

Научная статья

УДК 656.254.1

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2025-11-3-37-46>

EDN:IZBJBW



Расчет затухания сигнала в системах видеонаблюдения на железнодорожных переездах, в соответствии с модернизированной моделью COST-231 Hata

- ✉ Елена Владимировна Казакевич¹, kev-pgups@yandex.ru
- ✉ Анна Андреевна Маслова¹, bloodyelis@yandex.ru
- ✉ Артем Игоревич Алексеев¹, alekseevartem-i@yandex.ru
- ✉ Илья Сергеевич Гришанов¹, ilia911119@gmail.com
- ✉ Федор Алексеевич Прошин¹, fedorproshin@gmail.com
- ✉ Сергей Викторович Дворников² ✉, practicdsv@yandex.ru

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, 190031, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Необходимость интеллектуального видеонаблюдения обусловлена нехваткой контроля отсутствия автотранспорта со стороны дежурного по переезду, из-за чего существует риск несвоевременного обнаружения препятствия машинистом. Для построения системы интеллектуального видеонаблюдения на неохранных переездах предлагается использовать систему стандарта 4G в выделенном для ОАО «РЖД» диапазоне частот от 1785 до 1805 МГц.

Цель: создание модели, позволяющей исследовать и моделировать зависимость затухания от дальности связи для систем интеллектуального видеонаблюдения на неохранных железнодорожных переездах.

Методы: использование математической модели COST-231 Hata, основанной на эмпирических соотношениях, учитывающих тип местности, частоту радиосигнала, абсолютные размеры объектов, перекрывающих трассу, расстояние между ними, а также высоты мачт базовых станций и антенн мобильных абонентов.

Результаты: полученное уточненное выражение модели для рассматриваемых условий определяет зависимость затухания на трассе радиоканала от расстояния между базовой станцией и пользовательским оборудованием платформ видеонаблюдения на основе сетей 4G для неохранных переездов, находящихся на перегоне вне городской застройки. В модели учитываются время реакции машиниста и длина тормозного пути для подвижного состава различных типов.

Практическая значимость: результаты работы могут использоваться в проектировании систем видеонаблюдения на железнодорожном транспорте на неохранных переездах с учетом скорости движения поездов на рассматриваемом участке.

Ключевые слова: модель COST-231 Hata, затухание сигнала, платформа видеонаблюдения, неохранный железнодорожный переезд, тормозной путь подвижного состава

Ссылка для цитирования: Казакевич Е.В., Маслова А.А., Алексеев А.И., Гришанов И.С., Прошин Ф.А., Дворников С.В. Расчет затухания сигнала в системах видеонаблюдения на железнодорожных переездах, в соответствии с модернизированной моделью COST-231 Hata // Труды учебных заведений связи. 2025. Т. 11. № 3. С. 37–46. DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-3-37-46. EDN:IZBJBW

Original research

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2025-11-3-37-46>

EDN:IZBJBW

Calculation of Signal Attenuation in Video Surveillance Systems at Railway Crossings, in Accordance with the Modernized COST-231 Hata Model

• Elena V. Kazakevich¹, kev-pgups@yandex.ru
• Anna A. Maslova¹, bloodyelis@yandex.ru
• Artem I. Alekseev¹, alekseevartem-i@yandex.ru
• Ilya S. Grishanov¹, ilia911119@gmail.com
• Fedor A. Proshin¹, fedorproshin@gmail.com
• Sergey V. Dvornikov² ✉, practicdsv@yandex.ru

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, 190031, Russian Federation

²Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
St. Petersburg, 190000, Russian Federation

Annotation

Relevance. The need for intelligent video surveillance is due to the lack of control over the situation at unguarded crossings. For this purpose, it is proposed to use a 4G standard system in the frequency range from 1785 to 1805 MHz allocated to Russian Railways.

Objective: to create a model that allows us to study and simulate the dependence of attenuation on the communication range for intelligent video surveillance systems at unguarded railway crossings.

Methods: using the COST-231 Hata mathematical model based on empirical relationships that take into account the type of terrain, the frequency of the radio signal, the size of objects blocking the route, the distance between them, as well as the heights of base station masts and mobile subscriber antennas.

Results: the obtained refined expression of the model for the conditions under consideration determines the dependence of attenuation on the radio channel route on the distance between the base station and the user equipment of video surveillance platforms based on 4G networks for unguarded crossings located on a section outside urban development. The model takes into account the driver's reaction time and the length of the braking distance for rolling stock of various types.

Practical significance: the results of the work can be used in the design of video surveillance systems on railway transport at unguarded crossings, taking into account the speed of trains on the section under consideration.

Keywords: model COST-231 Hata, signal attenuation, CCTV platform, unguarded railway crossing, braking distance of rolling stock

For citation: Kazakevich E.V., Maslova A.A., Alekseev A.I., Grishanov I.S., Proshin F.A., Dvornikov S.V. Calculation of Signal Attenuation in Video Surveillance Systems at Railway Crossings, in Accordance with the Modernized COST-231 Hata Model. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2025;11(3):37–46. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-3-37-46. EDN:IZBJBW

Введение

В настоящее время системы видеонаблюдения внедряются и эксплуатируются в различных областях железнодорожного транспорта: в системах

обеспечения транспортной безопасности, охраны, для проведения аттестации в центрах повышения квалификации, а также для видеорегистрации проведения работ сотрудников в целях проверки на со-

блюдение правил охраны труда и при аварийно-восстановительных работах. Одним из наиболее приоритетных направлений применения систем видеонаблюдения является мониторинг и контроль железнодорожных переездов, составляющий основу систем обеспечения безопасности на участках с интенсивным движением поездов и автотранспорта. Особенностью данной области применения, с точки зрения беспроводных систем связи, является повышенная нагрузка на канал, которая обусловлена большим объемом передаваемого трафика. Так как во многих системах видеонаблюдения доступ к общему каналу связи осуществляется посредством радиоканала, то при выборе устройств видеофиксации, необходимых для обеспечения требуемого качества видеозаписи и последующего интеллектуального анализа поступающих данных, возникает следующее противоречие.

С одной стороны, необходим выбор устройств с высоким качеством изображения, способных осуществлять автоматический анализ изображения, обеспечивая увеличение вероятности своевременного обнаружения событий, происходящих на переезде, тем самым повышая оперативность принятия решения ответственными сотрудниками. А с другой стороны, применение таких устройств приводит к существенному увеличению объема передаваемого трафика по радиоканалу, что, в свою очередь, снижает вероятность своевременной доставки данных, т. е. в конечном итоге снижает результирующую эффективность применения систем контроля и мониторинга.

В целях устранения данного противоречия при организации технологических сетей связи ОАО «РЖД» предлагается использовать технологию стандарта LTE в выделенном диапазоне от 1785 до 1805 МГц. Переход к указанным технологиям позволит при минимальной скорости загрузки 25 Мбит/с обеспечить передачу видеоконтента разрешением 4К. Такой подход открывает возможность развертывания систем видеонаблюдения на всех переездах без выделения дополнительных каналов. При этом данные от устройств видеофиксации и от приемопередающего оборудования на локомотиве подвижного состава будут рассматриваться как данные, сформированные пользовательским оборудованием (UE, аббр. от англ. User Equipment) в радиусе действия базовой станции eNB (аббр. от англ. evolved Node B).

Кроме того, производительность систем видеофиксации может быть повышена, если обеспечить переход построения сети к пикосотовой и фемтосотовой структуры, а также – за счет использования репитеров в качестве единой системы беспроводной связи. Вместе с тем проведенный анализ показал, что в настоящее время отсутствуют

относительно простые модели, позволяющие исследовать и моделировать зависимость затухания от дальности связи для систем видеотрансляции на железнодорожных переездах, а также прогнозировать влияние этих факторов на оперативность доставки данных. Таким образом, задача разработки моделей затухания сигналов в радиолиниях стандарта 4G, позволяющих оперативно прогнозировать требуемые скорости передачи данных в сетях беспроводной связи с учетом объема поставляемого трафика в системах видеонаблюдения, используемых на железнодорожных переездах, является актуальной.

Общий подход к организации видеонаблюдения на железнодорожных переездах

Как правило, железнодорожные переезды бывают двух основных типов: охраняемые и неохранные. На неохранных переездах необходимость интеллектуального видеонаблюдения обусловлена отсутствием контроля со стороны дежурного по переезду наличия или отсутствия препятствий на пути следования подвижного состава [1]. В свою очередь, это приводит к несвоевременному обнаружению транспортных средств со стороны машиниста (когда расстояние до переезда будет меньше необходимой длины тормозного пути). Для реализации системы интеллектуального видеонаблюдения требуется устройство видеофиксации, связанное с сетью передачи данных общетехнологического назначения (СПД ОТН). Локомотив оснащен приемопередатчиком стандарта 4G [2], устанавливающим канал передачи с ближайшей базовой станцией, и дисплеем для трансляции видеоизображения. В случае фиксации на переезде объекта, находящегося дольше установленного времени, система видеонаблюдения начинает трансляцию на дисплей в кабине машиниста [3]. При этом необходимо обеспечить доставку видеосигнала машинисту на расстоянии не менее 2 км на участках обращения скоростных и высокоскоростных пассажирских поездов со скоростью от 140 до 250 км/ч, а с учетом скорости до 400 км/ч на перегонах строящейся высокоскоростной магистрали, – не менее 8 км от железнодорожного переезда [4]. Данное требование обусловлено длиной тормозного пути подвижного состава, которая зависит от средней скорости в расчетном интервале, удельной тормозной силы и сопротивления движению [5]. Иллюстрация к рассматриваемому подходу представлена на рисунке 1.

Высота антенны приемопередатчика стандарта 4G, расположенного на подвижном составе, равна 5 м (данное значение выбрано, исходя из средней высоты локомотива, которое составляет для: поездов «Сапсан» – 4,400 м, «Ласточка» – 4,850 м, 2ТЭ116 – 5,104 м).

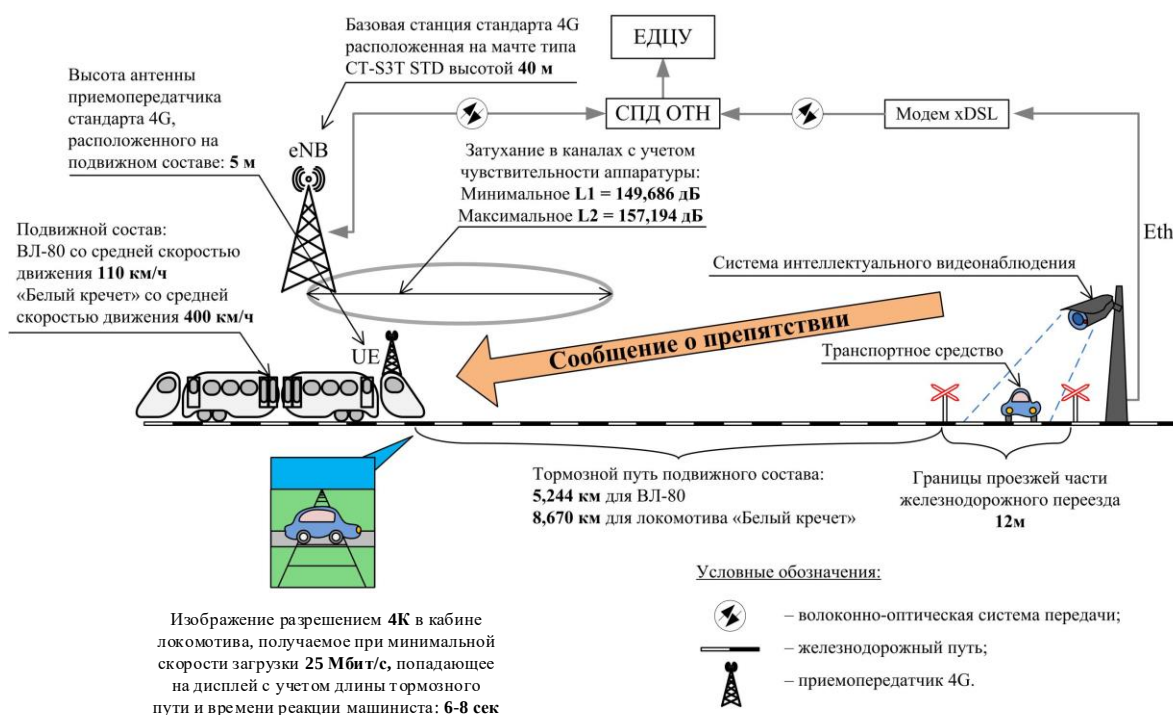


Рис. 1. Общий подход к организации видеонаблюдения на железнодорожном переезде с использованием предлагаемых технологий

Fig. 1. General Approach to Organizing Video Surveillance at a Railway Crossing Using the Proposed Technologies

Высота антенны приемопередатчика стандарта 4G, расположенного на подвижном составе, равна 5 м (данное значение выбрано, исходя из средней высоты локомотива, которое составляет для: поездов «Сапсан» – 4,400 м, «Ласточка» – 4,850 м, 2ТЭ116 – 5,104 м).

Последовательность технических операций, реализуемых в соответствии с моделью, представлена на рисунке 2, который представляет собой временную диаграмму. Она позволяет оценить масштаб временных затрат [6], характеризующих работу

платформы систем видеонаблюдения на переездах на основе сетей стандарта 4G, при обнаружении посторонних объектов на неохраняемом железнодорожном переезде¹.

Следует понимать, что для успешного функционирования разрабатываемой платформы на основе сетей 4G, уровни сигнала должны соответствовать нормам, определяемым Приказами Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации^{2,3}. Параметры приемника и базовых станций представлена в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Параметры приемника и базовых станций согласно Приказам № 128 и № 572

TABLE 1. Requirements for the Parameters of the Receiver and Base Stations According to Orders No. 128 and No. 572

Типы устройств	Технические требования к предельно допустимой максимальной мощности передатчиков для всех диапазонов и частотных каналов стандарта LTE	Значения величины эталонной чувствительности приемника (дБм) для полосы частот 20 МГц
Мобильные терминалы ²	Не более 23 дБм; допустимое отклонение максимальной мощности – не более 2..3 дБ на интервале измерения не менее одного субкадра (1 мс).	Не более –94
Базовые станции ³	Не более 24 дБм для одной передающей антенны базовой станции локального радиуса действия	Не более –101,5

¹ Борискин Д.В. Проектно-изыскательские работы Определение оптимального технического решения для переработки структуры и состава оборудования транспортных сетей передачи данных в рамках комплексного инвестиционного проекта «Внедрение системы управления движением электропоездов ЭС2Г «Ласточка» на Московском центральном кольце в автоматическом режиме» с учетом санкционных ограничений.

² Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 6 июня 2011 года № 128 «Об утверждении правил применения абонентских терминалов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE».

³ Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 29 октября 2018 года № 572 «Об утверждении Правил применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи. Часть VI. Правила применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE и его модификации LTE-Advanced».

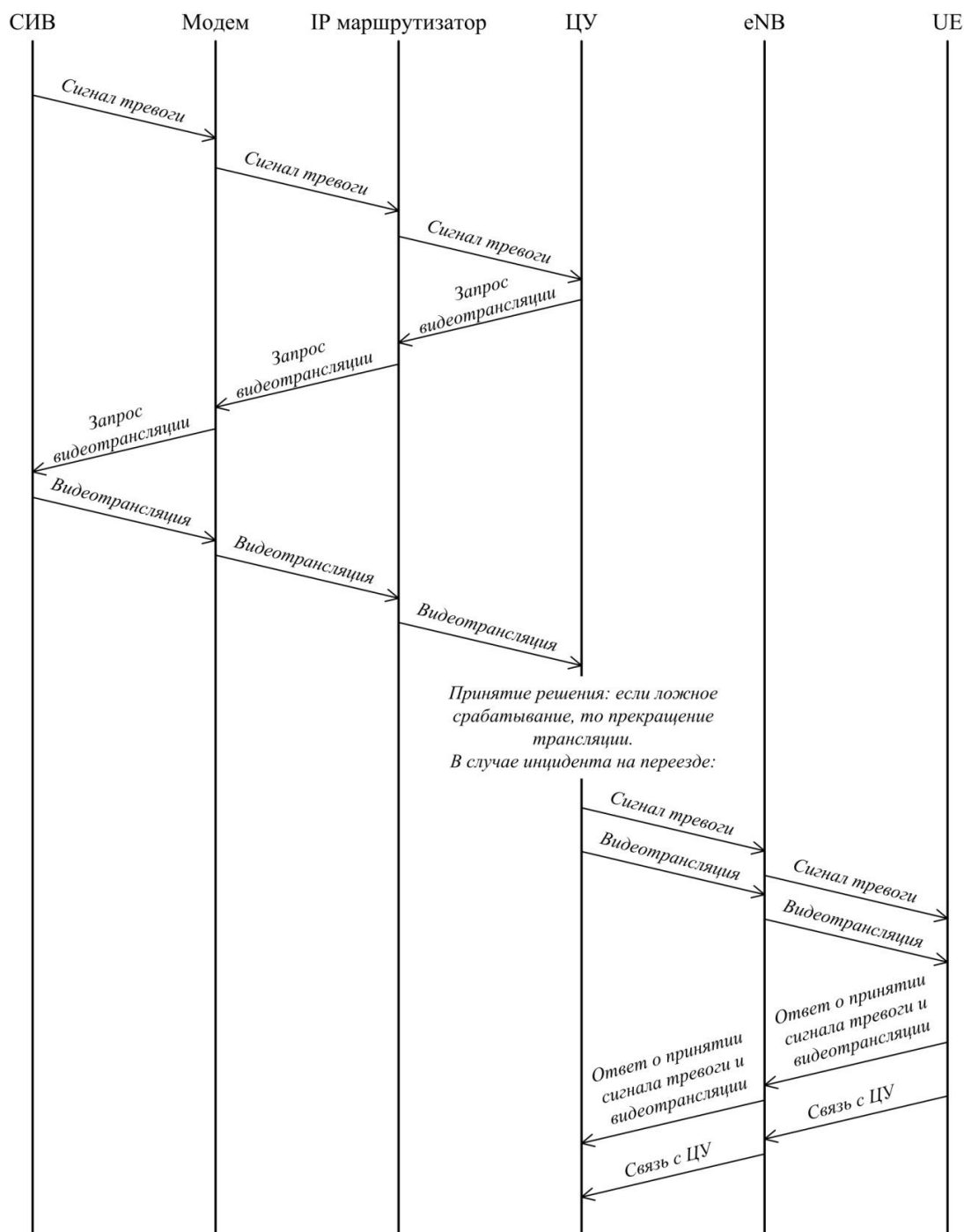


Рис. 2. Последовательность технических операций, реализуемых в соответствии с моделью

Fig. 2. Sequence of Technical Operations Implemented in Accordance with the Model

Модель COST-231 Hata и начальные условия для рассматриваемого случая

В настоящее время для расчета затуханий на трассах радиоканалов сетей LTE наиболее широкое применение получила модель COST-231 Hata, расширяющая функционал более ранних моделей для высокочастотных диапазонов (от 1,5 до 2 ГГц), что позволяет ее практическое применение сообразно к рассматриваемой проблематике [7, 8].

В основе модели COST-231 Hata используются эмпирические соотношения, рассчитанные для множества трасс радиоканалов, находящихся в условиях различной степени урбанизации местности [9]. Данная модель учитывает следующие параметры: тип местности, частота радиосигнала, абсолютные размеры объектов, перекрывающих трассу, расстояние между ними, а также высоты мачт базовых станций и антенн мобильных абонентов.

В общем виде уравнение затухания в рамках модели COST-231 Neta определяется выражением:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \lg f - 13,82 \lg h_B - a(h_R, f) + (44,9 - 6,55 \lg h_B) \lg d + C_m, \quad (1)$$

где L_b – среднее затухание радиосигнала на трассе, дБ; f – частота сигнала, МГц; h_B – высота базовой станции, м; h_R – высота мобильной станции, м; d – расстояние между станциями, км; $a(h_R, f)$ – коэффициент коррекции высоты антенны мобильной станции, дБ, который определяется отдельно для город-

ской и пригородной местности; C_m – постоянное смещение, дБ, также зависящее от типа местности.

Расчет значения коэффициента $a(h_R, f)$ для пригородной местности производится согласно выражению:

$$a(h_R, f) = (1,1 \lg f - 0,7)h_R - (1,56 \lg f - 0,8). \quad (2)$$

В свою очередь [10], для городской местности с высоким уровнем урбанизации, коэффициент $a(h_R, f)$ находится, исходя из условий (3). Величина смещения C_m выбирается, исходя из условия (4).

$$a(h_R, f) = \begin{cases} 8,29(\lg 1,54h_R)^2 - 1,1, & \text{если } 150 \text{ МГц} \leq f \leq 200 \text{ МГц;} \\ 3,2(\lg 11,75h_R)^2 - 4,97, & \text{если } 200 \text{ МГц} < f \leq 2000 \text{ МГц.} \end{cases} \quad (3)$$

$$C_m = \begin{cases} 0 \text{ дБ} & \text{для средних городов и пригородов;} \\ 3 \text{ дБ} & \text{для крупных городов.} \end{cases} \quad (4)$$

Для рассматриваемых условий функционирования платформы видеонаблюдения на основе сетей 4G, устанавливаемых на железнодорожных переездах, параметры в выражениях (1–3) будут определяться следующими значениями:

– $f = 1800$ МГц (диапазон частот, выделенный для сетей 4G на железнодорожном транспорте, в соответствии с Решением ГКРЧ № 18-46-02⁴);

– $h_B = 40$ м (высота мачты базовой станции тип СТ-S3T STD, определен спецификацией⁵);

– $h_R = 4,78$ м (среднее значение высоты размещения антенны на локомотивах типа «Сапсан», «Ласточка», 2ТЭ116);

– значение коэффициента $a(h_R, f)$ определяется согласно выражению (2), т. к. в исследовании полагалось рассмотрение неохранных переездов на перегоне вне городской застройки;

– $C_m = 0$ дБ (соответствует значению местности с низкой степенью урбанизации).

Анализ уравнения указывает на его структурную сложность, которая может быть упрощена с учетом исходных данных, используемых для исследования [11, 12].

Уточненная модель COST-231 Neta для условий проводимого исследования

Учитывая ограниченность частотного диапазона, в исследовании открывается возможность для слагаемых выражения (1), имеющих в своем составе характеристики номиналов частоты, получить расчетные величины, которые будут выступать в качестве постоянных значений.

Коэффициент, учитывающий величину частоты, соответствует следующему значению:

$$33,9 \lg f = 33,9 \lg 1800 = 110,354.$$

Т. к. высота базовой станции является постоянной, то содержащие ее слагаемые выражения (1) могут быть также предварительно рассчитаны:

$$13,82 \lg h_B = 13,82 \lg 40 = 22,237;$$

$$44,9 - 6,55 \lg h_B = 44,9 - 6,55 \lg 40 = 34,407.$$

Значение коэффициента $a(h_R, f)$ также будет постоянной величиной для последующих расчетов, поскольку оно определяется высотой антенны абонентских терминалов и значением частоты:

$$\begin{aligned} a(h_R, f) &= (1,1 \lg f - 0,7)h_R - (1,56 \lg f - 0,8) = \\ &= (1,1 \lg 1800 - 0,7) \cdot 4,78 - \\ &- (1,56 \lg 1800 - 0,8) = 9,492. \end{aligned}$$

Для рассматриваемых условий величина C будет равна 0.

Далее, подставляя расчетные коэффициенты, определяемые условиями применения платформы видеонаблюдения на основе сетей 4G, модель COST-231 Neta может быть упрощена следующим образом:

$$L_b = 124,925 + 34,407 \lg d. \quad (5)$$

Представленное уточненное выражение модели (5) для рассматриваемых условий определяет зависимость затухания на трассе радиоканала от расстояния между базовой станцией и пользовательским оборудованием платформ видеонаблюдений

⁴ Решение Государственной комиссии по радиочастотам Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 11 сентября 2018 года № 18-46-02 «О выделении полосы радиочастот 1785–1805 МГц для радиоэлектронных средств сухопутной подвижной службы для создания технологических сетей связи на железнодорожном транспорте».

⁵ <https://comtech.ru/produktsiya/machtovyje-konstruktsii/stalnye-machty/seriya-ct-s3t-std/?ysclid=mbbu6bqct167210791>

на основе сетей 4G для неохраняемых переездов, находящихся на перегоне вне городской застройки.

График затухания сигнала для рабочей частоты 1800 МГц, рассчитанный в соответствии с вышеуказанной моделью (5), представлен на рисунке 3.

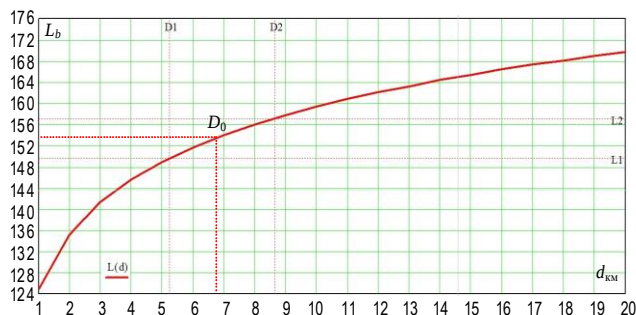


Рис. 3. График затухания сигнала для платформ видеонаблюдений на основе сетей 4G для неохраняемых переездов в условиях с низкой урбанизацией местности

Fig. 3. Signal Attenuation Graph for 4G-Based Video Surveillance Platforms for Unguarded Crossings in Low-Urbanization Areas

Ось абсцисс (см. рисунок 3), характеризующая дальность дистанции связи, представлена в км, а ось ординат, характеризующая уровень затухания на трассе, – в дБ. Величина $D1 = 5,244$ км – дальность, определяемая временем реакции машиниста (6–8 сек) и тормозному пути для локомотивов типа ВЛ-80 со средней скоростью движения 110 км/ч, соответствующая минимальному затуханию, получаемому в каналах с учетом чувствительности аппаратуры $L1 = 149,686$ дБ; $D2 = 8,670$ км – дальность, определяемая временем реакции машиниста (6–8 сек) и тормозному пути для локомотива «Белый кречет» со средней скоростью движения 400 км/ч, соответствующая максимальному затуханию $L2 = 157,194$ дБ.

Функциональное обозначение платформ видеонаблюдений на основе сетей 4G определяется своевременным информированием машинистов подвижных составов о ситуации на неохраняемых переездах для принятия ими соответствующих мер в случае возникновения внештатных ситуаций. При этом следует понимать, что скорость движения современного подвижного состава достигает 400 км/ч.

При расчетах тормозного пути учитывалась тяговая характеристика локомотива, тип тормозных колодок, виды систем торможения и другие параметры, определяемые в [13]. Известные математические модели тормозного пути рассчитываются персонально для каждого вида подвижного состава. Поэтому в рамках проведенного исследования представлено обобщенное значение.

Кроме того, необходимо учитывать, что длина тормозного пути представляет результат суммиро-

вания двух составляющих: подготовительного тормозного пути и действительного. Первый характеризует собой расстояние, которое проходит подвижной состав за время от нажатия крана машинистом, до запуска тормозной системы, а второй – путь, проходимый подвижным составом от начала действия тормозов до полной остановки. Общий тормозной путь рассчитывался в соответствии с выражением [14]:

$$S = 0,278 \cdot V_{HT} \cdot \frac{a - d \cdot i}{b_T} + S_d, \quad (6)$$

где V_{HT} – скорость начала торможения, км/ч; a, d – коэффициенты, значения которых для грузовых поездов определяются числом осей, а для пассажирских – наличием электропневматических тормозов; i – значение уклона на тормозном пути, ‰ (при спуске значение берется со знаком «минус»); S_d – действительный тормозной путь, пройденный поездом за время действия тормозов и определяемый путем решения основных уравнений движения поезда графическим методом, в соответствии с методикой, представленной в [15].

При расчете тормозного пути подвижного состава учитывалась его скорость, расстояние, которое он проходит за время реакции машиниста, и фактическое расстояние подготовительного и действительного тормозного пути. Таким образом, тормозной путь для типового пассажирского состава («Сапсан», «Ласточка») будет составлять порядка 8 км (с учетом реакции машиниста не более 6–8 сек, согласно требованиям⁶). За такое время подвижной состав при скорости 400 км/ч пройдет 666–888 м. С учетом тормозного пути общая дистанция срабатывания системы оповещения будет составлять порядка 8,67–8,89 км.

Вместе с тем в известном обзоре технологии LTE [16] указано, что для диапазона 1800 МГц, как наиболее широко используемого в мире, радиус действия оборудования базовых станций LTE ограничивается значением 6,8 км. То есть для расчетных дальностей 8,67–8,89 км как минимум требуется составная радиолиния. Заметим, что предельная дальность, отмеченная на рисунке 3 как точка $D_0 = 6,8$ км, позволяет оценить уровень допустимых затуханий, равный порядка $L_b = 30$ дБ, что позволяет определить требования к оборудованию по эффективной изотропной излучаемой мощности.

В частности, ориентируясь на результаты [17], можно полагать, что для наихудших условий, при которых обеспечивается устойчивая передача данных в формате OFDM для сигналов BPSK (реализующих наилучшую помехоустойчивость приема) с

⁶ Система ТСКБМ. Руководство по эксплуатации. Книга 1 НКРМ.424313.003 РЭ.

вероятностью битовой ошибки $p_b = 0,001$, допустимое значение отношения сигнал / шум (ОСШ) составляет 17,6 дБ. Следовательно, величина ОСШ на выходе передающего тракта оборудования LTE должна составлять порядка 48 дБ. Тогда, зная предельные дальности и требования по вероятности битовой ошибки, можно построить зависимость p_b как функция дальности (рисунок 4).

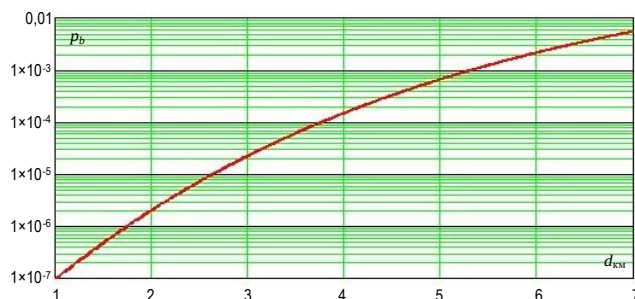


Рис. 4. График зависимости вероятности битовой ошибки в канале от дистанции связи

Fig. 4. Graph of the Dependence of Bit Error Probability in the Channel on the Communication Distance

График (см. рисунок 4) построен для условий, представленных в [17], при использовании сверточного кодера RSC с мягким принятием решения при демодуляции [18].

В ходе исследования, для лучшего раскрытия полученных результатов, было проведено дополнительное моделирование для частот 1000, 1500 и 2000 МГц. При этом высоты размещения антенн полагались равными 30, 100 и 200 м. Дополнительные расчеты были проведены для модели Окумуры – Хаты, в интересах их сравнения с COST-231 Hata. Результаты моделирования показали, что графики потерь для этих моделей внешне совпадают лишь на первый взгляд, особенно на частотах 1000 и 1500 МГц. Однако более детальный анализ показал, что при высоте антенны, равной 200 м, траектория функции потери для модели COST-231 Hata ниже, чем Окумура – Хата. Установлено, что функция потерь для модели COST-231 Hata дает более точные результаты значения коэффициента в условиях городской среды, что коррелирует с результатами, представленными в материалах Всемирного инженерного конгресса, прошедшего в 2014 г. [19]. Согласно опубликованным в научном сборнике исследованиям в условиях прямой видимости, обеспечивающих прямое распространение

радиоволн, модель COST-231 Hata рекомендована для использования в стандарте LTE, с расширением диапазона частот расширяется до 2000 МГц. При том, что на высотах антенн базовых станций менее 50 м, в урбанизированных районах ошибка в расчете затухания по модели COST-231 Hata становится значительной.

Кроме того, следует понимать и основные проблемы модели COST-231 Hata для ее дальнейшего использования при планировании сетей LTE. В частности, в настоящее время активно развивается технология LTE с временным разделением каналов (от англ. Time Division Duplex) – LTE-TDD, разработанная международной коалицией компаний, включая China Mobile, Datang Telecom, Huawei, ZTE, Nokia Solutions and Networks, Qualcomm, Samsung и ST-Ericsson. Технология LTE-TDD отличается не только способом загрузки и выгрузки данных, но и диапазоном частотного спектра, который варьируется от 1850 до 3800 МГц. Но модель COST-231 Hata не адаптирована для расчетов в указанных границах, поэтому необходима разработка новой концепции для расчета затуханий сигнала в более высоких диапазонах частот.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Мощности типового передатчика базовой станции сети стандарта LTE для предлагаемой платформы видеонаблюдения на основе сетей 4G, устанавливаемых на железнодорожных переездах, недостаточна для обеспечения необходимой дальности, определяемой требованиями безопасности. При этом следует отметить, что в представленных расчетах не учитывались значения коэффициента усиления антенн базовой станции и антенн приемника, а также их чувствительности. Следует также понимать, что выбор типовых устройств не позволит получить желаемый результат. Это обусловлено тем, что для высокоскоростных объектов (при скорости подвижного состава порядка 400 км/ч) выбор оборудования должен производиться с учетом его работы в условиях проявления эффекта Доплера, который при таких скоростях будет существенным. Данные аспекты авторы планируют учесть в дальнейшем исследовании.

Список источников

1. ПНСТ 828-2023 Устройства и системы электросвязи для систем управления железнодорожным подвижным составом в автоматическом и дистанционном режимах. Общие технические требования. 2023.
2. Журавлёва Л.М., Журавлёв О.Е., Лошкарёв В.Л., Курьянцев Д.Г. Видеонаблюдение на базе сети мобильной связи // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 9. С. 19–22. EDN:PRSEVE
3. СП 227.1326000.2014 Пересечения железнодорожных линий с линиями транспорта и инженерными сетями. 2014.
4. Журавлёва Л.М., Журавлёв О.Е., Лошкарёв В.Л., Курьянцев Д.Г. Сетевая архитектура систем видеонаблюдения на железнодорожном транспорте // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 8. С. 14–18. EDN:LXSTVR

5. Буйносов А.П., Федоров Е.В. Совершенствование метода расчета длины тормозного пути железнодорожного подвижного состава // Известия Транссиба. 2018. № 1(33). С. 13–22. EDN:QXUXB
6. Прошин Ф.А., Сторожук М.Н., Сторожук Н.Л. Методы синхронизации в сетях связи // Первая миля. 2024. № 2(118). С. 62–69. DOI:10.22184/2070-8963.2024.118.2.62.69. EDN:BQBPFX
7. Дворников С.В., Балыков А.А., Котов А.А. Упрощенная модель расчета потерь сигнала в радиолинии, полученная путем сравнения квадратичной формулы Введенского с существующими эмпирическими моделями // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 2. С. 87–99. DOI:10.24411/2410-9916-2019-10204. EDN:MAFQIB
8. Дворников С.В., Крячко А.Ф., Тимашов П.В. Аппроксимация функций затухания сигналов в эмпирических моделях // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 11. С. 55–63. DOI:10.18127/j20700784-201911-09. EDN:AVHCQD
9. Аюков Б.А., Дворников С.В., Крячко А.Ф., Левин Я.Я. Вероятностная оценка характеристик системы подвижной радиосвязи стандарта DMR // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 12. С. 84–94. DOI:10.18127/j20700784-201912-13. EDN:VOUHIW
10. Чикрин Д.Е. Сети и системы телекоммуникаций: курс лекций. Казань: Казанский университет, 2013. 146 с.
11. Дворников С.В., Литкевич Г.Ю., Романенко П.Г., Царелунго А.Б., Дворовой М.О., Федоренко И.В. и др. Эмпирический подход к расчёту зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2017. № 3. С. 70–75. EDN:ZTCABH
12. Дворников С.В., Власенко В.И., Царелунго А.Б., Балыков А.А., Борисов В.В., Тимашов П.В. Упрощенный подход к расчету затухания сигналов в сетях широкополосного доступа // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2019. № 3. С. 93–100. EDN:KMYLBj
13. Лакин И.И., Семченко В.В. Применение теории массового обслуживания и сетей Петри при анализе параметров системы обслуживания тягового подвижного состава методом математического моделирования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 4(80). С. 65–77. DOI:10.26731/1813-9108.2023.4(80).65-77. EDN:UNTVGS
14. Фролов Н.О., Ветлугина О.В., Пышный И.М. Тяга поездов: конспект лекций. Екатеринбург: УрГУПС, 2020. 50 с.
15. Корбан В.В., Жебанов А.В. Математические модели для автоматизированной подготовки режимных карт ведения поезда // Наука и образование транспорту. 2019. № 1. С. 36–38. EDN:UPGGYY
16. Cox C. An Introduction to LTE. LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications. Wiley, 2014.
17. Sabir Z., Babar M.I., Shah S.W. Performance enhancement of wireless mobile adhoc networks through improved error correction and ICI cancellation // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. 2012. P. 216. DOI:10.1186/1687-6180-2012-216
18. Дворников С.В., Осадчий А.И., Дворников С.С., Родин Д.В. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных распределений // Контроль. Диагностика. 2010. № 10. С. 46–54. EDN:NBEXTJ
19. Ao S.I., Gelman L., Hukins D.W.L., Hunter A., Korsunsky A.M. (Eds.) Proceedings Book of World Congress on Engineering 2014 (WCE 2014, U.K., London, 2–4 July 2014). 2014.

References

1. PNST 828-2023 *Telecommunication devices and systems for railway rolling stock control systems in automatic and remote modes. General technical requirements*. 2023. (in Russ.)
2. Zhuravleva L., Zhuravlev O., Loshkarev V., Kuryantsev J. Video Surveillance on the Basis of a Mobile Communication Network. *Automation, Communications, Informatics*. 2019;9:19–22. (in Russ.) EDN:PRSEVE
3. SP 227.1326000.2014 *Intersections of Railway Lines with Transport Lines and Utility Networks*. 2014. (in Russ.)
4. Zhuravleva L., Zhuravlev O., Loshkarev V., Kuryantsev J. Network Architecture of Video Surveillance Systems in Railway Transport. *Automation, Communications, Informatics*. 2018;8:14–18. (in Russ.) EDN:LXSTVR
5. Buinosov A.P., Fedorov E.V. Improvement of the Method of Calculating the Length of the Braking Path of Railway Rolling Stock. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2018;1(33):13–22. (in Russ.) EDN:QXUXB
6. Proshin F.A., Storozhuk M.N., Storozhuk N.L. Methods of Synchronisation in Communication Networks. *Last Mile*. 2024;2(118):62–69. (in Russ.) DOI:10.22184/2070-8963.2024.118.2.62.69. EDN:BQBPFX
7. Dvornikov S.V., Balykov A.A., Kotov A.A. The Simplified Model for Radio Signal Path Loss Computation, Which Was Developed by Comparing the Vvedensky Quadratic Equation with Existing Empirical Models. *Systems of Control, Communication and Security*. 2019;2:87–99. DOI:10.24411/2410-9916-2019-10204. (in Russ.) EDN:MAFQIB
8. Dvornikov S.V., Kraychko A.V., Timashov P.V. Approximation of Signal Attenuation Functions in Empirical Models. *Journal Achievements of Modern Radioelectronics*. 2019;11:55–63. (in Russ.) DOI:10.18127/j20700784-201911-09
9. Ayukov B.A., Dvornikov S.V., Kryachko A.F., Levin Ya.Ya. Probability Evaluation of DMR Mobile Radio Communication System Characteristics. *Journal Achievements of Modern Radioelectronics*. 2019;12:84–94. DOI:10.18127/j20700784-201912-13. (in Russ.) EDN:VOUHIW
10. Chikrin D.E. *Networks and Systems of Telecommunications: Course of Lectures*. Kazan: Kazan University Publ.; 2013. 146 p. (in Russ.)
11. Dvornikov S.V., Litkevich G.Yu., Romanenko P.G., Tsarelungo A.B., Dvorovoy M.O., Fedorenko I.V., et al. Empirical Approach to Calculating the Coverage Areas of Digital Television Transmitters. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniia*. 2017;3:70–75. (in Russ.) EDN:ZTCABH
12. Dvornikov S.V., Vlasenko V.I., Tsarelungo F.B., Balykov A.A., Borisov V.V., Timashev P.V. A Simple Approach to Calculating the Drop of Signals in the Networks of Broadband Access. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniia*. 2019;3:93–100. (in Russ.) EDN:KMYLBj

13. Lakin I.I., Semchenko V.V. Application of Queuing Theory and Petri Nets in the Analysis of Traction Rolling Stock Maintenance Parameters by Mathematical Modeling. *Modern Technologies. System analysis. Modeling*. 2023;4(80):65–77. (in Russ.) DOI:10.26731/1813-9108.2023.4(80).65-77. EDN:UNTVGS
14. Frolov N.O., Vetlugina O.V., Pyshny I.M. *Train Traction: Lecture Notes*. Ekaterinburg: Ural State University of Railway Transport Publ.; 2020. 50 p. (in Russ.)
15. Korban V.V., Zhebanov A.V. Mathematical models for automated preparation of train control regime maps. *Nauka i obrazovanie transportu*. 2019;1:36–38. (in Russ.) EDN:UPGGYY
16. Cox C. *An Introduction to LTE. LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications*. Wiley, 2014.
17. Sabir Z., Babar M.I., Shah S.W. Performance enhancement of wireless mobile adhoc networks through improved error correction and ICI cancellation. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2012:216. DOI:10.1186/1687-6180-2012-216
18. Dvornikov S.V., Osadchy A.I., Dvornikov S.S., Rodin D.V. Demodulation Based on Processing the Modified Distributions. *Testing. Diagnostics*. 2010;10:46–54. (in Russ.) EDN:NBEXTJ
19. Ao S.I., Gelman L., Hukins D.W.L., Hunter A., Korsunsky A.M. (Eds.) *Proceedings Book of World Congress on Engineering 2014, WCE 2014, 2–4 July 2014, U.K., London*. 2014.

Статья поступила в редакцию 27.03.2025; одобрена после рецензирования 16.04.2025; принята к публикации 22.05.2025.

The article was submitted 27.03.2025; approved after reviewing 16.04.2025; accepted for publication 22.05.2025.

Информация об авторах:

КАЗАКЕВИЧ
Елена Владимировна

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

 <https://orcid.org/0000-0002-4549-787X>

МАСЛОВА
Анна Андреевна

аспирант кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

 <https://orcid.org/0009-0001-1573-6171>

АЛЕКСЕЕВ
Артем Игоревич

аспирант кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

 <https://orcid.org/0000-0002-6595-2024>

ГРИШАНОВ
Илья Сергеевич

аспирант кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

 <https://orcid.org/0009-0006-8573-6333>

ПРОШИН
Федор Алексеевич

ассистент кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

 <https://orcid.org/0009-0009-5513-9302>

ДВОРНИКОВ
Сергей Викторович

доктор технических наук, профессор, профессор института радиотехники, электроники и связи (институт 2) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, профессор кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного

 <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

Дворников С.В. является членом редакционного совета журнала «Труды учебных заведений связи» с 2016 г., но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Dvornikov S.V. has been a member of the journal "Proceedings of Telecommunication Universities" Editorial Council since 2016, but has nothing to do with the decision to publish this article. The article has passed the review procedure accepted in the journal. The authors have not declared any other conflicts of interest.