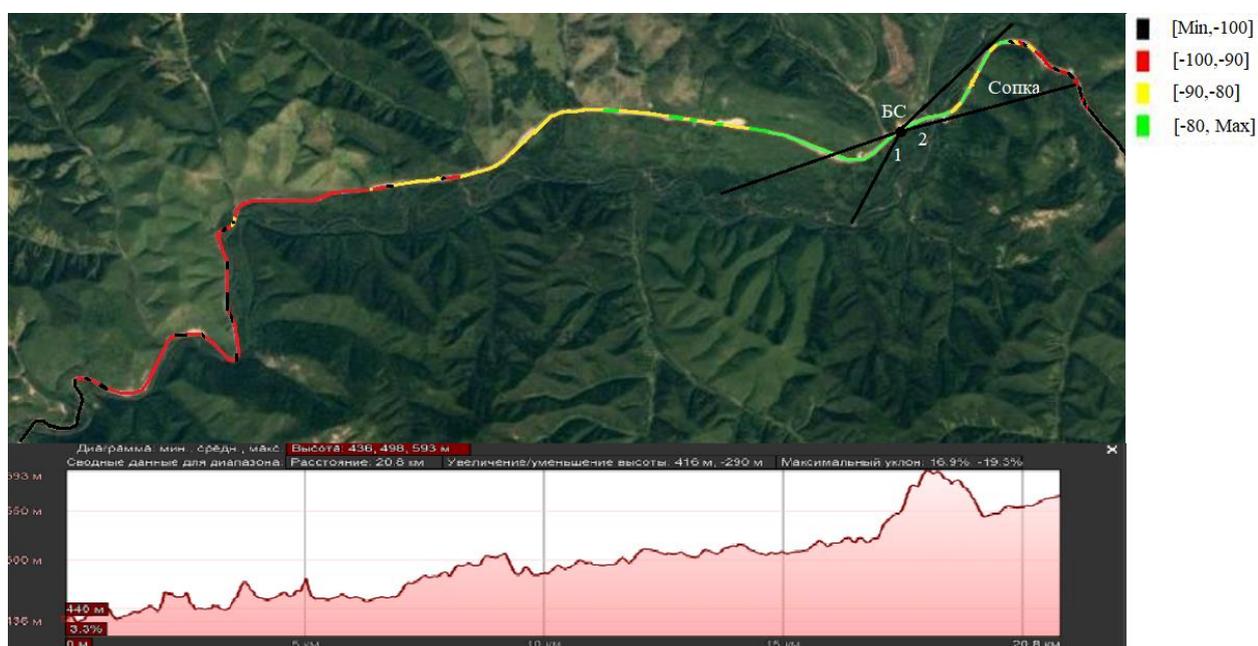


Рис. 1. Профиль трассы с указанием рельефа местности и покрытия LTE-1800

Примечание: скриншот авторов.

Таблица 1

### Значения уровня сигнала

Качество сигнала	Значение уровня сигнала, дБм
Очень хороший	$\geq -80$
Хороший	-80 до -90
Плохой	-90 до -100
Очень плохой	$\leq -100$

Примечание: составлено авторами.

Как видно по рис. 1, трасса имеет сложный рельеф и из-за сильного перепада высот удастся обеспечить сигналом связи лишь ее отдельный участок. За счет отражения от природных объектов при распространении сигнала в секторе 1 покрытие трассы составляет 15,9 км. На пути распространения сигнала в секторе 2 встречается подъем, прямую видимость ограничивает сопка, вследствие чего покрытие трассы составляет 4 км. Следует учесть, что скачивание на телефон и передача данных обеспечиваются и на более удаленном расстоянии, однако

возможно пропадание сигнала. В качестве источника сигнала используется двухсекторная антенна фирмы Kathrein: сектор 1 – 80°, сектор 2 – 160°, а для электроснабжения – схема альтернативной энергетики [8].

### Результаты моделирования

На рис. 2 показан общий график затухания радиосигнала на частоте 1 800 МГц в секторе 1 (С-1) и секторе 2 (С-2) для четырех моделей.

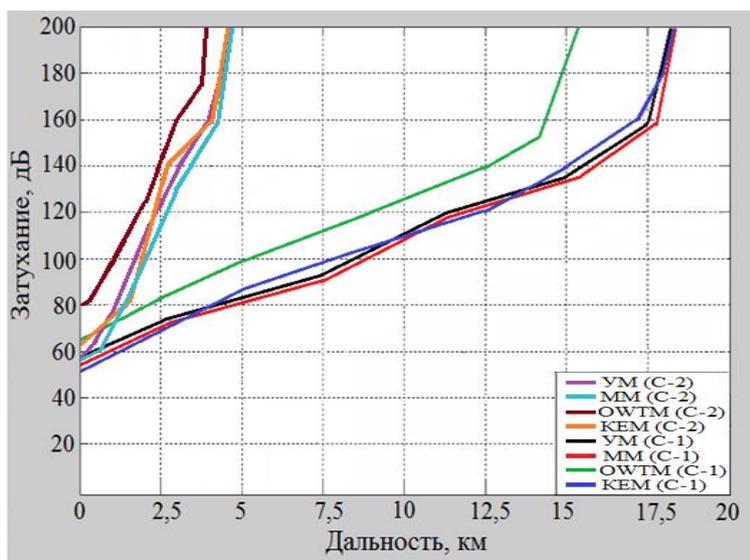


Рис. 2. Общий график затухания сигнала на частоте 1 800 МГц в секторе 1 и секторе 2 для четырех моделей

Примечание: составлено авторами.

На рис. 3 показан общий график прогнозирования уровня радиосигнала на частоте 1 800 МГц в секторе 1 (С-1) и секторе 2 (С-2) для четырех моделей.

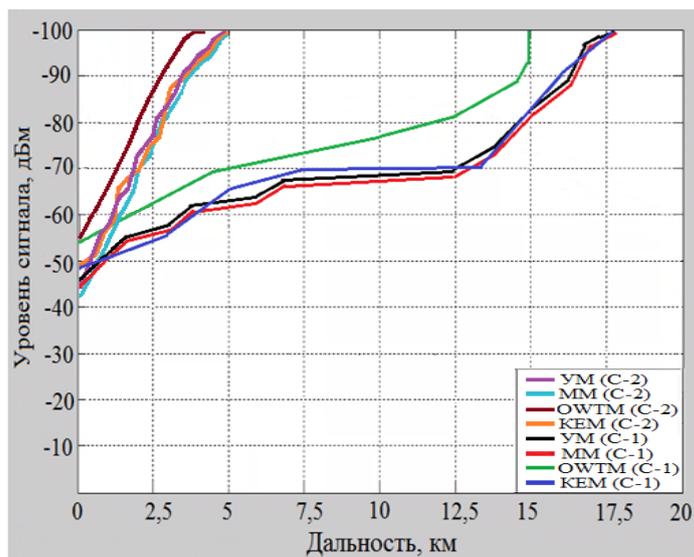


Рис. 3. Уровень радиосигнала на частоте 1 800 МГц в секторе 1 и секторе 2, рассчитанный для четырех моделей

Примечание: составлено авторами.

Так как на пути в секторе 2 встречается помеха в виде большой сопки, экспериментальные расчеты для этого сектора при выборе модели не учитываются, поскольку с увеличением частоты зона покрытия не изменится. Результаты моделирования и экспериментальные данные на частоте 1 800 МГц для сектора 1 показаны на рис. 4. Результаты расчета распространения сигнала LTE-1800 с учетом растительности (хвойного леса), полученные с помощью моделирования, а также экспериментальным путем, представлены в табл. 2.

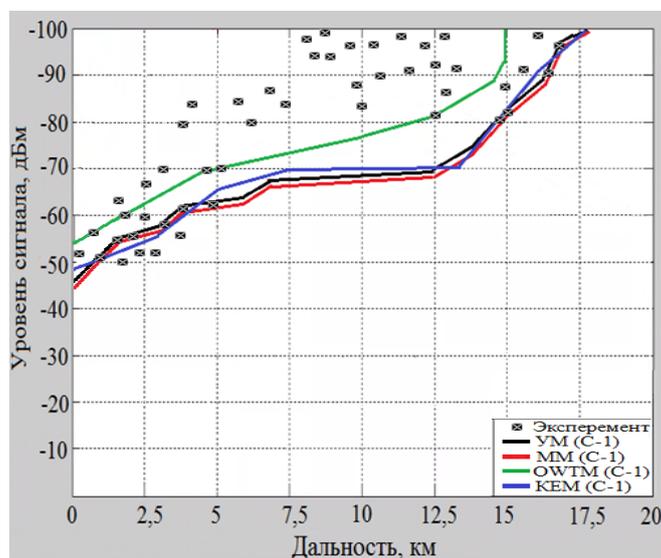


Рис. 4. Результаты моделирования и экспериментальные данные на частоте 1 800 МГц для сектора 1

Примечание: составлено авторами.

Таблица 2

**Результаты расчета распространения сигнала с учетом растительности (хвойный лес) в зависимости от модели**

Модель	Дальность распространения сигнала LTE-1 800			
	Теория		Практика	
	Сектор 1, км	Сектор 2, км	Сектор 1, км	Сектор 2, км
Универсальная (УМ)	17,6	4,9	15,9	4
Многолучевая (ММ)	17,7	4,9		
One woodland terminal (OWTM)	14,9	4,2		
Knife-edge	17,6	4,9		

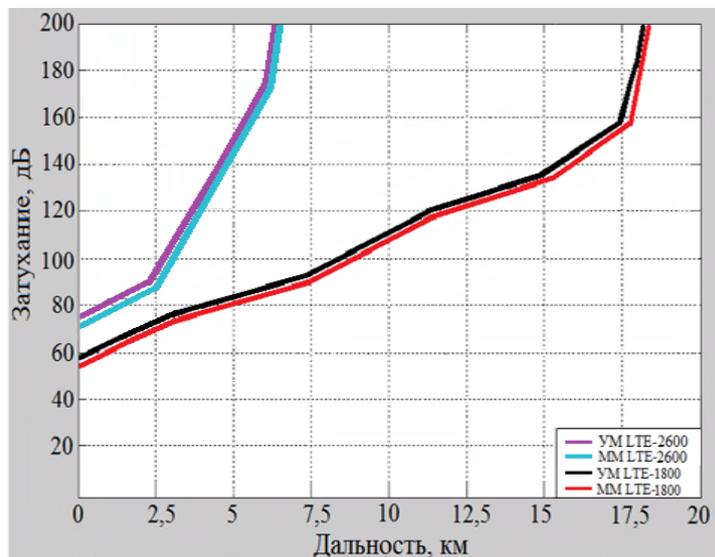
Примечание: составлено авторами.

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы: модель one woodland terminal прогнозирует средние результаты, но подходит не для всех условий. Тем не менее она позволяет установить точки неустойчивого сигнала, что важно при планировании новых БС. Многолучевая, knife-edge и универсальная модели показывают схожие результаты, однако точность математических расчетов модели knife-edge и многолучевой модели зависит от исходных данных, поэтому без учета всех параметров местности возможен некорректный результат.

Основываясь на практических показаниях покрытия, полученных в результате экспериментальных исследований на участке автодороги Лидога – Ванино, для анализа расчетов покрытия на территории загородных трасс Хабаровского края рекомендуется использовать универсальную и многолучевую модели, поэтому они будут использованы для частоты LTE-2600.

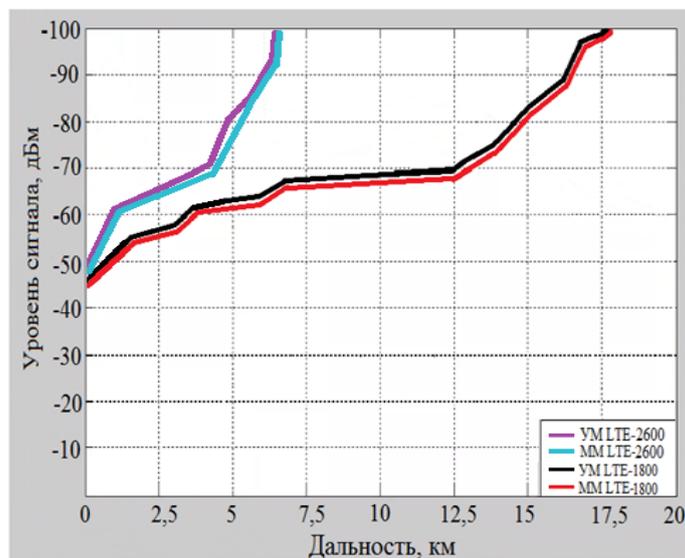
### Прогнозирование зоны покрытия для частоты LTE-2600

Для расчета дальности распространения радиосигнала LTE-2600 используются те же ключевые параметры, что и для LTE-1800. Затухание радиосигнала на частоте 2 600 и 1 800 МГц, рассчитанное универсальной и многолучевой моделями для сектора 1, показано на рис. 5.



**Рис. 5. Затухание радиосигнала на частоте 2 600 и 1 800 МГц, рассчитанное универсальной и многолучевой моделями для сектора 1**  
*Примечание:* составлено авторами.

Результаты прогнозирования уровня радиосигнала на частоте 2 600 и 1 800 МГц, рассчитанные универсальной и многолучевой моделями для сектора 1, показаны на рис. 6.



**Рис. 6. Уровень радиосигнала на частоте 2 600 и 1 800 МГц, рассчитанный универсальной и многолучевой моделями для сектора 1**  
*Примечание:* составлено авторами.

Результаты расчета распространения сигнала LTE для сектора 1, в зависимости от диапазона и модели с учетом растительности (хвойный лес), показаны в табл. 3.

**Результаты расчета распространения сигнала LTE для сектора 1  
в зависимости от диапазона и модели с учетом растительности (хвойный лес)**

Модель	Дальность распространения сигнала LTE	
	LTE-2 600, км	LTE-1 800, км
Универсальная (УМ)	6,4	17,6
Многолучевая (ММ)	6,5	17,7

Примечание: составлено авторами.

Результаты проведенных измерений показывают, что при использовании стандарта LTE-1800 достигается большее покрытие местности со сложным рельефом, чем при использовании LTE-2600. Использование стандарта LTE-2600 обеспечивает высокую скорость передачи данных, однако для хорошего покрытия территории целесообразно использование стандарта LTE-1800. Помимо этого, для улучшения качества сети возможно расширение спектра сигнала за счет использования агрегации частот или совместного использования полос частот, выделенных отдельными операторами [9–12].

### Заключение

Проведен анализ распространения радиоволн на сложной по рельефу автомобильной трассе с хвойным лесом Лидога – Ванино Хабаровского края. Исходя из сложности трассы, рассмотрены следующие модели расчета дальности связи: универсальная модель, модель one woodland terminal, многолучевая и knife-edge модели. Результаты расчетов показали, что модель one woodland terminal обеспечивает прогнозирование распространения сигнала до 14,9 км, позволяя при этом рассчитать расстояние появления неустойчивого сигнала, что важно при планировании новых БС. Универсальная и knife-edge модели позволяют прогнозировать распространение сигнала до 17,6 км, а многолучевая – до 17,7 км, однако при отсутствии препятствий модель knife-edge предлагает некорректные данные. Учитывая сравнение с экспериментальными данными, для дальнейшего использования при размещении БС на территории загородных трасс Хабаровского края стандарта LTE рекомендуется использовать универсальную и многолучевую модели.

Анализ результатов распространения радиосигналов LTE показывает, что на сложных по рельефу загородных трассах для обеспечения максимально устойчивого покрытия целесообразно использование стандарта LTE-1800.

Полученные в результате исследования расчеты подтверждены экспериментально и могут быть использованы на этапе проектирования радиосистем и устройств связи для практической реализации современной инфраструктуры передачи голоса и данных на сложных по рельефу загородных трассах.

### Литература

1. Zhiba G. V., Pisarenko V. P., Vegera D. V. Analysis of LTE Signal Propagation Models in Wooded Areas for Khabarovsk Highways // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon. 2020. P. 1–6.
2. Рекомендация МСЭ-R P.833-9. Ослабление сигналов растительностью. Женева, 2016. 31 с.
3. Meng Y. S., Lee Y. H., Ng B. C. Study of Propagation Loss Prediction in Forest Environment // Progress in Electromagnetic Research B. 2009. Vol. 17. P. 117–133.
4. Pathak P. H., Carluccio G., Albani M. The Uniform Geometrical Theory of Diffraction and Some of its Applications // IEEE Antennas and Propagation magazine. 2013. Vol. 55, Is. 4. P. 41–69.
5. Ng Y. Ch. D. Modeling of Radiowave Propagation in Forested Environment : Masters Sci. Dissertation (Electrical Engineering). 2014. 62 p.

6. Li Y., Ling H. Numerical Modeling and Mechanism Analysis of VHF Wave Propagation in Forested Environments Using the Equivalent Slab Model // *Progress in Electromagnetic Research*. 2009. Vol. 91. P. 17–34.

7. Балханов В. К., Адвокатов В. Р., Башкуев Ю. Б. Усредненные электрические характеристики «лесослоя» и высота лесного покрова // *Журнал технической физики*. 2014. Т. 84, № 8. С. 132–136.

8. Вегера Д. В., Власов В. Н., Писаренко В. П., Терещенко В. Д. Использование альтернативной энергетики в системах энергоснабжения телекоммуникационного оборудования // *Наука и технологии*. 2018. № 1 (34). С. 77–81.

9. Жиба Г. В., Захаров И. С., Смоляков А. А., Писаренко В. П., Шевцов А. Н. Исследование повышения скорости LTE-A с помощью агрегации частот // *Информационные технологии XXI века : сб. научных трудов*. Хабаровск, 2017. С. 451–460.

10. Жиба Г. В., Захаров И. С., Смоляков А. А., Писаренко В. П. Исследование возможностей применимости стандарта LTE CAT.9 // *Ученые заметки ТОГУ*. 2017. Т. 8, № 2. С. 155–163.

11. Жиба Г. В., Писаренко В. П., Захаров И. С., Шевцов А. Н. Анализ помехоустойчивости каналов связи LTE и WIMAX // *Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона*. 2017. № 3 (12). С. 17–21.

12. Zhiba G. V., Pisarenko V. P., Shevtsov A. N. Improve Noise Immunity of Transfer Messages by Radio Channel in Cellular Systems // *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon*. 2018. P. 1–5.