

Электронный научный журнал «Век качества» ISSN 2500-1841 <https://www.agequal.ru>
2025, №3 https://www.agequal.ru/pdf/2025/AGE_QUALITY_3_2025.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:

Лобеев Д.П., Гриценко А.А., Билятдинов К.З. Применение комплекса моделей проектирования цифровых сетей в местах пересечения с другими цифровыми системами железнодорожного транспорта стандарта LTE-1800 TDD // Электронный научный журнал «Век качества». 2025. №3. С. 183-197. Режим доступа: <https://www.agequal.ru/pdf/2025/325012.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 654.164

**Применение комплекса моделей проектирования цифровых сетей
в местах пересечения с другими цифровыми системами
железнодорожного транспорта стандарта LTE-1800 TDD**

*Лобеев Дмитрий Петрович,
аспирант кафедры «Электрическая связь»
Петербургского государственного университета путей сообщения
Императора Александра I
190031, г. Санкт-Петербург., пр-т Московский, 9
lobeev1@mail.ru*

*Гриценко Андрей Аркадьевич,
кандидат технических наук, генеральный директор
АО ИКЦ «Северная корона»
199034, г. Санкт-Петербург., 17-я линия В.О., 4-6
org@spacecenter.ru*

*Билятдинов Камиль Закирович,
доктор технических наук, кандидат военных наук,
И.О. заведующего кафедры, профессор кафедры
«Информатика и информационная безопасность»
Петербургского государственного университета путей сообщения
Императора Александра I
190031, г. Санкт-Петербург., пр-т Московский, 9
inib@pgups.ru*

Статья посвящена решению критической проблемы проектирования цифровых систем технологической железнодорожной радиосвязи стандарта LTE-1800 TDD (1785-1805 МГц) в зонах их пересечения, где взаимные помехи делают обеспечение устойчивой связи нетривиальной задачей. Предлагается и валидируется комплекс специализированных моделей проектирования, адаптированных для таких сложных сценариев. Модели, согласно стандарту LTE, дифференцированы по ширине используемой полосы пропускания: 1.4 МГц, 3 МГц, 5 МГц, 10 МГц.

В качестве испытательного участка выбрано место пересечения систем в условиях г. Москва, характеризующихся высокой загрузкой частотного спектра и строгими требованиями электромагнитной совместимости (ЭМС). Моделирование проводилось для заданных жестких технических требований.

В результате моделирования было выявлено, что модели с шириной полосы пропускания 10 МГц и 5 МГц (работающие в основной части диапазона, ограниченной защитными интервалами) показали катастрофический уровень помех от соседних базовых станций, делающий связь в зоне пересечения практически невозможной.

При этом использование модели проектирования с использованием ширины полосы 3 МГц, имеющей 3 частотных номинала, улучшила ситуацию ЭМС, но не обеспечила сплошного покрытия из-за сохраняющегося влияния «мешающей» частоты.

Оптимальным решением для асинхронного режима является модель проектирования с использованием ширины полосы 1.4 МГц (разбиение на 7 групп частот), которая показала полную эффективность: обеспечила сплошное покрытие зоны пересечения двух систем и требуемые скорости передачи 2 Мбит/с. Это объясняется максимальной частотной избирательностью и минимизацией взаимных помех.

Также исследована возможность применения синхронного режима для подавления помех между базовыми станциями. Показаны его ресурсоемкость (применим только для полос 5 и 10 МГц); ограниченная эффективность для полосы 10 МГц; альтернатива для 5 МГц: модель в синхронном режиме обеспечила требуемое покрытие и параметры в зоне пересечения, однако требует большого ресурса для синхронизации.

Работа подтверждает практическую значимость предложенного комплекса моделей проектирования. Она предоставляет четкую методологию выбора оптимальной конфигурации (ширины полосы, режим работы) на основе детального моделирования, учитывающего специфику местоположения и технические требования.

Ключевые слова: проектирование сетей связи, зона обслуживания базовой станции, LTE, технологические сети связи, радиосвязь, цифровые системы технологической железнодорожной радиосвязи.

Введение

При проектировании цифровых систем технологической железнодорожной радиосвязи могут возникать различные нетиповые ситуации, при которых требуется разработка весьма специфичных подходов. Такой ситуацией является обеспечение уверенной радиосвязи в месте пересечения двух цифровых систем технологической железнодорожной

радиосвязи, работающих в одном частотном диапазоне (1785-1805 МГц) стандарта LTE-1800 TDD [1].

Для решения задачи обеспечения уверенной радиосвязи в этой ситуации был создан комплекс моделей проектирования цифровых сетей в местах пересечения с другими цифровыми системами железнодорожного транспорта стандарта LTE-1800 TDD, включающий в себя несколько моделей проектирования, соответствующих стандарту LTE-1800 TDD по использованию полос частоты шириной 1.4 МГц, 3 МГц, 5 МГц и 10 МГц. Благодаря этим моделям проектирование радиосетей на железнодорожном транспорте значительно упрощается.

Алгоритм выбора модели

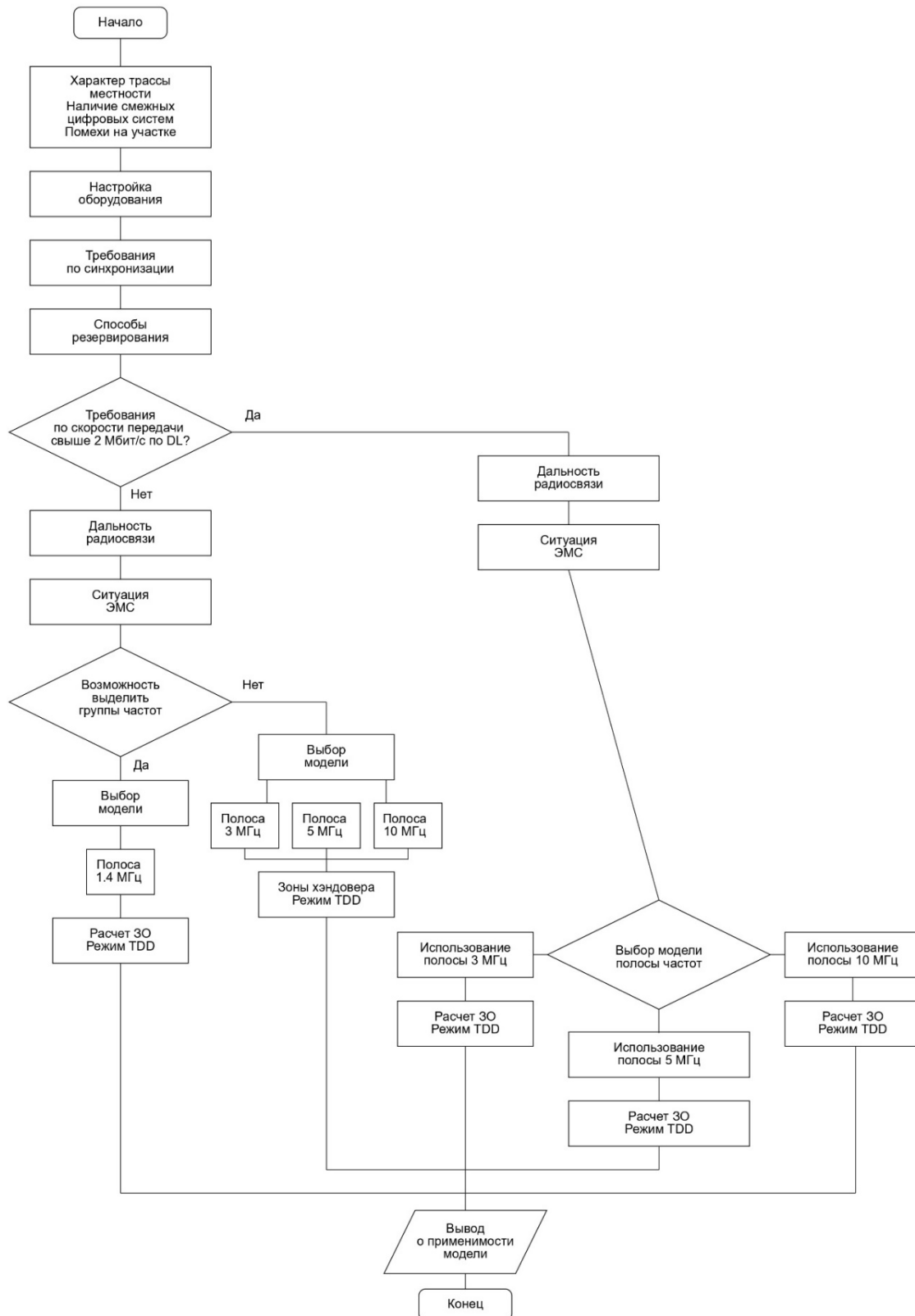


Рис. 1. Алгоритм выбора модели проектирования

Каждая модель состоит из множества алгоритмов, операций и функций. Среди них: расчет дальности радиосвязи, расчет зоны покрытия, расчет зоны Handover и др. Более подробно про состав моделей написано в [2].

Далее будет рассмотрен конкретный случай, в котором необходимо применение вышеупомянутого комплекса моделей.

Анализ зон обслуживания с использованием комплекса моделей

На данный момент предполагается, что место пересечения двух цифровых систем технологической радиосвязи стандарта LTE-1800 TDD будет в городе Москва.

Поскольку ситуация с электромагнитной совместимостью и ограничением частотного спектра в городе довольно тяжелая, то к системам будут применяться следующие исходные технические требования [3]:

- скорость передачи по нисходящей линии (DL) = 2 Мбит/с;
- скорость передачи по восходящей линии (UL) = 2 Мбит/с;
- конфигурация распределения субкадра TDD - №1 (D:U:S=4:4:2);
- загрузка сети – 100%;
- мощность на входе приемника (P) = -120 дБм;
- отношение сигнал/шум на входе приемника (C/I) = -20 дБ;
- коэффициент шума приемника БС = 5 дБ, АС = 7 дБ.

Далее необходимо провести исследования о применимости той или иной модели проектирования, входящей в комплекс моделей проектирования цифровых сетей, в местах пересечения с другими цифровыми системами железнодорожного транспорта стандарта LTE-1800 TDD.

Для этого необходимо рассмотреть каждую из моделей в конкретной ситуации.

Первоначально рассмотрим модель с использованием полосы шириной 10 МГц. Для данной модели характерна работа во всем имеющемся диапазоне (1790-1800 МГц). Напомним, что согласно Решению ГКРЧ №18-46-

02 от 11.09.2018 г. [1]? 5 МГц на каждом из «концов» диапазона 1785-1805 МГц являются «защитными интервалами».

Зона обслуживания для конкретной ситуации представлена на рис. 2.

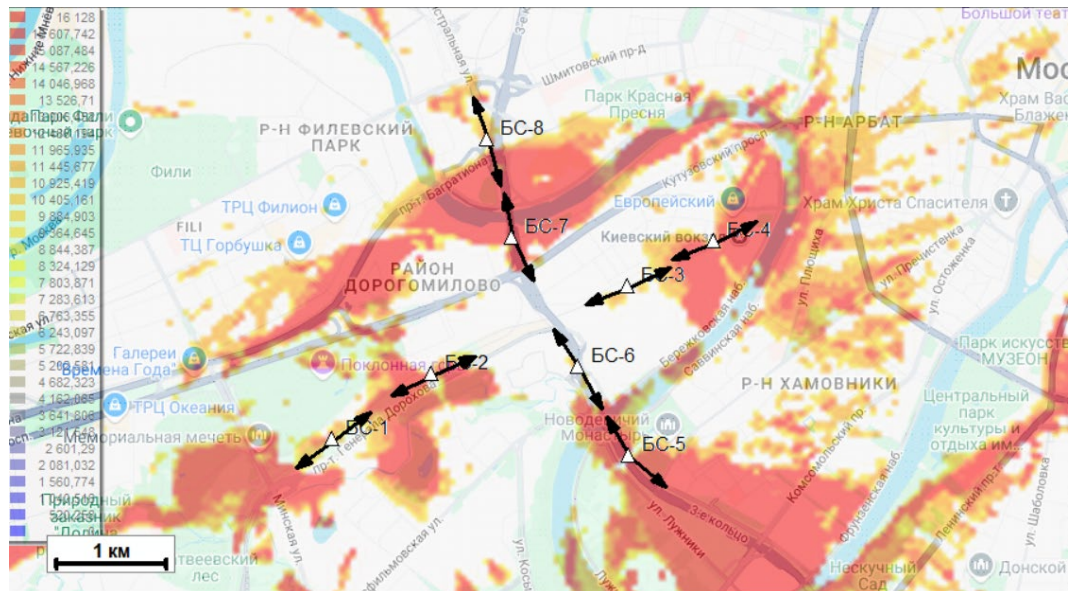


Рис. 2. Зона обслуживания для модели проектирования с использованием ширины полосы 10 МГц

Как видно из рис. 2, при применении модели с использованием ширины полосы 10 МГц в месте пересечения двух систем радиосвязь будет почти полностью отсутствовать из-за влияния помех от других базовых станций (БС) и внешних факторов.

В связи с этим данная модель не применима для этой ситуации, и необходимо рассмотреть другие модели из комплекса моделей проектирования.

Рассмотрим модель проектирования с использованием ширины полосы частоты 5 МГц. При использовании данной модели ситуация ЭМС несколько улучшается, поскольку возможно использовать уже 2 номинала частоты (1790-1795 МГц и 1795-1800 МГц соответственно).

Промоделируем работу модели для исходной ситуации (рис. 3).

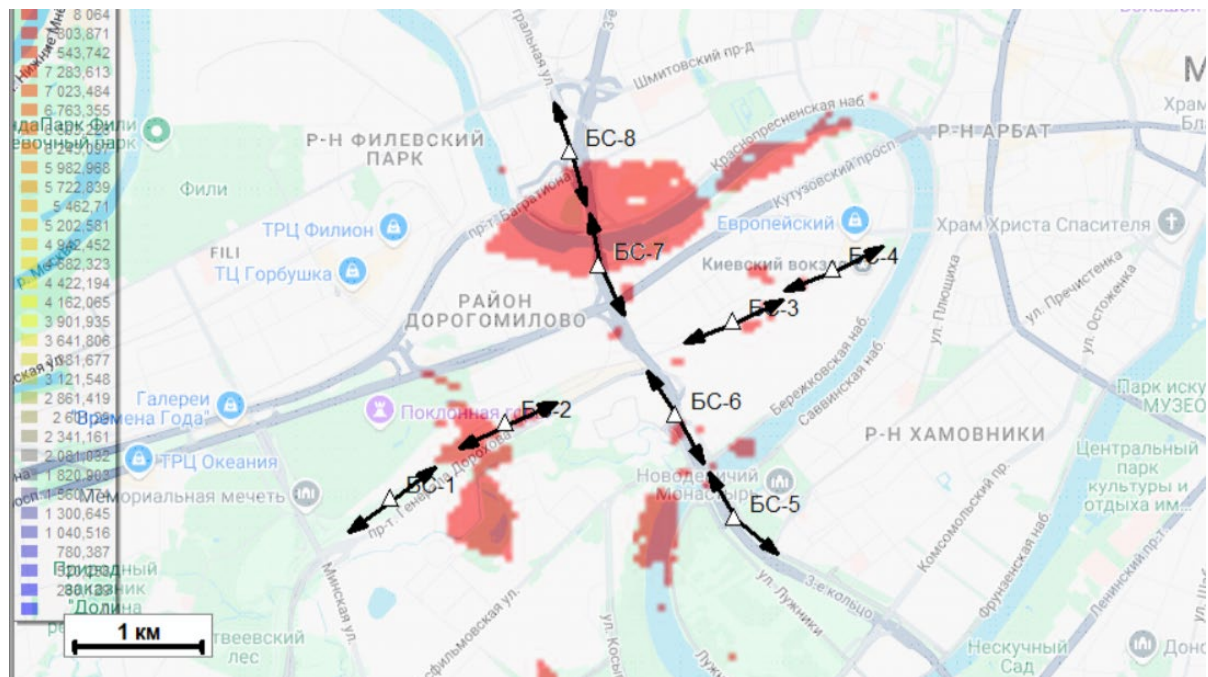


Рис. 3. Зона обслуживания для модели проектирования с использованием ширины полосы 5 МГц

По результатам моделирования видно, что на некоторых участках места пересечения двух систем есть небольшие зоны, в которых возможна радиосвязь, но результат остается удручающим. Поэтому можно говорить о том, что данная модель также не применима для данной ситуации, и необходимо рассмотреть работу следующих моделей проектирования, входящих в комплекс моделей проектирования.

Далее необходимо рассмотреть работу модели с использованием ширины полосы частоты 3 МГц. В этой модели наша полоса уже разбивается на 3 номинала частот: 1790-1793 МГц, 1793-1796 МГц, 1796-1799 МГц.

На рис. 4 представлены результаты применения модели проектирования с использованием ширины полосы 3 МГц.

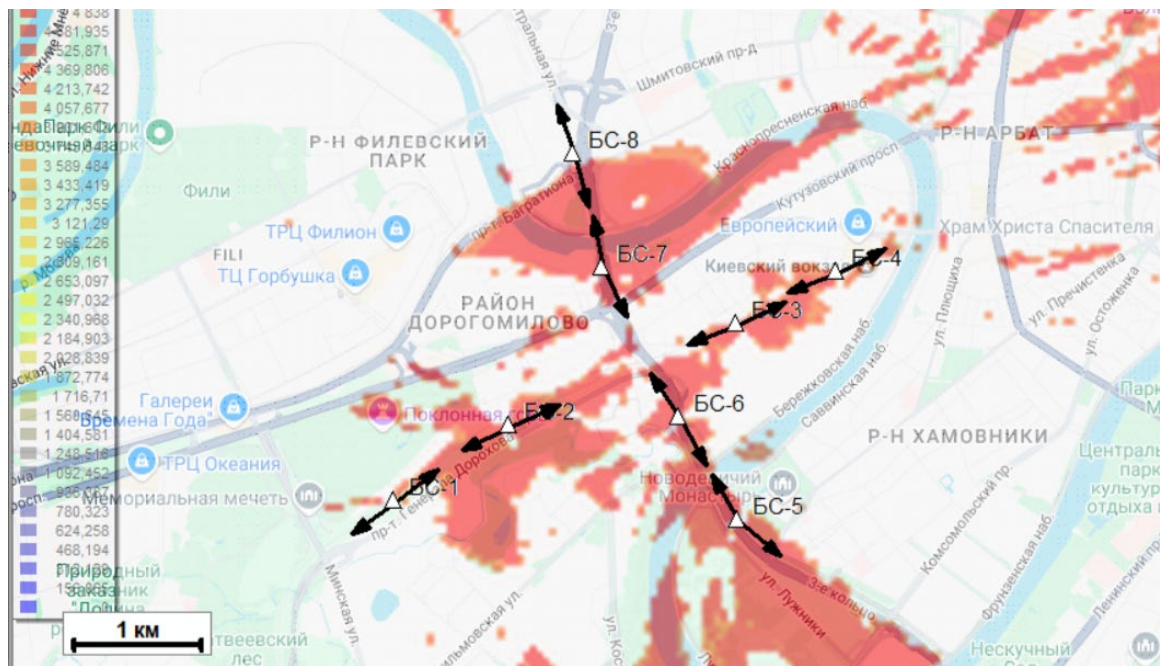


Рис. 4. Зона обслуживания для модели проектирования с использованием ширины полосы 3 МГц

Как мы видим, ситуация с покрытием улучшилась, но все ещё радиосвязь недоступна на всем участке пересечения. Также на рис. 4 хорошо видно влияние «мешающей» частоты из группы частот 1790-1793 МГц, 1793-1796 МГц, 1796-1799 МГц, присвоенной для БС-7.

В связи с этим необходимо рассмотреть работу модели проектирования с использованием ширины полосы частоты 1.4 МГц. Для данной модели характерно распределение частот на 7 групп: 1790-1791.4, 1791.4-1792.8, 1792.8-1794.2, 1794.2-1795.6, 1795.6-1797, 1797-1798.4, 1798.4-1799.8 МГц.

Рассмотрим работу системы с использованием данной модели (рис. 5).

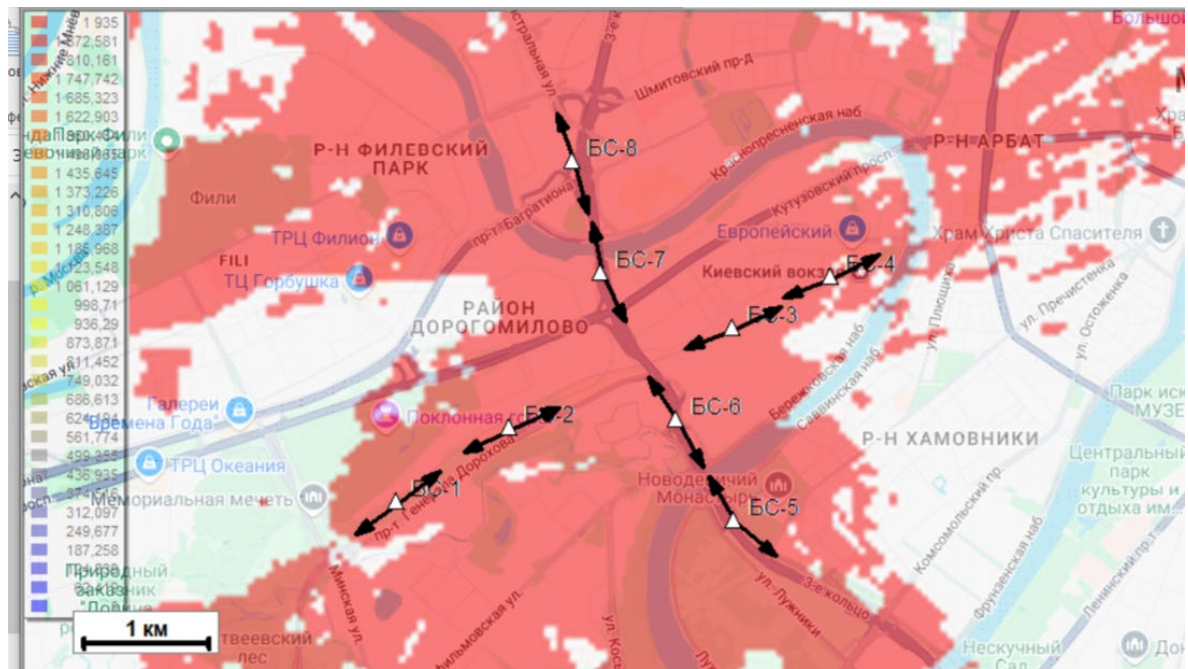


Рис. 5. Зона обслуживания для модели проектирования с использованием ширины полосы 1.4 МГц

В данном случае на всем участке пересечения двух систем обеспечивается радиосвязь, причем с заявленной скоростью (2 Мбит/с).

В связи с этим можно сделать вывод о том, что для заявленных исходных технических данных и конкретного местоположения места пересечения цифровых систем технологической железнодорожной радиосвязи стандарта LTE-1800 TDD применима модель с использованием ширины полосы 1.4 МГц, входящая в комплекс моделей проектирования цифровых сетей, в местах пересечения с другими цифровыми системами железнодорожного транспорта стандарта LTE-1800 TDD.

Модели для синхронного режима

При работе системы в стандарте LTE-1800 TDD также возможно применение синхронного режима работы сети.

Синхронный режим предполагает, что ближайшие БС начинают передавать абоненту один и тот же контент. Тогда можно считать, что БС,

передающие один и тот же контент, не создают на входе абонентской станции (АС) помех.

Для реализации такого режима необходимо использовать конфигурацию субкадра TDD №1.

Для нашего случая (места пересечения двух систем) необходимо взять 8 станций. Из них мы можем засинхронизировать только две БС на одной линии в зоне пересечения. Тогда две другие ближайшие БС с другой линии создадут АС, движущейся по первой линии, сильные помехи. Чтобы избежать данной ситуации, необходимо синхронизировать все четыре БС, входящие во «внутренний круг» места пересечения, и прежде всего те сектора БС, которые направлены в точку пересечения. Тогда все остальные (не засинхронизированные сектора) будут источниками помех.

Важно отметить, что синхронный режим довольно затратный с точки зрения использования частотного ресурса, и поэтому он применим только для полос шириной 5 или 10 МГц. Именно поэтому синхронный режим не применим для полос шириной 1.4 и 3 МГц.

Рассмотрим возможность применения синхронного режима для нашего места пересечения систем.

Как уже было отмечено, из-за больших ресурсных затрат синхронного режима его применение возможно лишь к моделям с шириной полосы 10 МГц и 5 МГц.

Смоделируем работу системы в месте пересечения с использованием модели с шириной полосы пропускания 10 МГц (рис. 6).

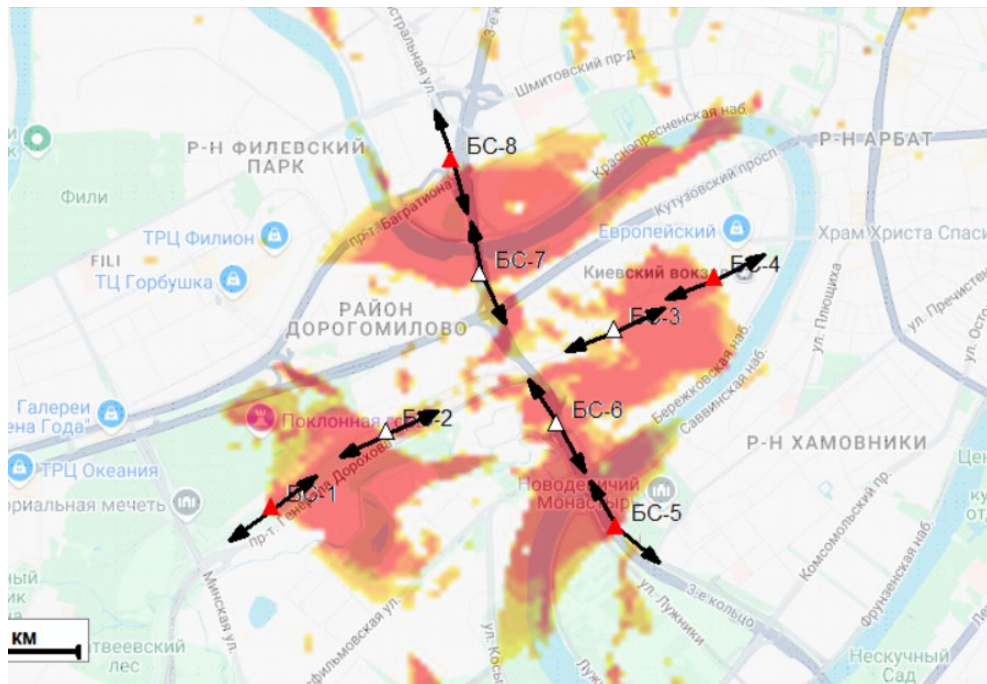


Рис. 6. Зона обслуживания для модели проектирования с использованием ширины полосы 10 МГц в синхронном режиме работы

Как видно из рис. 6, применение синхронного режима улучшает зону покрытия радиосвязи по сравнению с ситуацией, когда применялась модель проектирования с использованием ширины полосы 10 МГц без синхронного режима.

При этом по-прежнему не вся территория места пересечения обеспечивается стабильной радиосвязью. Соответственно, для нашего конкретного случая применение модели проектирования с использованием синхронного режима при ширине полосы 10 МГц не целесообразно.

Остается рассмотреть работу сети с использованием модели проектирования для ширины полосы 5 МГц в синхронном режиме.

Выполним моделирование работы системы (рис. 7).

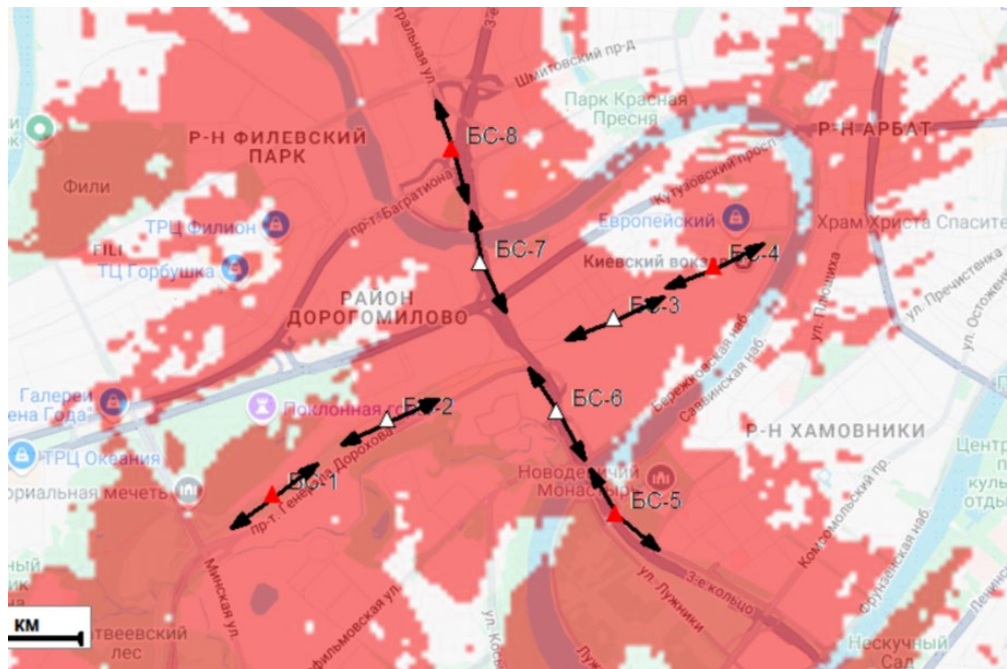


Рис. 7. Зона обслуживания для модели проектирования с использованием ширины полосы 5 МГц в синхронном режиме работы сети

В данном случае все место пересечения соответствует необходимым техническим требованиям и обеспечивает зону покрытия радиосвязи. Поэтому для нашего случая такая модель вполне применима.

Заключение

Таким образом, в статье рассмотрено применение комплекса моделей проектирования цифровых сетей в местах пересечения с другими цифровыми системами железнодорожного транспорта стандарта LTE-1800 TDD для конкретного случая и места проектирования.

По результатам компьютерного моделирования определено, что для рассматриваемой ситуации с обеспечением радиосвязи на участке пересечения двух цифровых систем стандарта LTE-1800 TDD применима модель проектирования с использованием полосы шириной 1.4 МГц, входящая в комплекс моделей проектирования цифровых сетей в местах пересечения с другими цифровыми системами железнодорожного транспорта стандарта LTE-1800 TDD, поскольку она обеспечивает требуемые скорости

передачи, полностью охватывает зоной покрытия все место пересечения и удовлетворяет прочим исходным техническим требованиям.

Также при рассмотрении синхронного режима работы сети было выявлено, что данный режим применим к моделям с использованием полосы шириной 10 МГц и шириной 5 МГц. Но конкретно в нашем случае для обеспечения радиосвязи на всем участке места пересечения может применяться только модель проектирования с применением синхронного режима для ширины полосы 5 МГц.

Список литературы

1. О выделении полосы радиочастот 1785-1805 МГц для радиоэлектронных средств сухопутной подвижной службы для создания технологических сетей связи на железнодорожном транспорте: решение ГКРЧ №18-46-02 от 11.09.2018 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/551218941> (дата обращения 30.07.2025).
2. Лобеев, Д.П. Пример модели планирования цифровой сети технологической радиосвязи в стандарте LTE-1800 TDD / Д.П. Лобеев // XXXI Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» (RLNC*2025), посвященная 130-летию изобретения радио. – 2025. – Т. 2. – С. 285-289.
3. Тараненко, А.Ю. Оптимизация использования частотного спектра / А.Ю. Тараненко, А.А. Гриценко, Д.П. Лобеев // Автоматика. Связь. Информатика. – 2025. – № 1. – С. 9-12.
4. Лобеев, Д.П. Методика использования частотного ресурса при проектировании железнодорожной радиосвязи стандарта LTE-1800 TDD / Д.П. Лобеев // Первая миля. – 2025. – № 4. – С. 58-69.

Application of a set of digital network design models at points of intersection with other digital railway transport systems of the LTE-1800 TDD standard

Lobeev Dmitry Petrovich,

*Postgraduate student of the Department of Electrical Communications,
Emperor Alexander I Petersburg State University of Railway Engineering
190031, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 9
lobeev1@mail.ru*

Gritsenko Andrey Arkadyevich,

*Candidate of Technical Sciences, General Director
Severnaya Korona Space Information Center,
199034, St. Petersburg, 17th line V.O., 4-6
org@spacecenter.ru*

Bilyatdinov Kamil Zakirovich,

*Doctor of Technical Sciences, Candidate of Military Sciences,
Acting Head of Department, Professor of the Department of Computer
Science and Information Security,
Emperor Alexander I Petersburg State University of Railway Engineering
190031, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 9
inib@pgups.ru*

The article is devoted to solving the critical problem of designing digital LTE-1800 TDD (1785-1805 MHz) standard railway radio communication systems in their intersection zones, where mutual interference makes ensuring stable communication a non-trivial task. A set of specialized design models adapted for such complex scenarios is proposed and validated. The models, according to the LTE standard, are differentiated by the width of the bandwidth used: 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz.

The intersection of the systems in Moscow, characterized by high frequency spectrum utilization and strict electromagnetic compatibility (EMC) requirements, was chosen as a test site. The simulation was carried out for the specified strict technical requirements.

As a result of the simulation, it was revealed that models with a bandwidth of 10 MHz and 5 MHz (operating in the main part of the range limited by protective intervals) showed a catastrophic level of interference from neighboring base stations, making communication in the intersection zone almost impossible.

At the same time, the use of a design model using a 3 MHz bandwidth with 3 frequency ratings improved the EMC situation, but did not provide continuous coverage due to the continuing influence of the "interfering" frequency.

The optimal solution for asynchronous mode is a design model using a bandwidth of 1.4 MHz (divided into 7 frequency groups), which showed full efficiency: it provided continuous coverage of the intersection zone of the two

systems and the required transmission speeds of 2 Mbit/s. This is due to the maximum frequency selectivity and minimization of mutual interference.

The possibility of using a synchronous mode to suppress interference between base stations has also been investigated. Its resource intensity is shown (applicable only for the 5 and 10 MHz bands); limited efficiency for the 10 MHz band; an alternative for 5 MHz: the synchronous model provided the required coverage and parameters in the intersection zone, but requires a large resource for synchronization.

The work confirms the practical significance of the proposed set of design models. It provides a clear methodology for choosing the optimal configuration (bandwidth, operating mode) based on detailed modeling that takes into account location specifics and technical requirements.

Keywords: design of communication networks, base station service area, LTE, technological communication networks, radio communications, digital systems of technological railway radio communication.