

Способы и средства повышения безопасности на железнодорожных переездах, перспективы их развития



А. М. Трунаев,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Автоматика
и телемеханика
на железнодорожном
транспорте»
Ростовского
государственного
университета
путей сообщения

Железнодорожные переезды — важный элемент транспортной инфраструктуры, где пересекаются пути автомобильного и железнодорожного движения. Несмотря на технический прогресс, количество дорожно-транспортных происшествий здесь остается значительным. Это обусловлено как техническими, так и человеческими факторами.

Проблема повышения безопасности на переездах, несмотря на предпринимаемые меры, не теряет своей актуальности [1]. Проанализируем существующие способы и средства обеспечения безопасности на железнодорожных переездах, рассмотрим перспективные направления развития данных систем.

Железнодорожные переезды представляют собой точки пересечения различных видов транспорта на одном уровне. Они классифицируются по интенсивности движения, техническому оснащению, наличию дежурного персонала и другим критериям. Такая классификация важна для выбора наиболее эффективных мер безопасности.

По степени обустроенности переезды делятся на: охраняемые, оборудованные дежурным персоналом, автоматическими или полуавтоматическими устройствами (шлагбаумы, светофоры); неохранные, не имеющие постоянного контроля и, как правило, не оснащенные средствами сигнализации. По техническому оснащению различают переезды с автоматической сигнализацией, ручным управлением, комплексными системами безопасности (видеонаблюдение, акустическое оповещение, заградительные устройства). По интенсивности движения бывают высокоинтенсивные (в городах и пригородах), среднеинтенсивные (в промышленных районах и на региональных дорогах) и малоинтенсивные (в сельской местности).

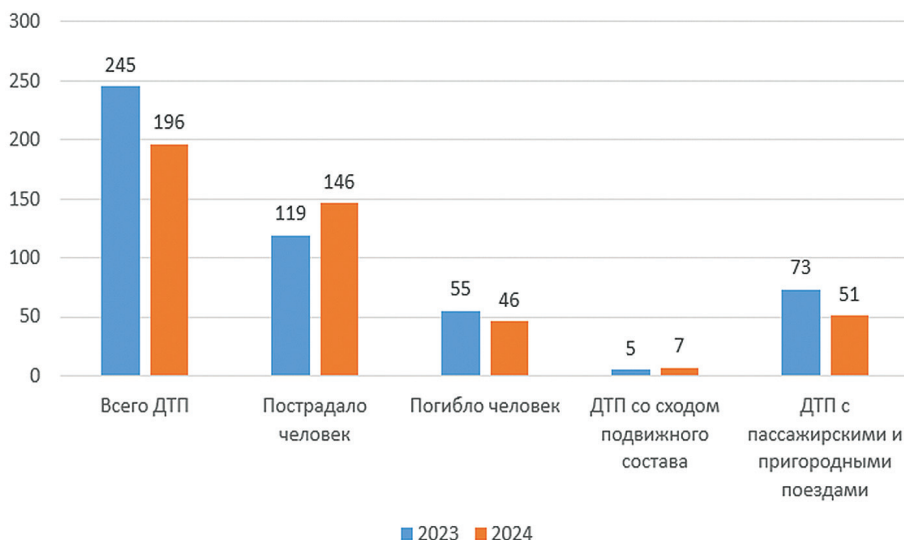
Разные типы переездов требуют дифференцированного подхода к обеспечению безопасности. Наиболее опасными считаются неохранные переезды при

высокой плотности движения, где вероятность аварий возрастает в разы. Следует признать, что власти и РЖД недостаточно активно финансируют и контролируют модернизацию этих переездов, что увеличивает риск аварийности. Введение обязательной поэтапной программы модернизации неохранных переездов с приоритетом средств цифрового контроля (камеры с распознаванием и видеофиксацией нарушений, инфракрасные и лазерные датчики), а также стратегическим закрытием нерентабельных объектов с заменой на многоуровневые развязки позволит значительно снизить аварийность на переездах.

Основные причины аварий на переездах

Анализ дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на железнодорожных переездах показывает, что к наиболее распространенным относятся:

- игнорирование сигналов светофоров и шлагбаумов — часто водители сознательно нарушают правила дорожного движения (ПДД), пытаясь успеть пересечь переезд до приближения поезда;
- неисправности транспортных средств, особенно при остановке прямо на путях;
- ограниченная видимость, вызванная как погодными условиями, так и ландшафтными особенностями (крутые повороты, застройка);
- сбой в работе автоматических систем — отказ светофоров, шлагбаумов, датчиков приближения поезда;
- отсутствие или устаревание технического оснащения, особенно на неохранных переездах;



Статистика по дорожно-транспортным происшествиям на железнодорожных переездах за 2023–2024 гг.

• низкий уровень информированности водителей и пешеходов, особенно в сельской местности.

Статистика показывает, что около 70% аварий происходит по вине водителей, нарушающих ПДД [2]. Это подчеркивает важность как технических, так и организационно-просветительских мер. Статистика за 2023–2024 гг. приведена на рис. 1.

Технические средства повышения безопасности

Современные технологии предоставляют широкий спектр технических решений для снижения аварийности на железнодорожных переездах. Эти средства направлены на предупреждение водителей о приближении поезда, физическое ограничение движения, а также на повышение уровня автоматизации и контроля.

Светофоры, шлагбаумы и заградительные устройства. Классическим и самым распространенным способом предупреждения о приближении поезда являются сигнальные светофоры и автоматические шлагбаумы. Они служат основными визуальными и физическими средствами информирования участников дорожного движения. Светофоры подают красный мигающий сигнал при приближении поезда, что указывает на необходимость остановки. Автоматические шлагбаумы синхронизированы с системой сигнализации и закрываются за 20–30 с до приближения состава. Полные заградительные устройства (двойные шлагбаумы) предотвращают выезд на пути в любом направлении и исключают объезд при закрытом переезде.

Современные разработки включают динамические светодиодные указатели, которые более заметны при плохой видимости, и инфракрасные барьеры, способные фиксировать нахождение транспортных средств на путях.

Автоматизация и дистанционное управление. Во многих регионах внедряются системы дистанционного управления переездами. Они позволяют оператору отслеживать работу переезда, получать видеопоток и при необходимости вручную управлять шлагбаумами. Их преимущества состоят в повышении оперативности реагирования, возможности мониторинга удаленных участков, снижении затрат на содержание дежурного персонала. Примером успешного внедрения таких средств может служить система автоматизированного удаленного управления переездами, которая применяется на железных дорогах России и других стран СНГ [3].

Информационные технологии и цифровизация

Современные технологии связи и обработки данных открывают новые возможности в обеспечении безопасности на железнодорожных переездах.

Видеонаблюдение и аналитика. Установка камер видеонаблюдения с функцией распознавания номеров и контроля нарушений ПДД позволяет автоматически фиксировать нарушения (объезд шлагбаума, проезд на красный сигнал), собирать данные для анализа аварийных ситуаций, повышать дисциплину водителей за счет неизбежности наказания.

Видеоконтроль также используется в режиме реального времени диспетчерами, что дает возможность отслеживать

происходящее на переезде и при необходимости принимать меры (рис. 2).

Системы оповещения и предиктивной аналитики. Одним из перспективных направлений являются интеллектуальные системы оповещения, которые могут передавать информацию о приближении поезда в навигационные приложения, на информационные табло, а также через мобильные уведомления водителям. Также используются системы предиктивной аналитики, предполагающие сбор данных с датчиков движения поездов, прогнозирование времени прибытия состава, автоматическое включение предупредительных сигналов и блокировок.

Такие технологии позволяют более точно управлять безопасностью и минимизировать влияние человеческого фактора [4].

Между тем в регионах отсутствует систематическая работа по автоматизированной фиксации и анализу нарушений, а сотрудники ГИБДД и железнодорожные службы ограничены в ресурсах для частых рейдов. Массовое внедрение видеонаблюдения с автоматическим распознаванием нарушений и интеграцией данных в электронную систему штрафов позволит усилить координацию между МВД и РЖД в проведении совместных рейдов и кампаний по профилактике.

Интеллектуальные транспортные системы

Интеллектуальные транспортные системы (Intelligent Transportation Systems, ITS) — это комплексные технологические решения, направленные на повышение эффективности и безопасности дорожного движения. На железнодорожных переездах ITS играют ключевую роль в предотвращении аварий и оптимизации трафика.

Интеграция транспортных потоков. ITS позволяют объединять инфор-



Рис. 2. Видеоконтроль на переезде

мацию с различных участков дорожной и железнодорожной инфраструктуры в единую систему управления [5]. Это дает следующие преимущества: своевременное информирование водителей о работе переезда через дорожные табло и навигаторы; регулировка дорожных потоков в зависимости от загруженности и движения поездов; автоматическое перенаправление маршрутов в случае закрытия переезда.

В Германии и Японии уже внедрены ITS, которые сообщают водителям о точном времени закрытия переезда, предлагая альтернативные пути объезда.

Коммуникация «транспорт — инфраструктура» (V2I). С развитием технологий появилась возможность взаимодействия автомобилей с элементами дорожной инфраструктуры (Vehicle-to-Infrastructure — V2I). Такие системы позволяют получать сигнал о приближении поезда напрямую в бортовой компьютер автомобиля, автоматически снижать скорость перед переездом, передавать данные о транспортном потоке обратно в управляющую систему.

Эти решения особенно актуальны в контексте появления автономных транспортных средств, где автоматическая реакция на сигналы переезда становится жизненно важной.

Интеграция ITS в умные города. В концепции умных городов (Smart Cities) железнодорожные переезды являются частью глобальной цифровой транспортной сети. Системы управления движением работают в режиме реального времени, адаптируя сигналы, маршруты и режимы работы светофоров в зависимости от движения поездов и автомобилей [6].

В России отдельные элементы ITS внедряются в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» и региональных программ «Умный город». Однако государственная политика в области цифровизации транспортной инфраструктуры недостаточно амбициозна, а законодательство пока не разрешает широкое использование искусственного интеллекта (ИИ) в автоматическом управлении безопасностью.

Ускорение создания юридической базы для массового внедрения ИИ и расширение финансирования пилотных проектов позволит обеспечить интеграцию ITS и V2X в платформы «Умных городов» и национальные цифровые экосистемы.

Использование искусственного интеллекта и нейросетей в прогнозировании опасных ситуаций

Развитие искусственного интеллекта (ИИ) и нейросетевых алгоритмов предоставляет новые возможности для обеспечения безопасности на железнодорожных переездах [7].

Предиктивный анализ поведения водителей. Искусственный интеллект способен анализировать видеопоток и распознавать потенциально опасное поведение, например, попытки объезда шлагбаума, резкое торможение или остановку на путях, несоблюдение дистанции и скорости. На основе этих данных система может подавать экстренные сигналы, уведомлять дежурных, предотвращать аварии до их возникновения путем снижения скоростного режима, напрямую воздействуя на локомотив.

Самообучающиеся модели оценки риска. Нейросети, обученные на статистике ДТП, могут выявлять участки с повышенным уровнем риска и рекомендовать установку дополнительных ограждающих устройств, повышение уровня освещенности, изменение дорожной разметки и знаков. Такой подход позволяет рационально распределять ресурсы и инвестировать в безопасность там, где это наиболее необходимо.

Искусственный интеллект в управлении переездами. Автоматизированные системы управления, основанные на ИИ, позволяют самостоятельно определять момент закрытия/открытия переезда, адаптировать режим работы в зависимости от погодных условий и трафика, сокращать время простоя транспорта без снижения уровня безопасности. Примером может служить проект японской компании Hitachi, в рамках которого тестируются системы на базе ИИ для управления железнодорожными узлами с высокой плотностью движения (рис. 3).

Инфраструктурные меры и модернизация дорог и путей

Физическое состояние переезда, прилегающих дорог и железнодорожных путей оказывает непосредственное влияние на уровень безопасности. Внедрение новых технических решений должно сопровождаться инфраструктурными мерами, направленными на устранение объективных препятствий и снижение аварийности [8].

Повышение видимости и освещенности. Многие аварии происходят ночью или в условиях плохой видимости. Меры

по улучшению видимости включают установку светоотражающих знаков и покрытий, устройство светодиодного освещения вдоль переезда и на подходах, регулярную расчистку территории от растительности, заборов и других препятствий обзору. Освещенные и визуально выделенные переезды создают условия для своевременного реагирования водителей.

Капитальный ремонт дорожного покрытия и путей. Изношенное дорожное полотно приводит к задержкам при пересечении переезда, повреждению транспортных средств, повышенной вероятности остановки на путях.

Ремонт включает замену дорожного полотна на переезде, установку рифленых резинотехнических настилов для предотвращения пробуксовки, обновление шпал, рельсов и смежных участков полотна. Такие меры особенно важны в сельских районах и на второстепенных переездах, где ремонт часто откладывается на годы.

Устройство транспортных развязок и путепроводов. Наиболее эффективной, хотя и дорогостоящей, мерой является полное устранение пересечения в одном уровне. Это достигается через строительство путепроводов (автомобиль над железной дорогой или наоборот) и тоннелей, а также закрытие нерентабельных переездов с переносом движения на более безопасные участки.

Такие решения полностью устраняют конфликт между автомобильным и железнодорожным движением. В России подобные проекты реализуются в рамках национального проекта «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры».

Разделение потоков и обустройство подходов. Для повышения предсказуемости дорожного движения важно устраивать отдельные полосы для легковых и грузовых автомобилей на подходах, обустраивать зоны ожидания с твердым покрытием и разметкой, ограждать обочины и пути объезда, чтобы исключить нарушение режима переезда.

Такие меры позволяют минимизировать беспорядочное движение и делают работу автоматических систем более надежной.

Законодательные и нормативные инициативы

Правовое регулирование играет важную роль в обеспечении безопасности на железнодорожных переездах. Без надлежащих нормативов и санкций технические решения остаются неэф-

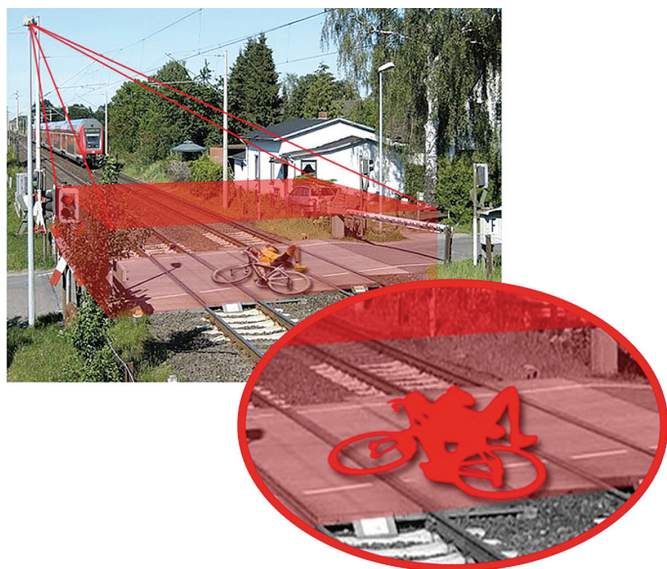


Рис. 3. Использование искусственного интеллекта на переезде для управления железнодорожным движением

фективными. В последние годы в ряде стран, включая Россию, наблюдается активизация усилий по ужесточению контроля и усилению ответственности за нарушения [9].

Действующие нормативные документы. В Российской Федерации безопасность переездов регулируется:

- Правилами дорожного движения (ПДД РФ) — определяют порядок пересечения переездов, обязанности водителей и пешеходов;
- Федеральным законом «О безопасности дорожного движения»;
- инструкциями ОАО «РЖД», в которых указаны требования к эксплуатации переездов, их техническому состоянию и действиям дежурного персонала;
- ГОСТами, регулирующими устройство и оснащение железнодорожных переездов (например, ГОСТ Р 52752–2007).

Ужесточение административной ответственности. В последние годы введены и усилены штрафы за нарушения на железнодорожных переездах, включая проезд на запрещающий сигнал (штраф до 5000 руб. или лишение прав), объезд шлагбаума или выезд на пути при закрытом переезде, остановку и стоянку на переезде. Вводится также видеофиксация нарушений с использованием камер наблюдения, что повышает неотвратимость наказания и дисциплинирует водителей.

Инициативы по изменению правил и стандартов. На федеральном и региональном уровне обсуждаются следующие нормативно-правовые изменения:

- введение обязательной модернизации неохраняемых переездов;
- разработка единого цифрового реестра переездов, где будет указано состояние, оснащение, уровень риска;
- разрешение использовать средства ИИ для принятия управленческих решений в автоматическом режиме (пока требует правового регулирования);
- поддержка концессионных схем для модернизации объектов за счет частных инвесторов.

В некоторых регионах России уже действуют пилотные проекты по исключению устаревших переездов с низкой пропускной способностью путем их закрытия и строительства альтернативных путепроводов.

Роль муниципальных и региональных властей. Муниципалитеты и субъекты РФ нередко являются владельцами прилегающих автодорог, что означает необходимость совместного подхода к переездам, а именно координации усилий с железнодорожными службами, финансирования из региональных программ, проведения регулярного мониторинга и аттестации переездов.

Международный опыт и сравнительный анализ

Обеспечение безопасности на железнодорожных переездах — актуальная задача во всех странах с развитой транспортной сетью. Изучение международного опыта позволяет выявить эффективные решения, которые можно адаптировать к национальным условиям.

В ФРГ большинство железнодорожных переездов автоматизировано. Основные осуществленные здесь меры включают использование интеллектуальных светофоров с предиктивной системой управления, повсеместное внедрение автоматических заградительных устройств с видеоконтролем, единый национальный стандарт безопасности с интеграцией в транспортную систему городов. Важно, что в Германии не допускается проектирование новых автомобильных дорог с пересечением железнодорожных путей на одном уровне — вместо этого строятся путепроводы и тоннели.

В Японии, где высокоскоростные поезда курсируют с минимальными интервалами, вопросы безопасности стоят особенно остро. Здесь применяются инфракрасные и лазерные датчики на переездах, фиксирующие даже малейшее движение, а также системы автоматического торможения поездов, если обнаружен объект на путях. В городах активно внедряются подземные переходы и надземные эстакады.

Большое внимание уделяется воспитанию дисциплины у водителей и пешеходов, включая школьное образование и общественные кампании.

В США железнодорожные переезды расположены в удаленных и слабооснащенных районах. Среди основных направлений работы выделяются: внедрение систем диагностики состояния переездов с помощью беспилотников, федеральные программы софинансирования модернизации инфраструктуры (например, FRA Rail Crossing Safety Program), жесткое наказание за нарушения, включая крупные штрафы и уголовную ответственность в случае создания угрозы жизни.

Во Франции с 2000-х годов действует программа по постепенному закрытию переездов либо замене на многоуровневые пересечения. Также активно используются мобильные комплексы контроля и интеграция переездов в единую цифровую систему SNCF (национального железнодорожного оператора).

Представляется, что Россия может адаптировать эти практики, особенно в части поэтапной замены неохраняемых переездов, широкого внедрения видеоконтроля и датчиков, централизованного цифрового мониторинга.

Перспективы развития систем безопасности на железнодорожных переездах до 2030 г.

Будущее железнодорожных переездов связано с тотальной цифровизацией, автоматизацией и переходом к принципу «нулевой аварийности».

Полная автоматизация переездов. Ожидается, что к 2030 г. большинство железнодорожных переездов в развитых странах будут переведены на полностью автоматизированное

управление¹. Это означает минимальное или нулевое участие человека, реакцию на движение поездов и транспорта в реальном времени.

Подключение к централизованным цифровым платформам мониторинга. Преимущества от такой меры заключаются в минимизации ошибок, быстром отклике и синхронизации с другими объектами инфраструктуры.

Интеграция с автономным транспортом. С ростом числа беспилотных автомобилей переезды должны стать частью экосистемы «умной дороги». Это предполагает связь по протоколу V2X (vehicle-to-everything) с автомобилями, отображение статуса переезда на экранах бортовых компьютеров, возможность удаленной остановки автомобиля при нарушении ПДД. Уже сегодня такие технологии тестируются в Китае, Южной Корее и Германии.

Прогнозно-аналитические платформы на базе ИИ. Искусственный интеллект будет использоваться не только для контроля, но и для прогнозирования потенциальных нарушений, оценки риска возникновения аварий в конкретных условиях (погода, трафик, время суток), оптимизации времени работы переездов без ущерба для безопасности.

Такие системы смогут также автоматически формировать отчеты и запросы на ремонт в случае обнаружения неисправностей.

Конверсия переездов в многоуровневые пересечения. Ожидается значительное сокращение количества железнодорожных переездов за счет постройки путепроводов и тоннелей, оптимизации маршрутов с целью минимизации пересечений, переноса второстепенного движения на альтернативные маршруты.

Государственные программы будут все чаще предусматривать концессии и государственно-частное партнерство, чтобы ускорить этот процесс.

Экологические и «зеленые» технологии. Безопасность будущего будет сочетаться с использованием солнечных панелей для автономного питания переездов, применением низкоуглеродных материалов в строительстве и ремонте, встраиванием переездов в экологические

коридоры, где учитываются пути миграции животных.

Заключение

Обеспечение безопасности на железнодорожных переездах — комплексная задача, требующая взаимодействия технических решений, нормативного регулирования, инфраструктурной модернизации и участия самих граждан. Очевидна необходимость перехода от традиционных охраняемых переездов к интеллектуальным, цифровым и полностью автоматизированным системам.

Мировой и российский опыт показывает, что наиболее эффективными являются меры, комбинирующие высокотехнологичные средства (видеоконтроль, ИИ, V2X), основанные на точной аналитике и предиктивных системах, поддерживаемые на уровне законодательства и общественного мнения.

С учетом темпов развития технологий и цифровой трансформации уже к 2030 г. можно ожидать значительного снижения количества ДТП на железнодорожных переездах. Однако для этого необходимо продолжать реализацию национальных программ, вовлекать регионы и использовать лучшие международные практики.

Властям и РЖД необходимо учесть итоговые рекомендации:

- обязательная комплексная техническая модернизация и стандартизация оборудования на всех категориях переездов;
- массовое использование автоматизированных систем видеофиксации нарушений как основного инструмента профилактики и юридической ответственности;
- активизация образовательной работы и общественных кампаний с включением всех уровней власти;
- ускоренное введение и адаптация интеллектуальных транспортных систем и ИИ для прогнозирования и оперативного управления;
- создание эффективной системы межведомственного взаимодействия, включающей представителей регионов, муниципалитетов, МВД и РЖД.

Безопасность — это не только задача государства, но и личная ответственность каждого водителя, инженера, проектировщика и управленца. Только совместными усилиями можно добиться поставленной цели — «нулевой смертности» на переездах.

Источники

1. Трунаев А. М., Иваницкая И. Л. Анализ средств обеспечения безопасности на железнодорожных переездах // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2021. № 63. С. 4–12. EDN: OFLMAS.
2. Кононов И. И., Денисов В. В., Сосевич Н. М. Анализ случаев нарушения безопасности движения на железнодорожном транспорте // Наука и образование транспорту. 2020. № 1. С. 119–121. EDN: WYNNRY.
3. Долгий А. И., Хатламаджян А. Е., Шаповалов В. В. и др. Система автоматизированного удаленного управления переездами // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 7. С. 30–33. DOI: 10.34649/AT.2020.7.7.006. EDN: HKYSFW.
4. Банденок В. О., Полищук И. Г., Власова Н. В., Царегородцева Е. Ю. Применение цифровизации в транспортной отрасли и новой реальности // Молодая наука Сибири. 2023. № 1(19). С. 32–39. EDN: OEFOPT.
5. Терентьев В. В., Горячкина И. Н., Латышенков Н. М., Тетерина О. А. Перспективы применения интеллектуальных систем на транспорте // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2023. № 1(17). С. 96–101. EDN: AMRSRY.
6. Гатиятуллин М. Х., Юсупов Б. Д. Применение интеллектуальных транспортных систем // Техника и технология транспорта. 2021. № 1(20). С. 13. EDN: RSSXAC.
7. Понятов А. А. Возможности применения нейросетевых технологий на железнодорожном транспорте // Актуальные проблемы современного транспорта. 2022. № 2–3 (9–10). С. 62–70. EDN: XQDEGO.
8. Турчик С. Е., Глинская О. С., Куштин В. И. Повышение показателей безопасности на объектах инфраструктуры железных дорог // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2(55). С. 127–130. EDN: OXZPYJ.
9. Тумышева Ж. К., Волков П. А. Необходимость в развитии деятельности по обеспечению правопорядка на объектах железнодорожного транспорта // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 109–9. С. 77–79. DOI: 10.18411/trnio-05-2024-476. EDN: VLAEMP.

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р) (в редакции распоряжения Правительства Российской Федерации от 11 июня 2014 г. N 1032-р). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902132678> (дата обращения: 22.10.2023).