

**Дергачева Людмила Владимировна**, к.т.н., доцент  
Ростовский государственный университет путей сообщения

**Литвиненко Алёна Юрьевна**, студент  
Ростовский государственный университет путей сообщения

**Роговая Любовь Юрьевна**, студент  
Ростовский государственный университет путей сообщения

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

**Аннотация.** На основе статистических данных проведен анализ причин аварийности наиболее уязвимых элементов железнодорожной инфраструктуры – железнодорожных переездов. Разработаны мероприятия по обеспечению их безопасности. С применением метода «дерева событий» проведена оценка эффективности предложенных мер. Особое внимание уделено перспективным направлениям защиты включая кибербезопасность систем управления движением и противодействие угрозам со стороны БПЛА.

**Ключевые слова:** Безопасность объектов железнодорожной инфраструктуры, железнодорожные переезды, метод «дерева событий», шлагбаум-ворота, системы видеонаблюдения.

Транспортные системы являются основой экономики любой страны. При этом объекты железнодорожной инфраструктуры имеют преобладающее значение в транспортной системе РФ, и часто становятся градообразующими предприятиями. Специфика их работы создает определённые вызовы в области обеспечения безопасности. Одной из наиболее острых проблем остаются дорожно-транспортные происшествия на железнодорожных переездах, последствия которых зачастую носят катастрофический характер. Количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на железнодорожных переездах сети железных дорог компании ОАО «РЖД» с каждым годом только увеличивается, о чем свидетельствуют неутешительные цифры статистики. Анализ ДТП произошедших на железнодорожных переездах свидетельствует о том, что [1]:

- причиной 93,2% от общего числа ДТП на железнодорожных переездах является грубейшее нарушение правил дорожного движения;
- 0,8% ДТП обусловлено не благоприятными метеорологическими условиями;
- 3,2% ДТП приходится на нарушение регламентирующих документов, невыполнение требований должностных инструкций работниками компании ОАО «РЖД»;
- неисправность автотранспортных средств, возникшая при проследовании переезда, явилось причиной 2,8% ДТП на переездах.

По статистике, каждый четвертый пострадавший в таких авариях погибает, а 98% инцидентов происходят по вине водителей автомобильного транспорта [1, 2].

В целях обеспечения безопасности на железнодорожных переездах проводятся следующие мероприятия:

- внедряются новые конструкционные материалы,
- разрабатываются и реализуются перспективные технические решения,
- вводятся в эксплуатацию охраняемые переезды, посты ГИБДД, предикторы, устройства заградительные переездов, шлагбаум-ворота, светодиоды, заградительные барьеры, камеры видеонаблюдения и др.

Целью данной работы является рассмотрение наиболее оптимальных способов обеспечения безопасности на ж.д. переездах.

Безопасность на переездах регулируется их категоричностью, которая определяется интенсивностью движения поездов и автотранспорта. Переезды общего пользования делятся на четыре категории. К первой категории относятся пересечения, где интенсивность движения поездов превышает 200 единиц в сутки, либо транспортных средств – более 7000 в сутки [3].



Важнейшим фактором является обеспечение видимости. Согласно ГОСТ Р 50597-2017 [4], для водителя, находящегося в 50 метрах от рельса, расстояние видимости приближающегося поезда должно составлять от 100 до 500 метров в зависимости от установленной скорости движения на участке. Нарушение этих норм, вызванное незаконной застройкой или разрастанием растительности, существенно повышает уязвимость объекта.

Переезды подразделяются на регулируемые (оборудованные сигнализацией или обслуживаемые дежурным) и нерегулируемые. Обязательное дежурство устанавливается на всех переездах I категории, на участках со скоростью движения более 140 км/ч, а также на переездах с трамвайным или троллейбусным движением.

В настоящее время в стране эксплуатируется более 20 тыс. железнодорожных переездов, в том числе около 13,6 тыс. в системе МПС России, из них 2,8 тыс. переездов обслуживаются дежурными работниками железных дорог.

Государственная политика в области железнодорожных переездов направлена на сокращение их числа, в первую очередь путем строительства транспортных развязок в разных уровнях, ликвидации малодеятельных переездов и переездов, на которых не обеспечивается безопасность движения.

В связи с увеличением автомобилизации, создаются дополнительные предпосылки для ухудшения обстановки в сфере обеспечения безопасности движения через переезды. Вместе с тем продолжает оставаться высокой вероятность совершения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на переездах. Анализ таких аварий показывает, что в 98 % случаев они допускаются по вине водителей. При этом ежегодно Государственной инспекцией безопасности дорожного движения МВД России (ГИБДД) выявляется около

160 тыс. нарушений правил движения через переезды водителями автотранспортных средств, т.е. в среднем по восемь нарушений на каждый переезд [2].

Для минимизации влияния «человеческого фактора» и предотвращения несанкционированного выезда на пути разработана система технических контрмер:

1. Устройства заграждения железнодорожного переезда (УЗП). Представляют собой металлические плиты, поднимающиеся из дорожного покрытия при запрещающем сигнале светофора. УЗП физически блокируют проезд, делая невозможным таран или случайный выезд автомобиля. Стоимость оборудования одного переезда УЗП составляет около 2 млн рублей (точная стоимость зависит от множества факторов).

2. Предикторы. Системы, использующие микропроцессорные технологии для определения точного времени прибытия поезда к переезду. Это позволяет оптимизировать время закрытия шлагбаума, минимизируя простои автотранспорта и снижая соблазн водителей «проскочить» под закрывающийся брус.

3. Шлагбаумы-ворота и заградительные барьеры. Конструкции типа StopGate способны остановить грузовой автомобиль массой 2 тонны на скорости свыше 70 км/ч. Такие системы критически важны на переездах вблизи предприятий с опасными грузами.

4. Системы видеонаблюдения и фотофиксации. На базе сетевых видеорегистраторов (например, системы «Трал») организуется круглосуточный мониторинг. Видеоаналитика позволяет автоматически обнаруживать препятствия на путях и передавать сигнал машинисту приближающегося поезда.

Наблюдения, проведенные на переездах отделения «Р» СКЖД, выявили интересную закономерность. На неохранных переездах 62 % водителей игнорировали знак «СТОП», а 3 % проезжали на запрещающий сигнал светофора. Однако на аналогичных неохранных переездах, вблизи которых расположены посты ГИБДД, нарушения правил практически не фиксировались. Это доказывает, что фактор неотвратимости наказания и присутствия контролирующих органов является мощным инструментом обеспечения безопасности.

В рамках профилактической работы предлагается установка «лежачих полицейских» (искусственных дорожных неровностей – ИДН) перед переездами. Несмотря на возражения некоторых дорожных служб о снижении пропускной способности, опыт показывает, что ИДН принудительно снижают скорость потока до безопасных значений, давая водителю время на адекватную оценку обстановки.



Для определения наиболее эффективного способа защиты была сформирована экспертная группа, оценившая различные методы по пяти критериям: стоимость оборудования, вероятность безотказной работы, эксплуатационные расходы, долговечность и срок монтажа. Обработка результатов проводилась с использованием дисперсионного коэффициента конкордации Кендалла [5], подтвердившего согласованность мнений экспертов (таблица 1).

Таблица 1

Обработка результатов экспертных оценок различных способов защиты ж.д. переездов

Метод обустройства	Стоимость (млн руб.)	Безопасность (%)	Экспл. расходы (тыс. руб/год)	Коэффициент конкордации
Охраняемый переезд	1,59	77,1	709	0,575
УЗП	1,45	87,8	180	0,594
Камера видеонаблюдения	0,10	75,3	52,9	0,702
Шлагбаум-ворота	0,10	78,2	39,4	0,731

Согласно расчетам, наибольшим критерием оптимальности обладают шлагбаумы-ворота и светодиодные системы сигнализации. Они обеспечивают высокую надежность при относительно низких капитальных и эксплуатационных затратах.

Для глубокого анализа безопасности был применен метод «дерева событий», позволяющий количественно оценить эффект от внедрения конкретных мер (рисунок 1). Головным событием в дереве является ДТП на переезде [6]. Ожидаемые потери ( $E$ ) при наступлении аварии рассчитываются на основе статистики тяжести последствий:

$$E = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i, \quad (1)$$

где  $P_i$  – вероятность исхода (первая помощь, инвалидность, смерть),  
 $N$  – число классов последствий различной серьезности;  
 $U_i$  – соответствующие убытки.

Приведенное выражение не определяет абсолютную меру потерь и справедливо только при появлении головного события. Следовательно, величина  $E$  может рассматриваться как ожидаемые затраты при аварии или несчастном случае. Значения  $U_i$  могут выражаться в деньгах, потерянных рабочих днях и т.д.

Величина  $E$ , задаваемая формулой (1), показывает, каких потерь можно ожидать при аварии или несчастном случае, но она никак не связана с затратами на обеспечение безопасности. Чтобы их учесть, надо рассмотреть еще несколько важных факторов. Один из них – частота, с которой происходят аварии. При использовании дерева событий она выражается в терминах вероятностей. До обсуждения способов расчета вероятности  $P$  появления головного события рассмотрим, как используется эта вероятность.

Величины  $E$  и  $P$  являются абсолютными мерами «критичности» данного головного события, выражаемой в виде:

$$C = P \cdot E, \quad (2)$$

где  $C$  – ожидаемые потери, связанные с появлением головного события в течение данного интервала времени или данной единицы трудоемкости. Эта мера формируется независимыми частотой и убытками, и поэтому может применяться для сравнения различных головных событий.



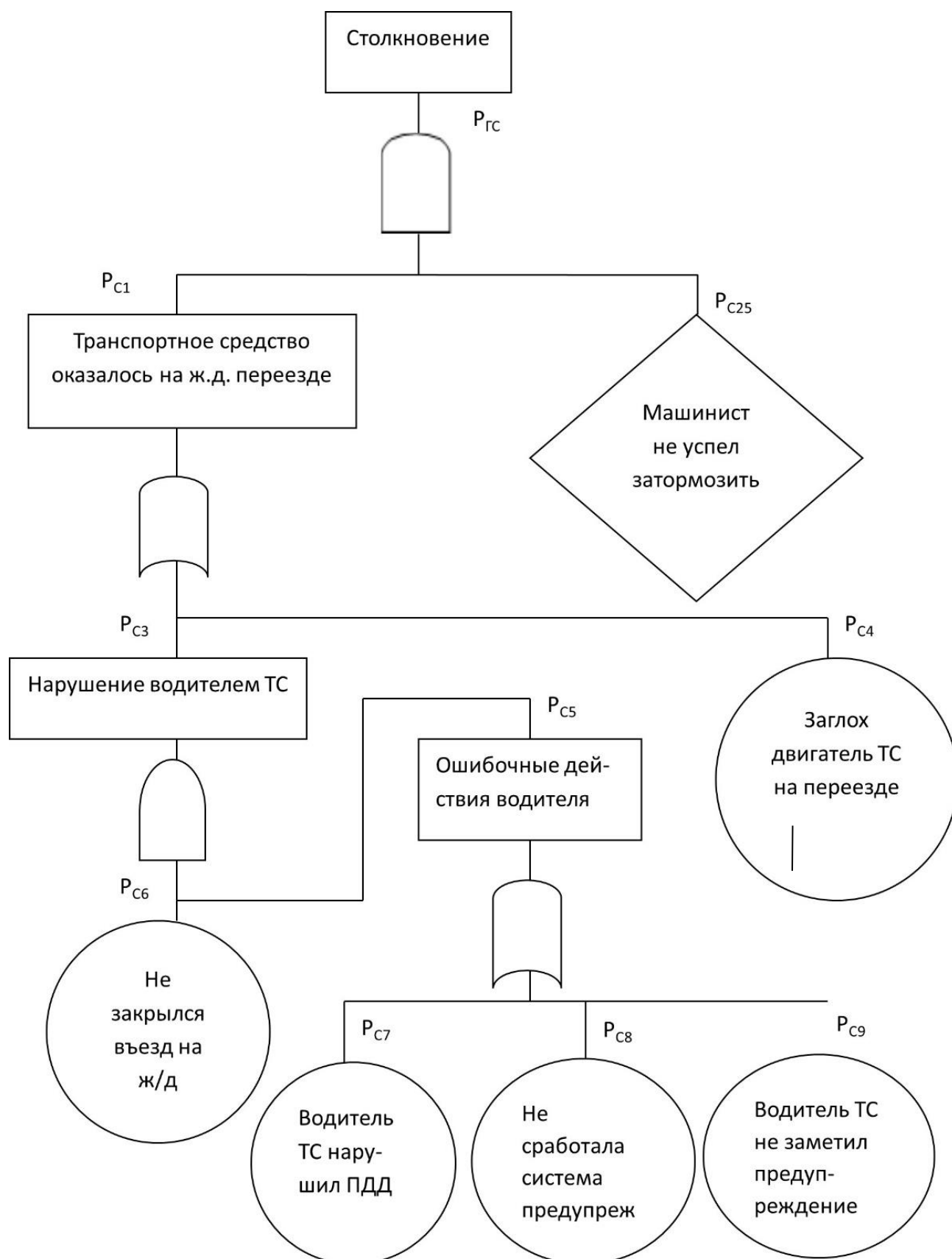


Рис. 1 – Логическая схема дерева событий

На основе данных дистанции «Р» пути средний ожидаемый ущерб от одного ДТП составляет около 9300 рублей (без учета стоимости техники). Однако интегральный показатель критичности (С), учитывающий частоту аварий, позволяет увидеть реальную экономию (таблица 2).

Таблица 2

Эффективность способа защиты ж.д. поездов

Мероприятие	Затраты на 10 лет, млн руб.	Исходная критичность, руб.	Новая критичность, руб.	Отношение затраты/прибыль
Установка УЗП	68,27	0,122	0,003	573,7
Шлагбаум-ворота	5,02	0,122	0,003	42,2
Видеонаблюдение	5,03	0,122	0,033	56,4

Анализ показал, что шлагбаумы-ворота имеют наилучшее отношение затрат к приносимой «прибыли» (в виде предотвращенного ущерба), что делает их приоритетным направлением для массового переоснащения поездов.

В 2024–2025 годах фокус внимания сместился в сторону защиты систем управления и борьбы с новыми типами угроз, такими как кибератаки на SCADA-системы железнодорожного транспорта и использование БПЛА. Интеграция информационных и операционных технологий делает железную дорогу уязвимой для дистанционного блокирования движения или подмены сигналов светофоров [7].

Разработка мероприятий по безопасности в настоящее время должна включать:

- создание защищенных контуров передачи данных для систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ).
- внедрение систем радиоэлектронного обнаружения и подавления малых дронов в районе мостов и крупных узловых станций.
- использование ИИ-аналитики для превентивного выявления аномалий в поведении людей и транспортных средств на объектах инфраструктуры.

**Выводы:**

Уязвимость объекта – это динамический показатель, на который влияют не только техническая оснащенность, но и психологические факторы участников движения, а также системная роль объекта в транспортной сети. Проведенное исследование факторов уязвимости и мер защиты объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) позволяет сформулировать комплексный подход к обеспечению безопасности. В ходе исследования обосновано, что повышение безопасности объектов железнодорожной инфраструктуры требует перехода от пассивных мер информирования к активным системам физического ограждения. Анализ экспертных оценок и экономических показателей доказал, что внедрение шлагбаумов-ворот и систем УЗП является наиболее эффективным способом нейтрализации рисков, связанных с нарушениями ПДД. Применение математического аппарата «деревьев событий» позволило подтвердить высокую рентабельность инвестиций в современные технические средства защиты. В условиях цифровой трансформации 2024–2025 гг. приоритетным развитием системы безопасности должно стать интегрирование ИТ-решений для киберзащиты и противодействия террористическим атакам с применением беспилотных технологий. Проведенное исследование факторов уязвимости и мер защиты ОТИ позволяет сформулировать комплексный подход к обеспечению безопасности:

1. Российская система категорирования должна эволюционировать в сторону учета интегрального риска и живучести конструкций, заимствуя эффективные элементы зарубежных методик, на основе риск-ориентированного подхода.
2. На железнодорожных переездах физическая блокировка пути (УЗП, шлагбаумы-ворота) является наиболее действенным средством против нарушений ПДД, при этом шлагбаумы-ворота демонстрируют наилучшее соотношение затрат к предотвращенному ущербу.
3. Снижение роли «человеческого фактора» через внедрение интеллектуальных видеосистем и микропроцессорных предикторов позволяет повысить вероятность обнаружения угроз до уровня 0,95 и выше.



4. Современные планы обеспечения безопасности ОТИ должны включать разделы по киберзащите и противодействию БПЛА, что требует пересмотра стандартов 2016 года и учета актуальных законодательных изменений 2024–2025 гг..

Реализация предложенных мероприятий позволит не только снизить прямые потери от АНВ, но и обеспечит устойчивость транспортной системы России к долгосрочным вызовам, сохраняя жизни граждан и обеспечивая бесперебойную работу экономики

#### **Список литературы:**

1. Анализ состояния безопасности движения на железнодорожных переездах Российских железных дорог / ОАО «РЖД». – М.: 2024 – 65 с.
2. В РЖД обеспокоены ростом числа ДТП на переездах/ Газета «Гудок», Электронный ресурс – Режим доступа: <http://www.gudok.ru/>
3. Приказ Министерства транспорта РФ от 5 октября 2022 г. № 402 «Об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов».
4. ГОСТ Р 50597-2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля.
5. Коробова, Н. А. Экспертный метод оценки рисков / Н. А. Коробова, М. Ю. Полянчикова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2023. – N 1 (272). – С. 20-21. – DOI 10.35211/1990-5297-2023-1-272-20-21. ISSN: 1990-5297.
6. Дергачева, Л. В. Оценка риска возникновения нештатной ситуации в момент движения электропоезда / Л. В. Дергачева, И. В. Будко, В. С. Колкин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2 (71). – С. 59-65.
7. Финоченко, Т.А. Обеспечение безопасности технологических систем предприятий транспортной инфраструктуры / Т. А. Финоченко, И. А. Баланов, С. В. Борисов [и др.] // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4 (61). – С. 109-113

