

Оценка распространения LTE сигнала на трассе со сложным рельефом и СМЕШАННЫМ ЛЕСОМ

Д. Вегера, В. Власов, Г. Жиба, С. Сай

Аннотация—Создание современной инфраструктуры передачи голоса и данных на сложных по рельефу загородных трассах, отдаленных и труднодоступных населённых пунктов, является одной из важнейших проблем. Радиоволны, распространяющиеся в лесу, имеют высокие потери на трассе по сравнению с другими средами. Это связано с существенным влиянием лесной растительности на параметры электромагнитных излучений практически любых диапазонов.

Поэтому на примере уже существующего объекта связи рассматриваются методики расчета затухания и дальности распространения радиосигнала для технологии LTE с учетом лесных массивов и сравниваются с фактическими показателями. Дается краткое описание технологии LTE, разработанной программы, используемых методов. Представлены результаты моделирования затухания и дальности распространения радиосигнала. Предложенные методы, модели и технические решения позволяют учесть распространение радиоволн еще на этапе проектирования радиосистем и устройств связи для практической реализации современной инфраструктуры передачи голоса и данных на сложных по рельефу загородных трассах, отдаленных и труднодоступных населённых пунктов. Для решения поставленных задач используются методы математического моделирования, вычислительной математики, системного анализа, методы программирования и натурального экспериментального исследования.

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

I. ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение возможностью передачи голоса и данных сложных по рельефу загородных трасс, отдаленных и труднодоступных населённых пунктов, является одной из важнейших задач. Одной из проблемных с точки зрения телекоммуникаций является трасса Лидога-Ванино Хабаровского края. Для трассы

Статья получена 26 декабря 2021.

Денис Владимирович Вегера, Кафедра Вычислительной техники, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия (e-mail: vege79@mail.ru).

Владимир Николаевич Власов, Кафедра Вычислительной техники, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия (e-mail: rz0sq@mail.ru).

Григорий Вячеславович Жиба, ФГУП ГРЦ в ДВФО, г. Хабаровск, Россия (e-mail: grisha2160@mail.ru).

Сергей Владимирович Сай, Кафедра Вычислительной техники, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия (e-mail: sai1111@rambler.ru).

Лидога-Ванино применение «стандартных» схем организации связи – невозможно, по причине отсутствия населенных пунктов и придорожной инфраструктуры, а также сложного рельефа местности. Поэтому одним из возможных вариантов решения проблемы обеспечения связью является применение малых земных станций спутниковой связи (МЗССС) для организации канала связи, а предоставления услуг связи может быть обеспечено стандартной базовой станцией сотовой связи. При строительстве новых БС оператор должен учитывать выбор стандарта сотовой связи, а также влияние окружающей среды на распространение сигнала для обеспечения максимального и качественного покрытия с возможностью использования технологии LTE

В статье рассмотрены результаты расчетов параметров распространения радиоволн стандарта LTE в диапазоне 1800 и 2600 МГц на сложной по рельефу загородной трассе Хабаровского края. На примере уже существующего объекта связи рассматриваются методики расчета затухания и дальности распространения радиосигнала с учетом лесных массивов и сравниваются с фактическими показателями. Затем на основе полученных результатов, производится выбор методики, наиболее совпадающей с фактическими показателями и выбирается подходящая для предварительного определения мест установки новых базовых станций. Для оценивания параметров используется метод имитационного моделирования. В качестве среды разработки имитационной модели выбран программный пакет Matlab.

II. ТЕХНОЛОГИЯ LTE

Возможность применения технологии LTE активно рассматривается применительно к использованию систем подвижной спутниковой службы [1-3]. При успешной реализации такого решения можно расширить круг потенциальных абонентов в спутниковой сети.

В отличие от GSM и UMTS, которые стали стандартами для 2G и 3G связи, технология LTE может использовать гораздо более широкий спектр частот. Радиус действия базовой станции LTE зависит от мощности излучения и теоретически не ограничен, а максимальная скорость передачи данных зависит от радиочастоты и удаленности от базовой станции. В России, с учетом существующих ограничений, для

сотовых операторов выделено 5 частотных диапазонов стандарта LTE для предоставления услуг связи: 800 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 2100 МГц и 2600 МГц. Размеры ширины канала для систем стандарта LTE стандартизованы 3GPP и включают в себя набор от 1,4 МГц до 20 МГц и поддерживает как частотное разделение каналов FDD (Feature Driven Development), так и временное разделение TDD (Time Division Duplexing). Преимущества технологии позволяют также внедрить поддержку NB-IoT (Narrowband Internet of things) [4-5]. Для осуществления голосовых вызовов на LTE операторы должны реорганизовать свою сеть голосовых вызовов. Одним из вариантов является VoLTE (Voice over LTE) – технология передачи голоса по сети LTE, основанная на передаче мультимедийного содержимого по IMS (IP Multimedia Subsystem) [6-8]. Позволяет предоставлять голосовые услуги и доставлять их как поток данных по LTE.

Диапазон 800 МГц, в отличие от других диапазонов, имеет самый большой радиус покрытия радиосигнала, но маленькие скорости передачи данных. Используется для обеспечения широкого покрытия в больших и малонаселенных городах. Ширина полосы до 5 МГц. Преимущества покрытия позволяют также внедрить поддержку NB-IoT и VoLTE.

Диапазон 900 МГц ранее распределялся под использование GSM и UMTS. Переиспользование частот для развития технологии LTE стало возможным благодаря решению Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ). LTE-900 имеет высокую проникающую способность радиосигнала. Ширина полосы до 5 МГц. Большой радиус покрытия и возможность переиспользования спектра частот GSM-900 позволит обеспечить сеть LTE в маленьких городах и в сельской местности, при этом затратив минимум средств. Может использоваться как альтернатива LTE-800.

Диапазон 1800 МГц первоначально предназначался для систем GSM-1800, с 2011 года по решению ГКРЧ появилось возможность использовать эти частоты для развертывания систем LTE. Эта частота является золотой серединой между 800 МГц и 2600 МГц, предоставляющий хороший радиус покрытия, скорость передачи данных и возможность обслужить больше абонентов, которые будут потреблять больше ресурсов. Ширина полосы до 15 МГц, дает возможность разворачивать мультистандартные базовые станции системы радиодоступа с одновременной поддержкой LTE и GSM.

Диапазон 2100 МГц ранее распределялся под использование сетями UMTS. Переиспользование частот стало возможным после принятого в июле 2017 г. решения ГКРЧ. Использование данного диапазона для технологии LTE позволяет обеспечить высокоскоростным мобильным интернетом территории удаленных российских деревень и сел уже использующие технологию UMTS. Ширина канала до 15 МГц дает возможность разворачивать мультистандартные базовые станции системы радиодоступа с одновременной поддержкой LTE и

UMTS. Является хорошей альтернативой LTE-2600 за счет большего радиуса покрытия.

Диапазон 2600 является самым быстрым и распространённым среди LTE. Подходит для многолюдных районов, но обеспечивает малый радиус радиопокрытия. Ширина каналов до 20МГц.

III. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Лесная среда является одним из основных факторов, затрудняющих прохождение радиоволн практически во всех диапазонах частот [9-18]. Для оценки влияния лесных массивов на распространение радиосигнала существуют различные методы для прогнозирования распространения радиосигнала в системах подвижной радиосвязи.

Для оценивания параметров используется метод имитационного моделирования [19-25]. В качестве среды разработки имитационной модели выбран программный пакет Matlab. Интерфейс разработанной программы представлен на рис. 1.

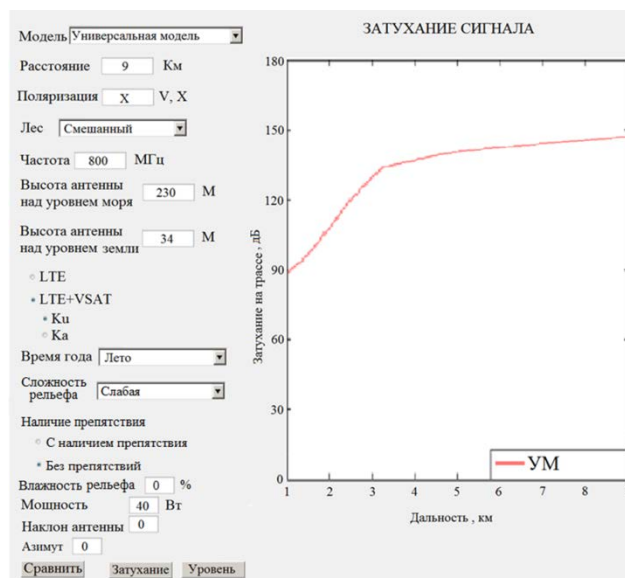


Рис.1. Интерфейс разработанной программы

Разработанная программа позволяет производить расчеты затухания и дальность связи для технологии LTE 800, 900, 1800, 2100, 2600. Разработанный комплекс позволяет производить расчет для технологии LTE, а также технологии LTE с учетом технологии VSAT для организации канала связи. Возможно учитывать распространение сигнала через смешанный, лиственный и хвойный лес; слабой сложности рельефа, средней сложности рельефа и сильной сложности рельефа. В случае, если не выбирать данный параметр, то рельеф воспринимается как ровная поверхность. Протяженность радиотрассы может задаваться в пределах от 0 до 100 км. Для анализа можно выбрать, а также сравнить результаты измерений следующих моделей: универсальная модель, основанная на рекомендации ITU-R; модель One Woodland Terminal; модель Single vegetative obstruction; модель Вайсбергепа; knife-edge и многолучевая модель.

Параметр время года позволяет задать степень листвы или хвои у деревьев. При выборе времени года лето, подразумевается наибольшая степень листвы. Данный параметр рекомендуется использовать для расчетов, так как позволяет создать наиболее неблагоприятные условия для моделирования. В статье [15] проведен анализ моделей распространения сигнала LTE в условиях лесистой местности. На основе полученных экспериментальных данных сделан вывод, что модель SVO, как и модель Вайсбергер, на больших расстояниях, не может учитывать большое количество лесных массивов и показывает наиболее благоприятный прогноз, что на практике, может оказаться не правдой. Поэтому данные модели не используются при дальнейшем расчете затухания и распространения сигнала.

Для оценки эффективности методов, результаты сравниваются с фактическим покрытием LTE-1800. Измерения проводились летом 2021 года. Лес смешанный. Измерения проводились в движении, для выяснения стабильности сигнала и в конкретных точках на внушительном отдалении от БС. Расстояние мест контрольных измерений было выбрано таким образом, чтобы измерительный комплекс находился в зоне излучения антенны. В состав измерительного оборудования входили: измерительный комплекс для анализа радиопокрытия; для мониторинга и контроля работы использовался персональный компьютер со специальным программным обеспечением. Для тестирования использовались 4 сотовых телефона с поддержкой LTE фирмы Huawei, LG, Samsung и Apple.

Для анализа результатов моделирования на рис. 1 представлен профиль трассы с указанием рельефа местности и точечным расположением БС, а значения уровня сигнала, которые предложено считать соответствующими очень плохому, плохому, хорошему и очень хорошему качеству сигнала представлены в табл. 1.

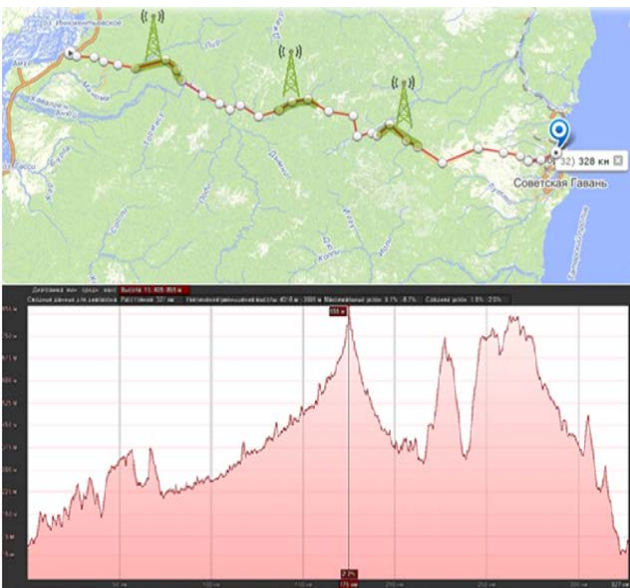


Рис. 2. Профиль трассы с указанием рельефа и точечным расположением БС

Таблица 1 – Значения уровня сигнала

Качество сигнала	Значение уровня сигнала, дБм
Очень хороший	≥ -80
Хороший	-80 до -90
Плохой	-90 до -100
Очень плохой	≤ -100

Трасса имеет сложный рельеф и из-за сильного перепада высот удается обеспечить сигналом связи лишь отдельный участок. При распространении сигнала сектора 1 покрытие трассы составляет – 17,9 км. На пути распространения сигнала сектора 2 встречается помеха в виде большой сопки, поэтому покрытие трассы составляет – 5 км. Так же необходимо учитывать, что на более дальних расстояниях телефон способен осуществлять вызов, но возможно пропадание сигнала. В качестве источника сигнала используется двухсекторная антенна фирмы Kathrein: сектор 1 – 40° и сектор 2 – 80° . Для электроснабжения используется схема альтернативной энергетики [26].

IV. МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ РАДИОСИГНАЛА

Универсальная модель [27] была разработана международным союзом электросвязи (ITU-R) на основе измеренных данных. Данная модель применяется к различным типам растительного покрова, к различным геометрическим формам трасс, что позволяет рассчитывать ослабление сигналов, проходящих через растительность. Диапазон частот, для которых данная модель работает от 30 МГц до 100 ГГц. Для описания потерь на ослабление L при распространении вдоль горизонтальной или наклонной трассы, покрытой зеленой растительностью используется следующая формула

$$L_{\text{вм}} = Af^B d^C (\theta + E)^G \quad (1)$$

где f-частота (МГц); d-глубина растительности (м); θ -угол места (градусы); A, B, C, E и G: параметры, определенные эмпирически.

One Woodland Terminal (OWT) – эмпирическая модель МСЭ для расчета затухания в условиях леса [27]. Главное условие данной модели, что передающее или приемное устройство должно находиться внутри листвы. Частота, для которой данная модель работает может быть до 5 ГГц. В данной модели дополнительные потери в лесном массиве описываются с помощью двух параметров: коэффициент погонного ослабления и общее максимальное дополнительное ослабление радиосигнала в лесном массиве. Затухание в свободном пространстве

Полные потери L_{owt} рассчитываются по формуле

$$L_{\text{owt}} = L_{\text{free}} + L_{\text{forest}} \quad (2)$$

Затухание в свободном пространстве

$$L_{free} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right), \quad (3)$$

где d – расстояние, м; λ – длина волны, м.
Затухание в лесном массиве

$$L_{forest} = L \left(1 - e \left(\frac{-d\gamma}{L_{max}} \right) \right), \quad (4)$$

где L_{max} – максимальное ослабление для одного терминала при определенном типе и глубине растительности; d – длина участка трассы, проходящего по лесу; γ – погонное ослабление для очень коротких трасс, проходящих через растительный массив. Значение зависит от частоты и является эмпирической константой.

Многолучевая модель [28-30] использует базовые принципы распространения радиоволн, когда излучаемый сигнал разделяется на лучи, для каждого из которых при прохождении через препятствия рассчитывается отраженная и прошедшая составляющая, а также учитывается дифракция на границах стен и рассеивание.

Расчет затухания определяется как

$$L_{MM} = 20 \log_{10} |E_D| - 20 \log_{10} |E_{1m}|, \quad (5)$$

где $|E_D|$ – полученная напряженность поля в точке наблюдения на расстоянии D и $|E_{1m}|$ – эталонная напряженность поля от передающей антенны в свободном пространстве без земли.

Модель knife-edge [28-31] заменяет вертикальные препятствия на бесконечно тонкие непроницаемые экраны, называемые также ребрами (knife-edge). Данные ребра расположены перпендикулярно подстилающей поверхности и направлению распространения волн. Метод может учитывать сколько угодно препятствий. Ослабление на одном препятствии состоит из трех слагаемых, учитывающих ослабление на клиновидном препятствии и дополнительное ослабление за счет геометрических характеристик реального препятствия и радиуса кривизны:

$$L_{KE} = -6,4 - 20 \log \left[\sqrt{\frac{20^2}{x} + 1} + 1,41 \frac{\theta}{\sqrt{x}} - K_H \cdot (6,6x^{0,75} y^{1,5} + \begin{cases} 18,3y\theta \\ 11,7x^{0,25} y^{1,5}\theta \end{cases} \right), \quad (6)$$

Условие $18,3y\theta$ выполняется при $\theta > 0$, а $11,7x^{0,25} y^{1,5}\theta$ при $\theta < 0$.

$$K_H = \exp \left(- \left(0,5 \left(\frac{f}{R} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \right), \quad (7)$$

$$x = \frac{3 \cdot 10^{-4} d_0}{fd'_i d''_i}, \quad (8)$$

$$y = 14,9 \cdot R^{\frac{1}{3}} \cdot f^{\frac{1}{3}}, \quad (9)$$

где R – радиус кривизны препятствия, f – частота.

Итоговая формула выглядит следующим образом

$$L_{KE} = \sum L_i + \sum L_b - \sum A_i \quad (10)$$

где L_i – значения затухания на каждом препятствии, L_b – значения затухания на каждом открытом участке, A_i – фактор учитывающий взаимное влияние соседних препятствий.

На рис. 3 показан общий график затухания радиосигнала на частоте 1800 МГц сектора 1 (C-1) и сектора 2 (C-2) для четырех моделей.

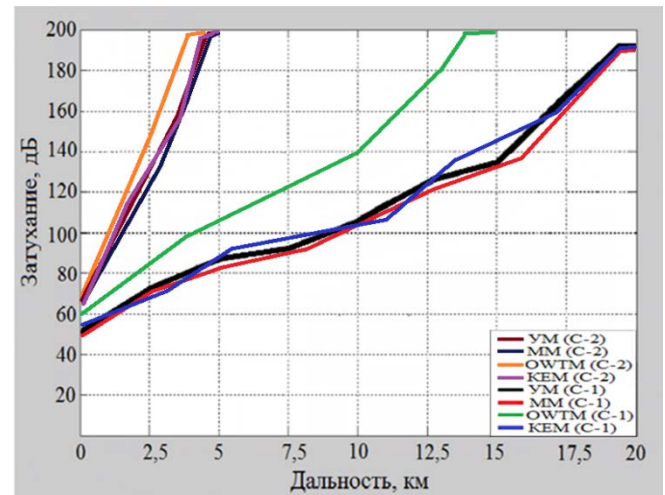


Рис. 3. Профиль трассы с указанием рельефа местности и покрытия GSM-1800

На рис. 4 показан общий график прогнозирования уровня радиосигнала на частоте 1800 МГц в секторе 1 (C-1) и секторе 2 (C-2) для четырех моделей.

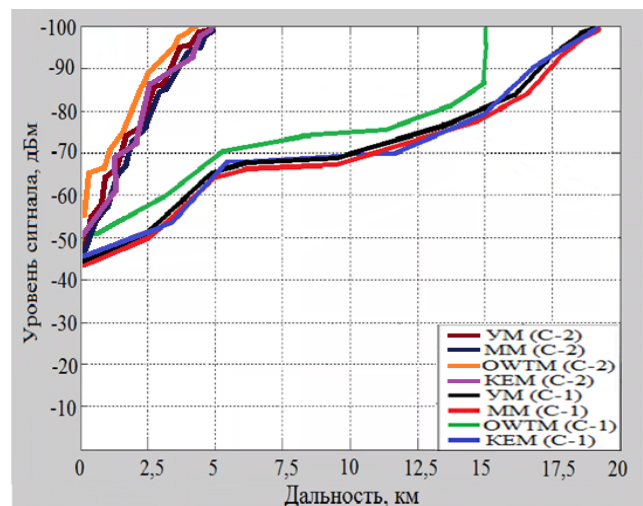


Рис. 4. Профиль трассы с указанием рельефа местности и покрытия GSM-1800

Так как на пути сектора 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 1800 МГц для сектора 1 показаны на рис. 5. Результаты распространения сигнала LTE-1800 с учетом смешанного леса полученные с помощью моделирования и экспериментальным путем, представлены в табл. 2.

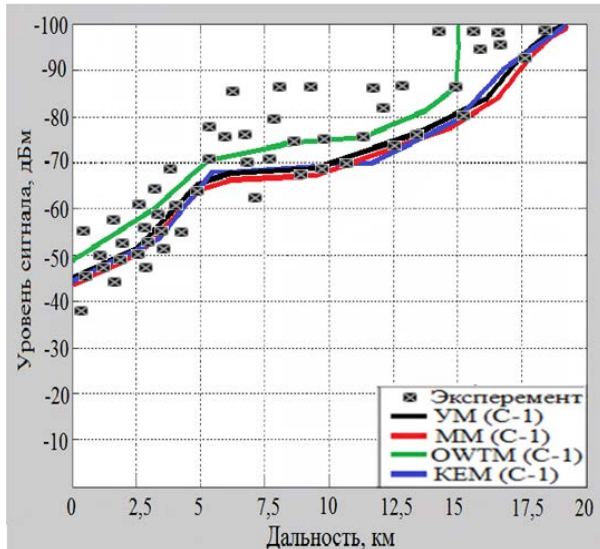


Рис. 5. Результаты моделирования и экспериментальных данных на частоте 1 800 МГц для сектора 1

Таблица 2 – Результаты расчетов распространения сигнала с учетом смешанного леса в зависимости от модели

Модель	Дальность распространения сигнала LTE-1 800			
	Теория		Практика	
	С-1, км	С-2, км	С-1, км	С-2, км
Универсальная (УМ)	18,5	4,9	17,9	5
Многолучевая (ММ)	18,7	4,9		
One woodland terminal (OWTM)	15	4,3		
Knife-edge	18,6	4,9		

На основе полученных данных видно, что в условиях смешанного леса модель one woodland для сектора 1 прогнозирует средние результаты до 15 км и подходит не для всех условий, но, несмотря на это, позволяет учитывать на каком километре будет уже неустойчивый сигнал, что тоже важно при планировании новых базовых станций. Многолучевая модель для сектора 1 прогнозирует хороший уровень сигнала до 17,5 км и с возможным пропаданием до 18,7 км. Модель knife-edge для сектора 1 прогнозирует хороший уровень сигнала до 17 км и с возможным пропаданием до 18,6 км.

Универсальная модель для сектора 1 прогнозирует хороший уровень сигнала до 17,3 км и с возможным пропаданием до 18,5 км. Многолучевая, knife-edge и универсальная модели показывают похожие результаты. Однако, точность результатов математических knife-edge и многолучевой моделей зависит от входных данных. Поэтому без учета каких-либо параметров рассматриваемой местности можно получить не корректные результаты.

Основываясь на практических показаниях покрытия полученных в результате экспериментальных исследований на реальном участке автодороги Лидога-Ванино в Хабаровском крае, для дальнейшего анализа на территории загородных трасс Хабаровского края рекомендуется использовать универсальную модель и многолучевую, поэтому для анализа LTE-2600 будут использоваться именно эти модели

V. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ LTE-2600

Для расчета дальности распространения радиосигнала LTE-2600 используются те же ключевые параметры, что и для LTE-1800. Результаты затухания радиосигнала на частоте 2600 и 1800 МГц рассчитанные универсальной моделью и многолучевой для сектора 1 показаны на рис. 6.

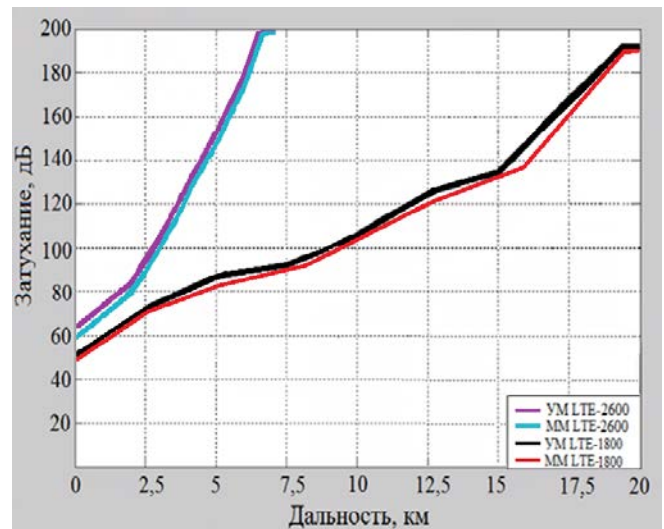


Рис. 5. Результаты моделирования и экспериментальных данных на частоте 1 800 МГц для сектора 1

Результаты прогнозирования уровня радиосигнала на частоте 2600 и 1800 МГц, рассчитанные универсальной и многолучевой моделями для сектора 1 с учетом смешанного леса, показаны на рис. 6.

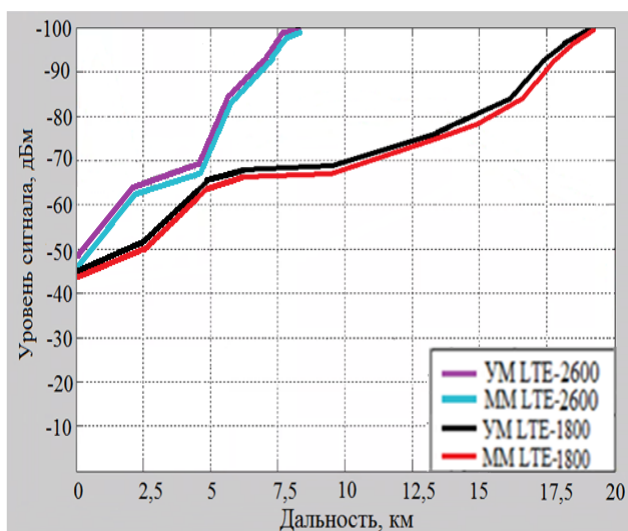


Рис. 6. Результаты уровня радиосигнала на частоте 2600 и 1800 МГц, рассчитанные универсальной и многолучевой моделями для сектора 1

Результаты расчетов распространения сигнала LTE для сектора 1 в зависимости от диапазона и модели с учетом смешанного леса показаны в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов распространения сигнала LTE для сектора 1 в зависимости от диапазона и модели с учетом смешанного леса

Модель	Дальность распространения сигнала LTE	
	LTE-2600, км	LTE-1800, км
Универсальная (УМ)	8,2	18,5
Многолучевая (ММ)	8,4	18,7

Результаты проведенных измерений показывают, что при использовании технологии LTE-1800 получается достигнуть большего покрытия местности со сложным рельефом, чем при использовании LTE-2600. Если в приоритете высокая скорость передачи данных, то для этого подойдет технология LTE-2600, если перед оператором стоит цель обеспечить территорию хорошим покрытием, то подойдет LTE-1800. Помимо этого, для улучшения качества сети возможно расширение спектра за счет использования агрегации частот или совместного использования полос частот, выделенных отдельными операторами.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен анализ распространения радиоволн на сложной по рельефу автомобильной трассе Лидога-Ванино Хабаровского края с смешанным лесом. Исходя из сложности трассы, рассматриваются следующие методы для расчета дальности связи: универсальная модель, модель one woodland terminal, многолучевая и knife-edge модели. Анализ представленных методов показывает, что для дальнейшего использования при размещении БС на территории загородных трасс Хабаровского края стандарта LTE рекомендуется

использовать универсальную и многолучевую модель.

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

Полученные в работе результаты подтверждаются экспериментально. Предложенные методы, модели и технические решения позволяют учесть распространение радиоволн еще на этапе проектирования радиосистем и устройств связи для практической реализации современной инфраструктуры передачи голоса и данных на сложных по рельефу загородных трассах.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Анпилогов В.Р., Афонин А.А. Эффективность TDMA-каналов в интерактивной VSAT-сети // Технологии и средства связи. – № 6-2. – 2009. Специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание 2010". С. 88–93.
- [2] Типугина В. Поддержка трафика сетей 3G/LTE спутниковой системой JUPITER™ // Технологии и средства связи. – № 6-2. – 2015. Специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание-2016". С. 50–51.
- [3] Анпилогов В.Р. Эффективность спутниковых каналов в IP-сети передачи данных. // Технологии и средства связи. Специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание 2008". С. 64–66.
- [4] Стратегии распределения радиоресурсов в гетерогенных сетях с трафиком Narrow-Band IoT Бегишев В.О., Самуйлов А.К., Молчанов Д.А., Самуйлов К.Е. Системы и средства информатики. 2017. Т. 27. № 4. С. 64-79.
- [5] Новые LPWA-модули производства Quectel Wireless Solutions с поддержкой NB-IoT Алексеев В. Беспроводные технологии. 2018. № 1 (50). С. 20-28.
- [6] Анализ применения системы ENUM при реализации услуги VOLTE Елагин В.С., Фрик П.А. В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018). VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сборник научных статей. В 4-х томах. Под редакцией С.В. Бачевского. 2018. С. 350-354.
- [7] Modelling the region-based VOLTE cell capacity estimation using resource optimization Senapati R., Pati H.K. IET Communications. 2019. Т. 13. № 9. С. 1225-1235.
- [8] Анализ оценки MOS в сети VOLTE Дроздова В.Г., Журиной С.В. В сборнике: Современные проблемы телекоммуникаций. Материалы Международной научно-технической конференции. Новосибирск, 2021. С. 184-190.
- [9] T.Tamir, On radio wave propagation in forest environments. IEEE Tr. AP, vol. AP-15, No. 6, pp. 806-817, Nov. 1967
- [10] D. Dence, T.Tamir. Radio loss of lateral waves in forest environments. Radio Sci. Vol.4, No.4, pp. 307-318, April 1969.
- [11] T. Tamir, Radio wave propagation along mixed paths in forest environments. IEEE Tr. AP, vol. AP-25, No. 4, pp. 471-477, July 1977.
- [12] Y.S.Meng, Y.H. Lee, B.C. Ng. Study of propagation loss prediction in forest environment. PIER B, vol.17, 117-133, 2009.
- [13] Li L.W., Yeo T.S., Kooi P.S., Leong M.S. Radio wave propagation along mixed paths through a four – layered model of rain forest: an analytical approach./ IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 46, No. 7, 1098-1111, 1998.
- [14] Koh J.H., Li L.W., Kooi P.S., Yeo T.S., Leong M.S. Dominant lateral waves in canopy layer of a four – layered forest. /Radio Sci., Vol. 34, No.3, 681—691, 1999.
- [15] Analysis of LTE Signal Propagation Models in Wooded Areas for Khabarovsk Highways G.V. Zhiba;V.P. Pisarenko;D.V. Vegeera В сборнике: 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. С. 9271104.
- [16] Оценка распространения сигнала LTE на сложной по рельефу загородной трассе с учетом хвойного леса Вегера Д.В., Жиба Г.В., Писаренко В.П., Сай С.В.Вестник кибернетики. 2021. № 3 (43). С. 23-29.
- [17] Оценка распространения GSM сигнала на трассе со сложным рельефом и хвойным лесом Вегера Д.В., Жиба Г.В., Писаренко

- В.П. International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9. № 10. С. 52-61.
- [18] Improve noise immunity of transfer messages by radio channel in cellular systems Zhiba G.V., Pisarenko V.P., Shevtsov A.N. В сборнике: 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018 2019. С. 8602932.
- [19] Мельников Ю.Н. Достоверность информации в сложных системах. Книга. М.: Сов. радио, 1973. - стр. 192.
- [20] Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи: Пер. с англ./ Под ред. Б.Р. Левина. Т.1. М.: Сов. радио. 1961. 782 с.
- [21] Пирс У. Построение надежных вычислительных машин – М. Мир, 1968 г.
- [22] Исследование повышения скорости LTE-A с помощью агрегации частот Жиба Г.В., Захаров И.С., Смоляков А.А., Писаренко В.П., Шевцов А.Н. В сборнике: Информационные технологии XXI века сборник научных трудов. Хабаровск, 2017. С. 451-460.
- [23] Исследование возможностей применимости стандарта LTE SAТ.9 Жиба Г.В., Захаров И.С., Смоляков А.А., Писаренко В.П. Ученые заметки ТОГУ. 2017. Т. 8. № 2. С. 155-163.
- [24] Анализ помехоустойчивости каналов связи LTE и WIMAX Жиба Г.В., Писаренко В.П., Захаров И.С., Шевцов А.Н. Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2017. № 3 (12). С. 17-21.
- [25] Шастова, Г.А. Кодирование и помехоустойчивость передачи телемеханической информации / Г.А. Шастова. — М. : Энергия, 1966.
- [26] Использование альтернативной энергетики в системах энергоснабжения телекоммуникационного оборудования Вегера Д.В., Власов В.Н., Писаренко В.П., Терещенко В.Д. Наука и технологии. 2018. № 1 (34). С. 77-81.
- [27] Рекомендация МСЭ-R P.833-9. Ослабление сигналов растительностью. Женева, 2016. 31 с.
- [28] Balkhanov V.K., Advocate V.R., Bashkuev Yu.B. (2014) Average electrical characteristics of the «forest layer» and the height of the forest cover. Journal of Technical Physics, vol. 84, no. 8, pp. 132–136.
- [29] Li Y., Ling H. (2009) Numerical modeling and mechanism analysis of VHF wave propagation in forested environments using the equivalent slab model. Progress in Electromag, vol. 91, pp. 17–34.
- [30] Yeow Chong Daniel. (2014) Modeling of radiowave propagation in a forested environment, p. 15.

Estimation of LTE signal propagation on a track with difficult terrain and mixed forest

D. Vegeera, V. Vlasov, G. Zhiba, S. Sai

Abstract—The creation of a modern infrastructure for the transmission of voice and data on suburban roads, difficult in relief, remote and inaccessible settlements, is one of the most important problems. Radio waves propagating in the forest have high path loss compared to other media. This is due to the significant influence of forest vegetation on the parameters of electromagnetic radiation in almost any range. Therefore, based on the example of an existing communication object, methods for calculating the attenuation and propagation range of a radio signal for LTE technology, taking into account forest areas, are considered and compared with actual indicators. A brief description of the LTE technology, the developed program, and the methods used is given. The results of modeling the attenuation and propagation range of the radio signal are presented. The proposed methods, models and technical solutions make it possible to take into account the propagation of radio waves even at the design stage of radio systems and communication devices for the practical implementation of a modern infrastructure for voice and data transmission on suburban roads, difficult in relief, remote and inaccessible settlements. To solve the set tasks, methods of mathematical modeling, computational mathematics, system analysis, programming methods and field experimental research are used.

Keywords—LTE, universal model, one woodland terminal model, multi-beam model, knife-edge model.

REFERENCES

- [1] Anpilogov V.R., Afonin A.A. Efficiency of TDMA channels in an interactive VSAT network // Technologies and communication facilities. - No. 6-2. - 2009. Special issue "Satellite communications and broadcasting 2010". P. 88–93.
- [2] V. Tipugina Traffic support of 3G / LTE networks by satellite system JUPITER™ // Technologies and communication facilities. - No. 6-2. - 2015. Special issue "Satellite communications and broadcasting-2016". P. 50-51.
- [3] Anpilogov V.R. The efficiency of satellite channels in an IP data transmission network. // Technologies and means of communication. Special issue "Satellite communications and broadcasting 2008". P. 64–66.
- [4] Strategies for allocating radio resources in heterogeneous networks with Narrow-Band IOT traffic Begishev V.O., Samuilov A.K., Molchanov D.A., Samuylov K.E. Systems and means of informatics. 2017.Vol. 27.No. 4.P. 64-79.
- [5] New LPWA modules by Quectel Wireless Solutions with NB-IOT support Alekseev V. Wireless technologies. 2018. No. 1 (50). P. 20-28.
- [6] Analysis of the application of the ENUM system in the implementation of the VOLTE service Elagin V.S., Frik P.A. In the collection: Actual problems of infotelecommunications in science and education (APINO 2018). VII International Scientific-Technical and Scientific-Methodological Conference. Collection of scientific articles. In 4 volumes. Edited by S.V. Bachevsky. 2018.P. 350-354.
- [7] Modeling the region-based VOLTE cell capacity estimation using resource optimization Senapati R., Pati H.K. IET Communications. 2019.Vol. 13.No. 9.P. 1225-1235.
- [8] Analysis of the MOS assessment in the VOLTE network Drozdova V.G., Zhurin S.V. In the collection: Modern problems of telecommunications. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Novosibirsk, 2021.S. 184-190.
- [9] T.Tamir, On radio wave propagation in forest environments. IEEE Tr. AP, vol. AP-15, No. 6, pp. 806-817, Nov. 1967
- [10] D. Dence, T.Tamir. Radio loss of lateral waves in forest environments. Radio Sci. Vol.4, No.4, pp. 307-318, April 1969.
- [11] T. Tamir, Radio wave propagation along mixed paths in forest environments. IEEE Tr. AP, vol. AP-25, No. 4, pp. 471-477, July 1977.
- [12] Y.S.Meng, Y.H. Lee, B.C. Ng. Study of propagation loss prediction in forest environment. PIER B, vol.17, 117-133, 2009.
- [13] Li L.W., Yeo T.S., Kooi P.S., Leong M.S. Radio wave propagation along mixed paths through a four – layered model of rain forest: an analytical approach./ IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol. 46, No. 7, 1098-1111, 1998.
- [14] Koh J.H., Li L.W., Kooi P.S., Yeo T.S., Leong M.S. Dominant lateral waves in canopy layer of a four – layered forest. /Radio Sci., Vol. 34, No.3, 681–691, 1999.
- [15] Analysis of LTE Signal Propagation Models in Wooded Areas for Khabarovsk Highways G.V. Zhiba;V.P. Pisarenko;D.V. Vegeera In the collection:: 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020. 2020. C. 9271104.
- [16] Estimation of the propagation of an LTE signal on a suburban road with a complex relief, taking into account the coniferous forest Vegeera DV, Zhiba GV, Pisarenko VP, Sai SV Bulletin of Cybernetics. 2021. No. 3 (43). P. 23-29.
- [17] Estimation of GSM signal propagation on a route with difficult terrain and coniferous forest Vegeera DV, Zhiba GV, Pisarenko VP. International Journal of Open Information Technologies. 2021. T. 9.No. 10.P. 52-61.
- [18] Improve noise immunity of transfer messages by radio channel in cellular systems Zhiba G.V., Pisarenko V.P., Shevtsov A.N. In the collection: 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018 2019. C. 8602932.
- [19] Melnikov Yu.N.. Reliability of information in complex systems. Book. M.: Sov. radio, 1973. - p. 192.
- [20] Middleton D. Introduction to Statistical Communication Theory: Trans. from Eng./ edited by B.R. Levina. T.I. M.: Sov. radio. 1961. 782 p.
- [21] Pirs U. Building Reliable Computing Machines – M. World, 1968 y.
- [22] Investigation of increasing the speed of LTE-A using frequency aggregation Zhiba G.V., Zaharov I.S., Smolyakov A. A., Pisarenko V.P., Shevtsov A.N. In the collection: Information technologies of the XXI century collection of scientific papers. Khabarovsk, 2017. p. 451-460.
- [23] Study of the applicability of the LTE CAT.9 standard Zhiba G.V., Zaharov I.S., Smolyakov A. A., Pisarenko V.P. Academic Notes PSU. 2017. T. 8. № 2. p. 155-163.
- [24] Analysis of noise immunity of LTE and WIMAX communication channels Zhiba G.V, Pisarenko V.P., Zaharov I.S., Shevtsov A.N. Transport of the Asia-Pacific region. 2017. № 3 (12). p. 17-21.
- [25] Shastova, G.A. Coding and noise immunity of telemechanical information transmission / G.A. Shastova. — M. : Energy, 1966.
- [26] Use of alternative energy in power supply systems for telecommunications equipment Vegeera D.V., Vlasov V.N., Pisarenko V.P., Tereshchenko V.D. Science and technology. 2018. № 1 (34). P. 77-81.
- [27] Recommendation ITU-R P.833-9. Attenuation of signals by vegetation. Geneva, 2016.31 p.
- [28] Balkhanov V.K., Advocate V.R., Bashkuev Yu.B. (2014) Average electrical characteristics of the «forest layer» and the height of the forest cover. Journal of Technical Physics, vol. 84, no. 8, pp. 132–136.
- [29] Li Y., Ling H. (2009) Numerical modeling and mechanism analysis of VHF wave propagation in forested environments using the equivalent slab model. Progress in Electromag, vol. 91, pp. 17–34.
- [30] Yeow Chong Daniel. (2014) Modeling of radiowave propagation in a forested environment, p. 15.