

Разработка программ расчетов максимально допустимых потерь и зоны покрытия при проектировании сети мобильной связи стандарта LTE-APro-R (Railway)

А. А. Маслова

*Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I*

Bloodyelis@yandex.ru

Ю. В. Юркин

*Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I*

Yvyur@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается методика расчета максимально допустимых потерь и зоны покрытия в сети наземной подвижной связи. Обосновывается ее использование при проектировании сети мобильной связи стандарта LTE-APro-R для нужд железнодорожного транспорта. Для выполнения вычислений на одном из этапов планирования сети связи стандарта LTE-APro-R, предлагается использовать приложение, созданное в среде Visual Studio.

Ключевые слова: планирование сети связи; среда программирования; сеть мобильной связи; стандарт; потери; железнодорожный транспорт

I. ВВЕДЕНИЕ

Международный союз железнодорожников (UTC) планирует в 2030 г. завершить использование систем стандарта GSM-R и перейти на стандарт 4G – LTE-APro-R (Railway), а также 5G-R. Этот переход осуществится на основании разработанной концепции будущей системы железнодорожной мобильной связи – FRMCS (Future Railway Mobile Communication System). Системы 4G (стандарт LTE-R) уже успешно функционируют на отдельных высокоскоростных железнодорожных направлениях нескольких стран (например, в Дании, Китае, Ю.Корее). В феврале 2024 года стало известно о создании в Германии опытного участка длиной 10 км. (Мекленбург-Передняя Померания), оснащенного системой мобильной связи стандарта 5G-R (сетевое оборудование от компании Ericsson). По экспертным оценкам, к 2030 году данная система 5G-R обеспечит пропускную способность до 5 Гбит/с на один поезд [1].

В процессе проектирования таких сетей важным этапом является расчет максимально допустимых потерь и зоны покрытия ячейками железнодорожных участков и станций. В частности, при проектировании сети мобильной связи, осуществляется процесс динамического распределения ресурсов базовой сети, в соответствии с алгоритмом планирования [2].

Актуальность создания автоматизированных методов расчета связана с тенденцией увеличения зон покрытия высокоскоростной мультисервисной мобильной связи на основе систем с пакетной коммутацией, как в сетях связи общего пользования, так и в сетях на железнодорожном транспорте Российской Федерации. Задачей данной работы является оптимизация расчетов при

проектировании сетей мобильной связи с пакетной коммутацией на железнодорожном транспорте.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Системы мобильной связи стандарта LTE-APro-R (Railway) на железнодорожном транспорте РФ могут работать на направлениях высокоскоростного движения, обеспечивая функции поездной, станционной, маневровой, горочной, ремонтно-оперативной радио (РОРС), оперативно-технологической (ОТС) и общетехнологической связи (ОбТС), видеоконференцсвязи [3,4]. Системы стандарта LTE-APro-R способны работать как в лицензируемых (450, 800, 1800, 1900, 2100 МГц), так и в нелицензируемых (LTE-Unlicensed – 2,4; 5 ГГц) диапазонах частот.

Использование свободного лицензируемого частотного диапазона 1785-1805 МГц, с шириной полосы 1,4; 3; 5; 10; 20 МГц может обеспечивать на железнодорожном транспорте:

- интеллектуальное управление движением поезда;
- приоритетность при организации сеансов связи в сети ОТС;
- передачу данных с высокой скоростью;
- все виды вышеназванных систем радиосвязи;
- передачу информации о позиционировании железнодорожных объектов;
- видеоконференцсвязь и видеонаблюдение HD (High Definition) на станциях и в вагонах поездов;
- организацию интеллектуальной системы информирования пассажиров на станциях и в поездах;
- организацию сети мобильной ОбТС.

Использование нелицензионного частотного диапазона 2,4 ГГц позволит, кроме того, осуществлять сбор и анализ как небольших объемов данных на основе IoT (Internet of Things), так и значительных объемов данных (Big Data). Возможно одновременное использование на железнодорожном транспорте лицензионного и нелицензионного диапазонов частот.

Планирование сетей связи стандарта LTE-APro-R включает в себя [2]:

- определение пространственных параметров сети;

- частотное планирование;
- оценка пропускной способности при заданной структуре трафика, и др.

При планировании сетей 2G и 3G зона покрытия базовой станцией BTS (Base Transceiver Station) определялась исходя из абонентской нагрузки в час наибольшей нагрузки (ЧНН). В процессе планирования находился энергетический баланс в сети, при котором достигалось одинаковое качество передачи информации по линии «вверх» и «вниз» (далее, DL и UL).

Напротив, абонентская нагрузка на сеть LTE-APro-R будет зависеть от видов услуг и от дисциплин обслуживания вызовов абонентов, которым оказываются эти услуги связи. Поэтому в процессе планирования зоны покрытия базовыми станциями eNB (evolved Node Base station) целесообразно использовать не абонентскую нагрузку в ЧНН, а пиковые скорости передачи данных в каналах.

Таким образом, оценка оптимального покрытия сети производится по моделям Okumura–Hata и COST 231-Hata. Методики, основанные на применении эмпирических графиков (модели Дж. Окамуры и Рекомендации 1546 МСЭ) достаточно неудобны для практического применения, особенно при автоматизации расчетов с использованием ЭВМ [5]. Поэтому М. Хата получил аналитическую модель предсказания потерь распространения сигналов, как результат аппроксимации кривых Окамуры.

Модель расчета медианных потерь на трассах наземной подвижной связи Окамура–Хата описана в Рекомендациях МСЭ-Р и положена в основу стандартной модели COST 321-Hata, рекомендуемой Европейским институтом стандартов в телекоммуникациях (ETSI).

Модель Окамура–Хата позволяет рассчитать значения медианных потерь на трассах наземной подвижной связи при следующих ограничениях:

- частота сигнала $f = 100\text{--}3000$ МГц;
- дальность связи $R = 1\text{--}300$ км;
- высота подъема антенны базовой станции $h_{bs} = 30\text{--}200$ м;
- высота подъема антенны мобильной станции $h_{ms} = 1\text{--}10$ м.

Это позволяет применять данный метод при планировании сети связи стандарта LTE-APro-R.

III. МЕТОД РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

В качестве иллюстрации, представлен рис. 1. Пусть мобильный терминал UE (User Equipment) находится на краю соты, причем, уровень мощности сигнала излучаемого его передатчиком составляет W_1 . Минимально допустимый уровень мощности сигнала на входе приемника eNB составляет W_2 . Для того, чтобы

сигнал от UE был принят eNB, потери мощности в тракте передачи не должны превышать величины максимально допустимых потерь (МДП). Эта величина и рассчитывается по методу Окамура–Хата.

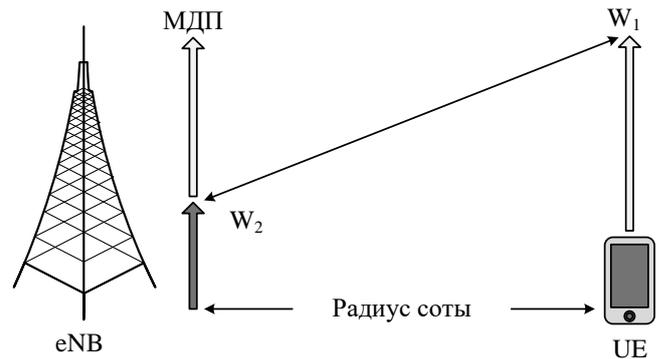


Рис. 1. Иллюстрация к расчету

В первую очередь, необходимо рассчитать вспомогательные данные, которые позволят уточнить получаемую структуру сети:

- запас на внутрисистемные помехи, учитывающий влияние помех от соседних сот на eNB и UE: вычисляется исходя из относительной загрузки соты;
- эффективная изотропно-излучаемая мощность передатчика: мощность излучения антенны с учетом потерь в антенно-фидерном тракте;
- шумовая полоса приемника, представляющая из себя произведение количества ресурсных блоков на ширину полосы одного ресурсного блока;
- мощность теплового шума приемника, которая связывает предыдущий параметр, постоянную Больцмана и абсолютную температуру;
- чувствительность приемника.

В итоге, при расчете всех необходимых параметров, вычисляются значения максимально допустимых потерь для линий «вверх» и «вниз». Из двух параметров выбирается значение МДП для линии «вверх», так как мощность излучения антенны eNB выше, чем мощность излучения антенны UE.

Последовательность этапов расчета, на основе представленной выше модели Окамуры–Хата [2], показана на рис. 2. Чтобы ускорить процесс вычислений, было разработано приложение WPF (Windows Presentation Foundation). Программирование производилось на языке C# в среде Visual Studio.

Выбор языка программирования и среды разработки связан с наличием в одном месте редактора исходного кода, компилятора, и мастеров кодификаций, что позволяет создавать современные приложения [6].

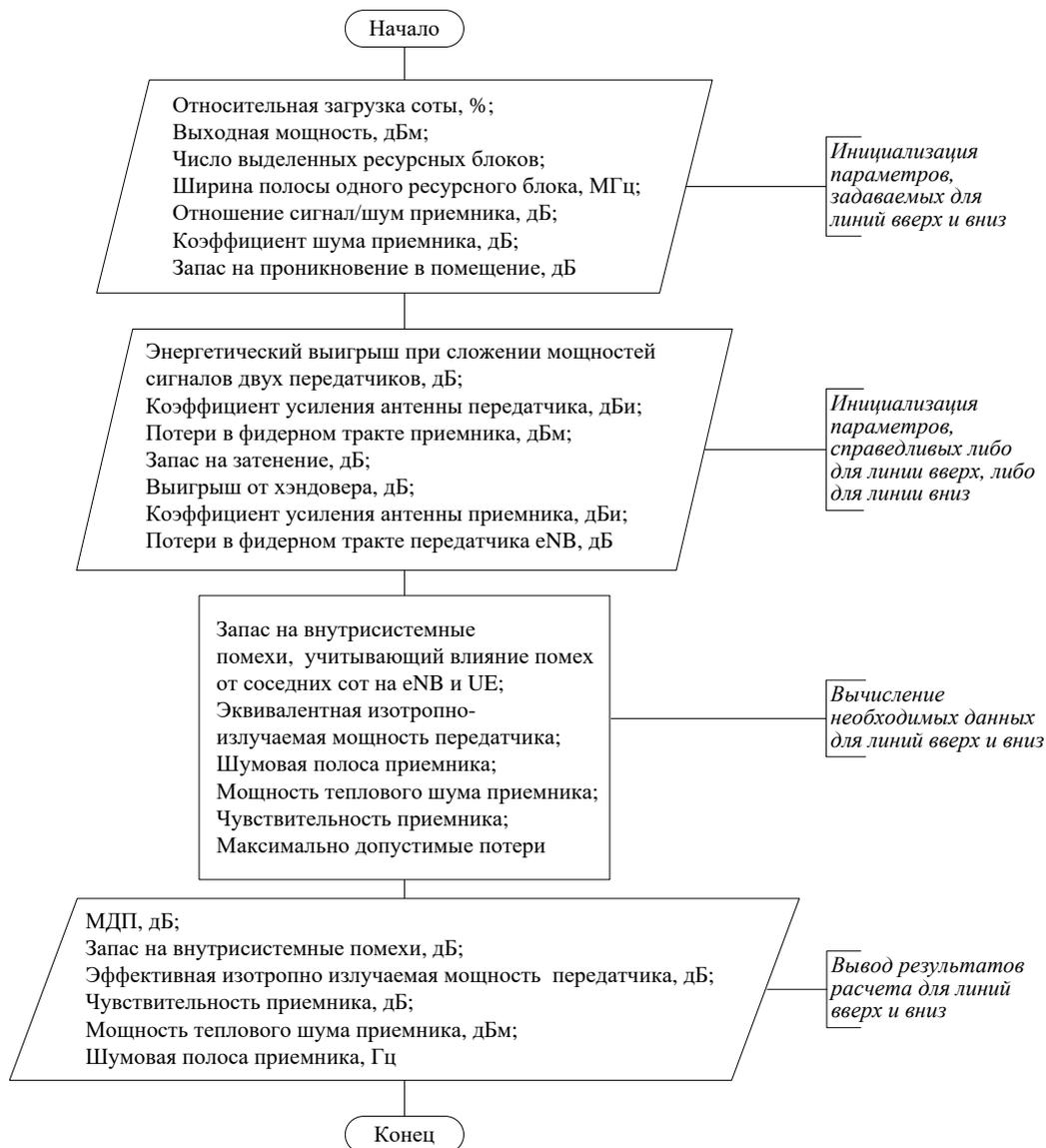


Рис. 2. Последовательность расчета максимально допустимых потерь



Рис. 3. Последовательность расчета радиуса соты

Для расчета радиуса соты также было создано приложение WPF. Последовательность расчета представлена на рис. 3. В расчете учитываются следующие исходные данные:

- максимально допустимые потери, рассчитанные ранее;
- высота антенны eNB;
- высота антенны UE;
- рабочая частота;
- длина проектируемого железнодорожного участка.

На выходе вычисляется поправочный коэффициент высоты приемной антенны, учитывающий рабочую частоту передатчика eNB и высоту антенны UE, радиус соты, площадь покрытия соты и количество базовых станций, рассчитываемое исходя из длины железнодорожного участка и радиуса соты.

Снимок экрана окна программы расчета радиуса соты представлен на рис. 4.

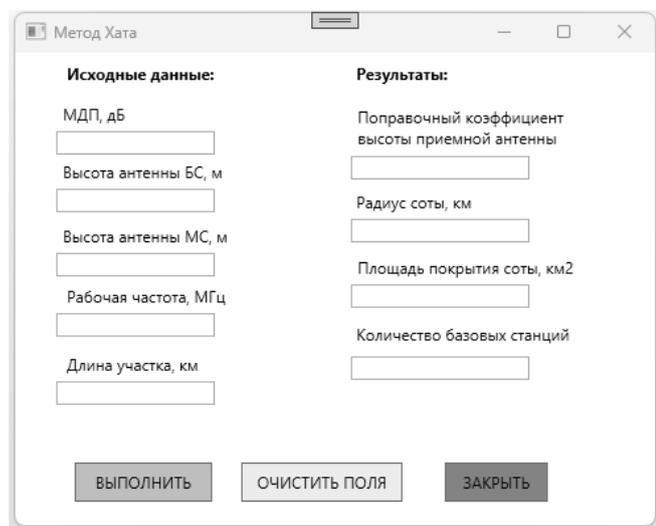


Рис. 4. Снимок экрана окна программы расчета радиуса соты

С учетом перспектив применения 5G-R на железнодорожном транспорте, возможно построение гетерогенной сети мобильной связи [4], концепция построения которой представлена на рис. 5.

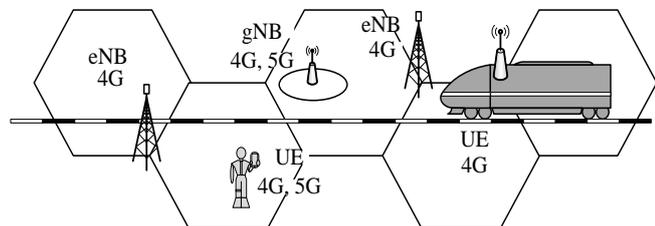


Рис. 5. Конфигурация гетерогенной сети мобильной связи

Сеть состоит из макросот [4], в которых функционирует система мобильной связи стандарта 4G, и микросот, расположенных в зданиях на железнодорожных станциях, где реализована система стандарта 5G-R.

Необходимо учесть, что рабочая частота стандарта 5G-R – от 5 ГГц и выше, следовательно, при планировании сети связи гетерогенной структуры, необходимо применить модель расчета, приемлемую для такого диапазона частот. Метод Окамуры–Хата, в случае построения гетерогенной сети, позволит рассчитать параметры железнодорожных участков, где используется стандарт LTE-APro-R.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка автоматизированных методов расчета параметров, необходимых при проектировании сетей мобильной связи 4G-R и 5G-R на железнодорожном транспорте является актуальной задачей. В частности, оценка оптимального покрытия сети 4G-R может производиться на основании моделей Okumura–Nata и COST 231–Nata. В статье представлены разработанные на основании этих моделей алгоритмы расчета максимально допустимых потерь мощности радиосигнала при его передаче по радиотракту на железнодорожном участке и радиуса макросоты системы 4G-R.

Метод расчета может быть использован как при модернизации сети связи на существующих участках железной дороги, так и при строительстве новых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] <https://zdmira.com/news/db-pustili-opytnyi-uchastok-dlya-testirovaniya-radiosvyazi-standarta-5G>.
- [2] Бобков В.Ю. Подходы к планированию и оптимизации сетей LTE: презентация. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. 2013 г.
- [3] Юркин Ю.В., Герасимов Е.М. Вопросы организации сети мобильной связи с пакетной коммутацией на высокоскоростных направлениях железных дорог // Инновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. Проблемы и решения: сборник статей V-ой международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, Петергоф: Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева, май 2022. С. 442-450.
- [4] Юркин Ю.В., Маслова А.А., Герасимов Е.М. Организация гетерогенной сети мобильной связи на железнодорожном транспорте // Автоматика, связь, информатика. 2022. №10. С. 16-20.
- [5] Владимиров С.С. Беспроводные системы передачи данных. Расчет потерь на трассе радиоканала. СПбГУТ. СПб, 2020. 32 с.
- [6] Microsoft Learn. Spark possibility [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://learn.microsoft.com/> (дата обращения: 10.01.2024г).