

Анализ обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах в Российской Федерации

Г.Г. Ахмедзянов¹✉, А.Д. Галеев¹, М.В. Ключников¹, А.В. Литвинов²

¹Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Российская Федерация

²Омская академия Министерства внутренних дел России, г. Омск, Российская Федерация

✉1zzzz1omsk@gmail.com

Резюме

В России на железнодорожных переездах ежегодно отмечается значительное число дорожно-транспортных происшествий. Большинство научных работ по теме безопасности движения на переездах посвящены совершенствованию их технического оснащения и обслуживания. Не существует способа полностью исключить дорожно-транспортные происшествия на железнодорожных переездах. Предметом исследования в данной статье является безопасность движения на железнодорожных переездах в Российской Федерации, а его цель заключается в анализе показателей обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах в России. В работе рассмотрены случаи дорожно-транспортных происшествий, произошедшие на железнодорожных переездах в Российской Федерации за период с 2011 по 2021 г. На основании полученных данных спрогнозировано количество дорожно-транспортных происшествий на 2022–2027 гг. Исследована линия тренда, отражающая тенденцию в изменении числа дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах в России. В качестве линии тренда использовался полином шестой степени. Представлены основные статистические данные для транспортной инфраструктуры и железнодорожных переездов для основных экономически развитых стран. Рассмотрена оценка безопасности движения на железнодорожных переездах, основанная на коэффициенте удельной аварийности (количество дорожно-транспортных происшествий на переездах на 100 тыс. чел.). Данная оценка не включает некоторые факторы, влияющие на аварийность на переездах. Предложен коэффициент опасности железнодорожных переездов, учитывающий количество переездов и автомобилей в стране. Самый высокий коэффициент опасности железнодорожных переездов имеют Турция и Украина, самый низкий – США и Евросоюз. По значению коэффициента опасности железнодорожных переездов Россия занимает четвертое место среди рассматриваемых стран. У России есть потенциал для повышения безопасности движения на железнодорожных переездах. Необходимо совершенствовать технические и организационные мероприятия.

Ключевые слова

железнодорожный переезд, безопасность движения, линейная регрессия, количество переездов, коэффициент опасности, дорожно-транспортное происшествие

Для цитирования

Анализ обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах в Российской Федерации / Г.Г. Ахмедзянов, А.Д. Галеев, М.В. Ключников, А.В. Литвинов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2022. № 4 (76). С. 153–161. DOI 10.26731/1813-9108.2022.4(76).153-161.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 24.10.2022 г.; поступила после рецензирования: 26.12.2022 г.; принята к публикации: 27.12.2022 г.

Analysis of traffic safety at level crossings in the Russian Federation

G.G. Akhmedzyanov¹✉, A.D. Galeev¹, M.V. Klyuchnikov¹, A.V. Litvinov²

¹Omsk State Transport University, Omsk, the Russian Federation

²Omsk academy of the Ministry of Internal Affairs Russia, Omsk, the Russian Federation

✉1zzzz1omsk@gmail.com

Abstract

In the Russian Federation, a significant number of traffic accidents is observed annually at level crossings. Most of the scientific works and research on the topic of crossings are devoted to improving the technical equipment and maintenance of railway crossings. To date, there is no way to completely eliminate traffic accidents at level crossings. The subject of the study is traffic safety at level crossings in the Russian Federation. The purpose of the work is to analyze the provision of traffic safety at level crossings in the Russian Federation. The article considers cases of traffic accidents at level crossings in the Russian Federation for the period from 2011 to 2021, and based on these data, a forecast is made for the number of traffic accidents at level crossings in the Russian Federation for the period from 2022 to 2027. The trend line reflecting the trend in the number of traffic accidents at level crossings has been studied. A polynomial of the sixth degree is chosen as the trend line. Also presented are basic statistics for transport infrastructure and railroad crossings for the main large and economically developed countries. An assessment of traffic

safety based on the specific accident rate at level crossings (number of traffic accidents at level crossings per one hundred thousand people) is considered. This assessment was recognized as inaccurate, since it does not take into account the main factors affecting the accident rate at crossings. A hazard coefficient for level crossings is proposed, taking into account the number of crossings and cars in a particular country. The highest risk factor for level crossings was obtained for Turkey and Ukraine, the lowest for the USA and the European Union. According to the value of the hazard coefficient of level crossings, Russia ranks fourth among the countries under consideration. Russia has potential in increasing technical and organizational measures to improve traffic safety at level crossings.

Keywords

level crossing, traffic safety, linear regression, number of crossings, hazard coefficient, traffic accident

For citation

Akhmedzyanov G.G., Galeev A.D., Klyuchnikov M.V., Litvinov A.V. Analiz obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnykh pereyezdash v Rossiiskoi Federatsii [Analysis of traffic safety at level crossings in the Russian Federation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2022, no. 4 (76), pp. 153–161. DOI: 10.26731/1813-9108.2022.4(76).153-161.

Article info

Received: October 24, 2022; Revised: December 26, 2022; Accepted: December 27, 2022.

Введение

Развитие общества предполагает экспоненциальный рост потребления товаров и услуг. Это требует интенсивного развития науки, промышленности и транспорта. Но зачастую транспортная инфраструктура, созданная в прошлом веке, не успевает за растущими объемами перевозок. В ней возникают проблемные места, выступающие в роли ограничителей общего прогресса. Одной из таких проблем в сфере транспорта являются железнодорожные переезды [1–3]. Переезды представляют собой точки пересечения двух транспортных систем, возникающие на них нештатные ситуации приводят к значительным финансовым потерям. Еще одной проблемой является большое количество переездов по всей сети дорог (10 337 переездов на 1 сентября 2022 г.). Это не позволяет быстро осуществить их техническую модернизацию, так как требует значительных финансовых затрат, сопоставимых с годовым бюджетом страны.

Для совершенствования организации работы существующих железнодорожных переездов необходимо оценить текущую ситуацию с безопасностью на переездах и выполнить прогноз состояния безопасности на ближайшие годы.

Основным средством, обеспечивающим безопасную эксплуатацию железнодорожного переезда, является система сигнализации и ограждения переезда, входящая в железнодорожный переездный комплекс. Техническое оснащение железнодорожного переездного комплекса определяется категорией железнодорожного переезда и зависит от интенсивно-

сти движения автомобильного и железнодорожного транспорта. Отдельные шаги по модернизации железнодорожных переездных комплексов, включающие внедрение противотаранов, систем видеонаблюдения и передачи видеоизображения с переезда машинисту, носят точечный характер и не позволяют добиться значительного снижения количества инцидентов на железнодорожных переездах [4–9]. Важно изучать опыт других стран с развитой железнодорожной сетью и использовать его для организации безопасного движения на железнодорожных переездах России.

Материалы и методы исследования

Для оценки актуальности рассматриваемой проблемы необходимо выполнить анализ текущей ситуации с безопасностью на железнодорожных переездах в Российской Федерации и построить прогноз развития ситуации на ближайшее время. В качестве метода оценки текущей ситуации с обеспечением безопасности на железнодорожных переездах в России выбран элемент технического анализа в форме линии тренда. Линия тренда представляет собой геометрическое отображение средних значений анализируемых показателей, полученное с помощью математической функции. В качестве функции для линии тренда использовался полином шестой степени. Для прогноза динамики развития ситуации с обеспечением безопасности на железнодорожных переездах был выбран метод линейной регрессии. Исходными данными для анализа выступали статистические сведения по дорожно-транспортным про-

исшествиям (ДТП) на железнодорожных переездах в Российской Федерации за 2015–2020 гг. Для сравнения ситуации с обеспечением безопасности на железнодорожных переездах в России и других развитых странах использовались коэффициент удельной аварийности на переездах и коэффициент опасности железнодорожных переездов.

Результаты исследования и их обсуждение

Для анализа обеспечения безопасности на железнодорожных переездах в Российской Федерации необходимо проследить динамику количества случаев ДТП на переездах и выполнить прогноз развития ситуации на ближайшие годы. Также важно оценить место, которое занимает Россия, в вопросе обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах относительно других крупных и экономически развитых стран.

Задача прогнозирования заключается в вычислении будущих значений по существующим значениям. Предсказываемое значение Y , соответствующее заданному значению X . Значения X и Y известны. Новое значение предсказывается с использованием метода линейной регрессии.

Уравнение для функции прогноза P имеет вид:

$$P = a + bx,$$

где a равно:

$$a = \bar{y} - b\bar{x},$$

b равно:

$$b = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2},$$

\bar{x} – средние значения выборок известных значений x ; \bar{y} – средние значения выборок известные значений y .

Для прогнозирования необходимы данные о происшествиях на переездах за прошлые года. Количество случаев ДТП на переездах за год взято для периода 2011–2021 гг. Этот период наиболее полно отражает текущую ситуацию с безопасностью и техническим оснащением железнодорожных переездов в Российской Федерации. Результаты прогнозирования и диапазон значений для прогноза представлены в табл. 1.

На рис. 1 показано количество ДТП на железнодорожных переездах в России с 2011 по 2021 г. и прогноз динамики количества ДТП на

Таблица 1. Количество дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах в Российской Федерации по годам и прогноз динамики их количества на период до 2027 г.

Table 1. The number of accidents at level crossings in the Russian Federation by years and the forecast for the dynamics of the number of accidents for the period up to 2027

Год Year	Количество дорожно-транспортных происшествий Number of traffic accidents	Прогноз количества дорожно-транспортных происшествий Forecast for the number of accidents	Диапазон для прогноза Forecast range
2011	228	–	–
2012	256	–	–
2013	273	–	–
2014	263	–	–
2015	240	–	–
2016	211	–	–
2017	263	–	–
2018	259	–	–
2019	248	–	–
2020	204	–	–
2021	219	–	–
2022	–	225	2011–2021 гг.
2023	–	215	2012–2021 гг., 2022 г.
2024	–	209	2013–2021 гг., 2022–
2025	–	207	2014–2021 гг., 2022–
2026	–	205	2015–2021 гг., 2022–
2027	–	200	2016–2021 гг., 2022–

период до 2027 г. Видно, что в ближайшее время невозможно добиться существенного снижения количества ДТП на переездах. Так, за шесть лет прогнозируемое число ДТП (прогноз на 2027 г. – 200 случаев) сократится всего на 8,7 % относительно 2021 г. (219 случаев).

Для оценки динамики количества ДТП на железнодорожных переездах удобно использовать технический анализ. Для исследования выбран такой инструмент технического анализа, как линия тренда. Линия тренда представляет собой геометрическое отображение средних значений анализируемых показателей (в нашем случае суммарное количество ДТП на железнодорожных переездах в России за отдельный год), полученное с помощью определенной математической функции. В качестве линии тренда для нашего исследования целесообразно использовать полином (многочлен, степенная функция). Полиномиальные тренды применяются для описания значений временных рядов, попеременно возрастающих и убывающих. Полином подходит для анализа большого набора данных нестабильной величины (например, явлений, циклически меняющихся в течение года). Для построения линии тренда применяется полином от одной переменной (в нашем случае отдельный год, для которого оценивается количество ДТП). Степень полинома определяет количество экстремумов (пиков). Поскольку график динамики количества ДТП на железнодорожных переездах в Российской Федерации (см. рис. 1) имеет шесть точек экстремума

(2011, 2013, 2016, 2017, 2020, 2021 гг.) предлагается в качестве линии тренда выбрать полином шестой степени:

$$y(x) = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + fx^2 + gx + h,$$

где $y(x)$ – многочлен, описывающий линию тренда динамики значений ежегодных ДТП на железнодорожных переездах в России; x – год, в котором произошли ДТП; a – коэффициент шестой степени переменной x ; b – коэффициент пятой степени переменной x ; c – коэффициент четвертой степени переменной x ; d – коэффициент третьей степени переменной x ; f – коэффициент второй степени переменной x ; g – коэффициент переменной x ; h – нулевой коэффициент.

Для рассматриваемых данных о количестве ДТП на переездах в России за отдельные годы формула полинома будет иметь вид:

$$y(x) = 0,0331 \cdot x^6 - 1,1293 \cdot x^5 + 14,633 \cdot x^4 - 89,468 \cdot x^3 + 259,4 \cdot x^2 - 311,33 \cdot x + 355,91.$$

Линия тренда, построенная с помощью полинома шестой степени, показана на рис. 1 пунктирным обозначением. Данная линия точно описывает динамику количества ДТП на железнодорожных переездах в Российской Федерации по годам.

Полученный тренд совпадает с результатами прогноза. Он также показывает отсутствие устойчивой тенденции к снижению числа ДТП на железнодорожных переездах в России в период с 2011 по 2021 г. Например, после минимума 2016 г. (211 случаев) на следующий год наблюдается рост на 25 % (263 случая).

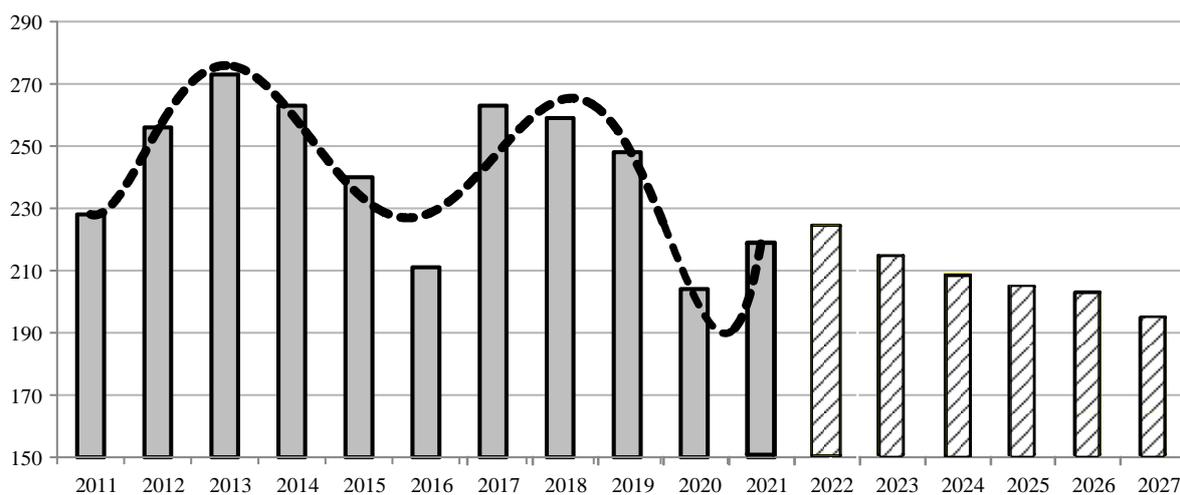


Рис. 1. Количество дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах в Российской Федерации по годам и прогноз динамики их количества на период до 2027 г.

Fig. 1. The number of accidents at level crossings in the Russian Federation by years and the forecast for the dynamics of the number of accidents for the period up to 2027

Для оценки обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах в Российской Федерации важно знать место по количеству ДТП на железнодорожных переездах, которое занимает Россия по сравнению с другими крупными и экономически развитыми странами мира. Для сравнения выбирались страны с развитой железнодорожной сетью, большим населением и автопарком, современной экономикой. В качестве стран рассматривались США, Италия, Германия, Франция, Бразилия, Индия, Англия, Украина, Турция и Европейский союз в целом. Такие страны, как Китай и Япония не попали в список в связи со сложностью иероглифического алфавита и поиска информации на нем. Необходимые пара-

метры, характеризующие выбранные страны и их транспортные системы на 2021 г., брались из открытых международных источников, а также на основании данных Википедии и научных исследований по данному вопросу [10–15]. В качестве параметров, характеризующих ситуацию с безопасностью движения на железнодорожных переездах отдельных стран, выбраны следующие данные:

- количество ДТП на железнодорожных переездах;
- число железнодорожных переездов;
- количество автомобилей;
- общая протяженность железных дорог в стране (табл. 2).

Существующая мировая оценка безопасно-

Таблица 2. Параметры для оценки безопасности железнодорожных переездов группы стран на 2021 г
Table 2. Parameters for assessing the safety of level crossings of a group of countries for 2021

Страна Country	Количество дорожно-транспортных происшествий на переездах Number of accidents at level crossings	Население, млн чел. Population, mln people	Коэффициент удельной аварийности на переездах Specific accident rate at crossings	Длина железных дорог, тыс. км Length of railways, thsnd km	Количество переездов Number of crossings	Количество автомобилей, млн Number of vehicles, mln	Коэффициент опасности переезда Crossing hazard ratio
США USA	2 148	337	63,7	250	212 000	275	3,7
Европейский союз EU	1 200	447	26,8	200	108 196	246	4,5
Италия Italy	9	59	1,5	16	4518	39	5,0
Германия Germany	140	84	16,7	39	22 201	48	13,0
Англия Gr. Britain	50	67	7,5	16	7 300	32	20,9
Бразилия Brazil	46	214	2,1	29	4 500	46	22,1
Франция France	121	65	18,6	27	10 500	38	29,8
Россия Russia	219	146	15,0	122	10 337	45	46,8
Индия India	1 788	1 422	12,6	70	31 846	74	75,4
Украина Ukraine	45	44	10,2	19	4 945	9	93,8
Турция Turkey	65	88	7,4	10	2 681	25	96,2
Среднее Значение Average	486	270	18,0	63	34 924	73	18,9

сти движения на железнодорожных переездах, использующая коэффициент удельной аварийности на железнодорожных переездах (количество ДТП на переездах на 100 тыс. населения), не всегда корректна. Например, количество единиц автомобильного транспорта на 100 тыс. населения может значительно отличаться в разных странах в зависимости от экономического развития и государственной политики. Также необходимо учитывать фактор развития транспортной инфраструктуры в отдельных странах.

Для сравнения стран между собой по безопасности движения на железнодорожных переездах предложен коэффициент опасности железнодорожных переездов (K). Поскольку общее количество автомобилей в стране влияет сильнее на аварийность на железнодорожных переездах, чем численность населения, будем использовать этот параметр при расчете K . Общая протяженность автомобильных и железных дорог также определяет аварийность на железнодорожных переездах, но намного точнее использовать количество железнодорожных переездов в стране, как величину, зависящую сразу от обоих этих параметров. Коэффициент опасности железнодорожных переездов (K) рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{D}{A \cdot N} \cdot 10^{11},$$

где D – общее количество ДТП на железнодорожных переездах в стране за 2021 г.; A – общее количество автомобилей в стране; N – количество железнодорожных переездов в стране.

Полученные значения коэффициента опасности железнодорожных переездов представлены в табл. 2. Страны в таблице расположены по возрастанию коэффициента опасности железнодорожных переездов. Таким образом, наиболее безопасная ситуация с движением на железнодорожных переездах наблюдается в США и в целом в Европейском союзе, наиболее опасная – в Турции и на Украине. Значения коэффициента опасности железнодорожных переездов в Турции и в США отличается в 26 раз, следовательно, существует значительная разница в транспортной инфраструктуре этих стран и в отношении к организации безопасного движения на железнодорожных переездах. График распределения стран по коэффициенту опасности железнодорожных переездов показан на рис. 2. Страны расположены по возрастанию коэффициента опасности слева направо.

Также на этом рисунке показаны значения коэффициента удельной аварийности на переездах рассматриваемых стран. Из графика видно, что распределение мест в общем списке между странами по значениям коэффициента опасности железнодорожных переездов и коэффициента удельной аварийности на железнодорожных переездах сильно различаются. Если сравнивать результаты с международными оценками, то видно, что коэффициент опасности железнодорожных переездов точнее показывает сложившуюся на сегодня ситуацию с аварийностью на переездах в рассматриваемых странах.

По значению коэффициента опасности железнодорожных переездов Российская Федерация занимает в общем списке четвертое место. Причем значение коэффициента K (46,81) для России выше среднего значения коэффициента K (18,92) для всей группы рассматриваемых стран в 2,5 раза. Следовательно, в России существует потенциал для совершенствования системы организации движения на железнодорожных переездах, разработки технических и организационных мероприятий, внедрения новых комплексов обеспечения безопасности на переездах, проведения воспитательных и дисциплинарных мероприятий с водителями автомобильного транспорта. Также для улучшения текущей ситуации с безопасностью движения на железнодорожных переездах в Российской Федерации необходимо изучать опыт США и Европейского союза [16–22].

Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Повышение безопасности движения на железнодорожных переездах является важной задачей. Железнодорожные переезды представляют собой один из наиболее уязвимых элементов современной транспортной системы.

2. Для анализа безопасности движения на переездах в Российской Федерации необходимо оценить динамику количества ДТП на железнодорожных переездах за последние годы и спрогнозировать развитие ситуации на ближайшие годы.

3. Прогнозирование методом линейной регрессии суммарного количества ДТП за год в Российской Федерации на период с 2022 по 2027 г. показало, что значительного снижения их количества маловероятно.

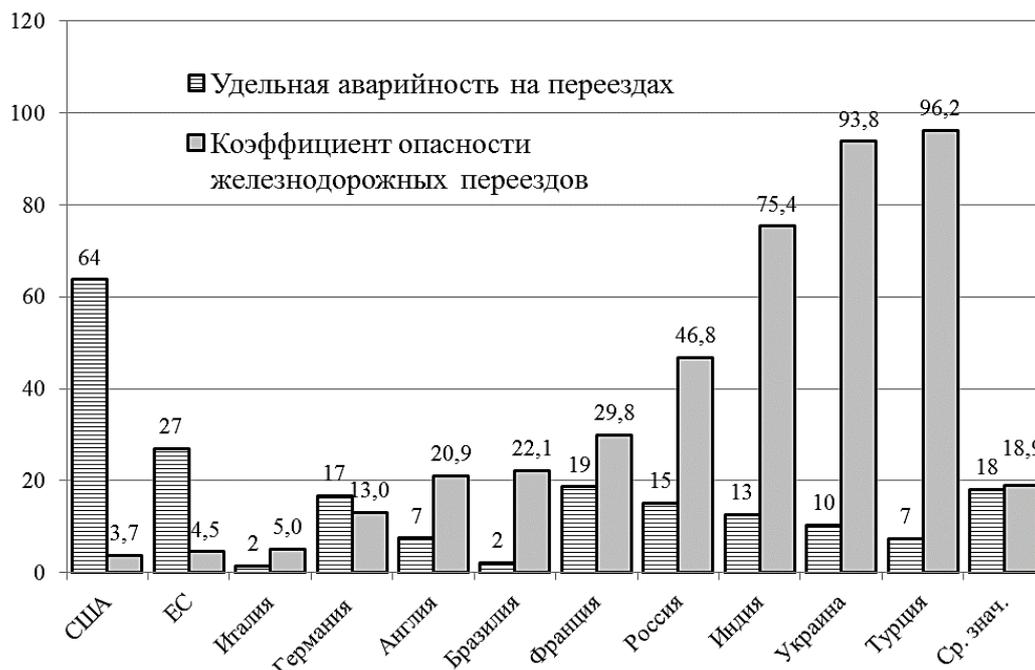


Рис. 2. График распределения стран по коэффициенту опасности железнодорожных переездов
Fig. 2. Distribution graph of countries according to the level crossings risk factor

4. Для оценки состояния безопасности движения на переездах в Российской Федерации важно сравнить рассматриваемую ситуацию с другими крупными и экономически развитыми странами: США, Италия, Германия, Франция, Бразилия, Индия, Англия, Украина, Турция и в целом Европейский союз.

5. В качестве показателя для сравнения стран между собой по безопасности движения на железнодорожных переездах использован коэффициент опасности железнодорожных переездов вместо коэффициента удельной аварийности железнодорожных переездов (отношение количества ДТП на железнодорожных переездах на 100 тыс. населения).

6. Сравнение между собой рассматриваемой

мой группы стран по коэффициенту опасности железнодорожных переездов показало, что Российская Федерация занимает четвертое место, опережая только Турцию, Украину и Индию. Значение коэффициента опасности железнодорожных переездов для России (46,7) выше среднего значения этого коэффициента для группы рассматриваемых стран (18,9) в 2,5 раза.

7. Результаты проведенного исследования показывают, что в России существует потенциал для повышения безопасности движения на железнодорожных переездах. Для улучшения текущей ситуации, связанной с безопасностью движения на железнодорожных переездах, России необходимо изучать опыт США и Европейского союза.

Список литературы

1. Сапожников В.В., Кокурин И.М., Кононов В.А. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики. М.: Маршрут, 2006. 247 с.
2. Лисенков В.М., Бестемьянов П.Ф., Леушин В.Б. Системы управления движением поездов на перегонах. Ч. 1. Функциональные схемы систем. М.: УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2009. 159 с.
3. Устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи Ч. 1. / Д.В. Шалягин, Н.А. Цыбуля, С.С. Косенко и др. М.: Маршрут, 2006. 587 с.
4. Ахмедзянов Г.Г., Дремин В.В. Исследование факторов, влияющих на работу железнодорожного переезда // Известия Транссиба. 2021. № 3. С. 130–138.
5. Баранов А.М., Литвинов А.В., Зубарев А.Н. Повышение безопасности дорожного движения на нерегулируемых железнодорожных переездах // Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 6 (21). С. 120–125.
6. Демьянов В.В., Имарова О.Б., Скоробогатов М.Э. Состояние проблемы и методы обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2018. Т. 22. № 4 (135). С. 215–230.
7. Система оповещения о свободности железнодорожных переездов / М.Г. Комогорцев, Е.В. Непомнящих, Я.В. Клочков и др. // Путь и путевое хозяйство. 2016. № 6. С. 26–28.

8. Лысенко Н.Н., Державин А.Н. Схема переезда с интенсивным движением автомашин // Мир транспорта. 2017. Т. 15. № 3 (70). С. 188–195.
9. The crash at Kerang: Investigating systemic and psychological factors leading to unintentional noncompliance at rail level crossings / P.M. Salmon, G.J.M. Read, N.A. Stanton et al. // Accident Analysis & Prevention. 2013. Vol. 50. Pp. 1278–1288.
10. Системы автоматизации и телемеханики на железных дорогах мира / Э. Андерс, Т. Берндт, И.Д. Долгий и др. М. : Интекст, 2010. 488 с.
11. Macioszek E., Kurek A., Kowalski B. Overview of safety at rail-road crossing in Poland in 2008-2018 // Transport problems. 2020, Vol. 15 (4). Part 1. Pp. 57–68.
12. Foreign objects intrusion detection using millimeter wave radar on railway crossings / C. Huiling, L. Fei, G. Dianzhu et al. // IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). Toronto, 2020. Pp. 2776–2781.
13. A Radio Based Intelligent Railway Grade Crossing System to Avoid Collision / S.M. Sheikh, Md.H. Mahbub, J.R. Khondker et al. // International Journal of Computer Science Issues. 2010. Vol. 7(6). Pp. 139–143.
14. Larue G.S., Naweed A., Rodwell D. The road user, the pedestrian, and me: Investigating the interactions, errors and escalating risks of users of fully protected level crossings // Safety Science. 2018. Vol. 110. Part B. Pp. 80–88.
15. Wireless Barrage on the Railway Crossing / M. Tomis, M. Dvorský, V. Stýskala // 38th International Conference on Telecommunications and Signal Processing. Prague, 2015. Pp. 129–133.
16. Комплексный учет параметров объектов инфраструктуры железной дороги, железнодорожного подвижного состава и автомобильного транспорта для обеспечения безопасности движения на переездах / Д.В. Ефанов, Г.В. Осадчий, Д.Г. Плотицкий и др. // Автоматика на транспорте. 2018. № 2. С. 167–194.
17. Хорошев В.В., Ефанов Д.В., Осадчий Г.В. Концепция полносвязного мониторинга инфраструктуры переездов // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 1 (74). С. 47–52.
18. Костаев А.В., Штенгель Ю.Ю. Неохраняемый переезд – зона внедрения современных технологий // Наука и образование транспорту. 2016. Т. 1. С. 214–216.
19. Baron W., Da Silva M. Effects of in-pavement lights on driver compliance with grade crossing safety equipment. Washington : U.S. Department of Transportation, 2019. 30 p.
20. Evans A.W. Fatal accidents at railway level crossings in Great Britain 1946–2009 // Accident Analysis & Prevention. 2011. Vol. 43 (5). Pp. 1837–1845.
21. Evans A.W. Fatal train accidents on Europe’s railways: 1980–2009 // Accident Analysis & Prevention. 2011. Vol. 43 (1). Pp. 391–401.
22. Ghazel M., El-Koursi E.-M. Two-half-barrier level crossings versus four-half-barrier level crossings: a comparative risk analysis study // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2014. Vol. 15 (3). Pp. 1123–1133.

References

1. Sapozhnikov V.V., Kokurin I.M., Kononov V.A. Eksploatatsionnye osnovy avtomatiki i telemekhaniki [Basics of Railway Signaling and Interlocking]. Moscow: Marshrut Publ., 2006. 247 p.
2. Lisenkov. V.M., Bestem’yanov P.F., Leushin V.B. Sistemy upravleniya dvizheniem poyezdov na peregonakh. Chast 1. Funktsional’nye skhemy sistem [Control systems for the railway interlocking. Part 1. Functional schemes of systems]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2009. 159 p.
3. Shalyagin D.V., Tsybulya N.A., Kosenko S.S., Volkov A.A., Borovkov Yu.G., Gorelik A.V., Tanygin Yu.I., Bestem’yanov P.F., Zenkovich Yu.I., Minakov E.Yu.. Ustroistva zheleznodorozhnoi avtomatiki, telemekhaniki i svyazi. Chast’ 1. [Railway signaling, interlocking and communication devices. Part 1]. Moscow: Marshrut Publ., 2006. 587 p.
4. Akhmedzyanov G.G., Dremin V.V. Issledovanie faktorov. vliyayushchikh na rabotu zheleznodorozhnogo pereyezda [Analysis of the factors affecting the operation of a level crossing]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletins of Transsib], 2021, no. 3 (47), pp. 130–138.
5. Baranov A.M., Litvinov A.V., Zubarev A.N. Povysheniye bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na nereguliruyemykh zheleznodorozhnykh pereyezdakh [Improving the road safety at unregulated level crossings]. *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii* [Modern materials, equipment and technologies], 2018, no. 6 (21), pp. 120–125.
6. Dem’yanov V.V., Imarova O.B., Skorobogatov M.E. Sostoyaniye problemy i metody obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnykh pereyezdakh [State of the problem and methods of ensuring traffic safety at railway crossings]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University], 2018, vol. 22, no. 4 (135), pp. 215–230.
7. Komogortsev M.G., Nepomnyashchikh E.V., Klochkov Ya.V., Maryuhnenko V.S., Kirpichnikov K.A. Sistema opoveshcheniya o svobodnosti zheleznodorozhnykh pereezdov [Railroad Clearance Warning System]. *Put’ i putevoe hozyajstvo* [Track and track facilities], 2016, no. 6, pp. 26–28.
8. Lysenko N.N., Derzhavin A.N. Skhema pereezda s intensivnym dvizheniem avtomashin [Crossing with heavy traffic]. *Mir transporta* [World of transport], 2017, vol. 15, no. 3 (70), pp. 188–195.
9. Salmon P.M., Read G.J.M., Stanton N.A., Lenn’e, M.G. The crash at Kerang: Investigating systemic and psychological factors leading to unintentional noncompliance at rail level crossings. *Accident Analysis & Prevention*, 2013, vol. 50, pp. 1278–1288.
10. Anders E., Berndt T., Dolgii I.D. et al. Sistemy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznykh dorogakh mira [Automation and telemechanics systems on the railways of the world]. Moscow: Intekst Publ., 2010. 488 p.
11. Macioszek E., Kurek A., Kowalski B. Overview of safety at rail-road crossing in Poland in 2008-2018. *Transport problems*, 2020, vol. 15 (4), part 1, pp. 57–68.

12. Huiling C., Fei L., Dianzhu G., Yingze Y., Shuo L., Kai G., Aina Q., Chao H., Zhiwu H. Foreign objects intrusion detection using millimeter wave radar on railway crossings. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. Toronto, 2020, pp. 2776–2781.
13. Sheikh S.M., Md. Mahbub H., Khondker J.R., Gazi M.R. A Radio Based Intelligent Railway Grade Crossing System to Avoid Collision. *International Journal of Computer Science Issues*, 2010, vol. 7 (6), pp. 139–143.
14. Larue G.S., Naweed A., Rodwell D. The road user, the pedestrian, and me: Investigating the interactions, errors and escalating risks of users of fully protected level crossings. *Safety Science*, 2018, vol. 110, part B, pp. 80–88.
15. Tomis M., Dvorský M., Stýskala V., Soral T., Krenzelok T., Michalek L. Wireless Barrage on the Railway Crossing. *38th International Conference on Telecommunications and Signal Processing*. Prague, 2015, pp. 129–133.
16. Efanov D.V., Osadchii G.V., Plotnikov D.G., Khoroshev V.V. Kompleksnyi uchet parametrov ob'ektov infrastruktury zheleznoi dorogi. zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava i avtomobil'nogo transporta dlya obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na pereyездakh [Comprehensive accounting of the parameters of railway infrastructure facilities, railway rolling stock and road transport to ensure traffic safety at level crossings]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation], 2018, no. 2 (4), pp. 167–194.
17. Khoroshev V.V., Efanov D.V., Osadchii G.V. Kontseptsiya polnosvyaznogo monitoringa infrastruktury pereyездov [The concept of fully connected monitoring of level crossings]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2018, no. 1 (47), pp. 47–52.
18. Kostaev A.V., Shtengel' Yu.Yu. Neokhranyaemy pereyезд – zona vnedreniya sovremennykh tekhnologii [Unguarded crossing is a zone for the introduction of modern technologies]. *Nauka i obrazovanie transportu* [Science and education for transport], 2016, vol. 1, pp. 214–216.
19. Baron W., Da Silva M. Effects of in-pavement lights on driver compliance with grade crossing safety equipment. Washington: U.S. Department of Transportation, 2019. 30 p.
20. Evans A.W. Fatal accidents at railway level crossings in Great Britain 1946–2009. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, vol. 43 (5), pp. 1837–1845.
21. Evans A.W. Fatal train accidents on Europe's railways: 1980–2009. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, vol. 43 (1), pp. 391–401.
22. Ghazel M., El-Koursi E.-M. Two-half-barrier level crossings versus four-half-barrier level crossings: a comparative risk analysis study. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2014, vol. 15 (3), pp. 1123–1133.

Информация об авторах

Ахмедзянов Гаяз Гумарович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и телемеханики, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: 1zzzz1omsk@gmail.com.

Галеев Альберт Дамирович, старший преподаватель кафедры автоматизации и телемеханики, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: hakkicrew@gmail.com.

Ключников Максим Владимирович, инженер кафедры автоматизации и телемеханики, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: max.6855@yandex.ru.

Литвинов Артём Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры деятельности органов внутренних дел в особых условиях, Омская академия Министерства внутренних дел России, г. Омск; e-mail: artyom_hawk@mail.ru.

Information about the authors

Gayaz G. Akhmedzyanov, Ph. D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and telemechanics, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: 1zzzz1omsk@gmail.com.

Al'bert D. Galeev, Assistant Professor of the Department of Automation and telemechanics, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: hakkicrew@gmail.com.

Maksim V. Klyuchnikov, Engineer of the Department of Automation and telemechanics, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: max.6855@yandex.ru.

Artem V. Litvinov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Internal Affairs in special conditions, Omsk Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Omsk; e-mail: artyom_hawk@mail.ru.