

Регрессионные модели для автоматизированного расчета показателей травматизма на железнодорожных переездах России и Иркутской области

В. С. Асламова¹✉, Ю. Б. Старовойтова¹, А. А. Асламов², Е. А. Асламова³

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

² Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

³ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

✉ aslamovav@yandex.ru

Резюме

В статье проанализированы причины дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах России и Иркутской области: 86 % дорожно-транспортных происшествий реализуется вследствие проезда водителями красных сигналов светофоров, 12 % – из-за объезда водителями автотранспорта закрытых шлагбаумов. Рассмотрены способы обеспечения безопасности движения на переездах в России и за рубежом. Разработана концептуальная карта железнодорожного переезда с указанием связей функциональных элементов и подсистем его технического оснащения. Выполнена обработка статистических данных о показателях дорожно-транспортных происшествий Госавтоинспекции за 2015–2020 гг. с применением «Statgraphics Plus» и найдены регрессионные модели численности дорожно-транспортных происшествий на переездах России и Иркутской области, численности погибших, раненых и суммарного количества травмированных на переездах. Численность раненых в дорожно-транспортных происшествиях на переездах достаточно точно описываются: для Иркутской области параболической моделью (коэффициент детерминации 99,48 %), для России полиномиальной моделью (коэффициент детерминации 95,56 %). Полученные модели можно использовать для автоматизации расчета показателей травматизма на железнодорожных переездах. Выявлено, что тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий (число смертей, приходящихся на 100 раненых и погибших) в Иркутской области в 2019 и 2020 гг. превышает российский показатель соответственно в 1,86 и 1,2 раза. Выполнен сравнительный анализ показателей травматизма в дорожно-транспортных происшествиях за 2019 и 2020 гг. Обнаружено, что показатели дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах неуклонно снижаются. Существенное уменьшение всех показателей в 2020 г., по-видимому, обусловлено значительным снижением интенсивности автотранспортных потоков в связи с пандемией.

Ключевые слова

железнодорожный переезд, безопасность дорожного движения, концептуальная карта предметной области, дорожно-транспортное происшествие, тяжесть последствий, модель регрессии

Для цитирования

Асламова В. С. Регрессионные модели для автоматизированного расчета показателей травматизма на железнодорожных переездах России и Иркутской области / В. С. Асламова, Ю. Б. Старовойтова, А. А. Асламов, Е. А. Асламова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 111–120. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).111-120

Информация о статье

поступила в редакцию: 10.09.2021, поступила после рецензирования: 20.09.2021, принята к публикации: 08.10.2021

Regression models for automated calculation of injury indicators on railway crossings in Russia and Irkutsk region

V. S. Aslamova¹✉, Yu. B. Starovoitova¹, A. A. Aslamov², E. A. Aslamova³

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

² Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

³ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, the Russian Federation

✉ aslamovav@yandex.ru

Abstract

The article analyzes the causes of road traffic accidents at railway crossings in Russia and the Irkutsk region: 86 % of road accidents occur as a result of drivers passing red traffic lights, 12 % – due to drivers driving around closed barriers. Methods of ensuring traffic safety at crossings in Russia and abroad are considered. A conceptual map of a railway crossing with an indication of the connections of functional elements and subsystems of its technical equipment has been developed. The pro-

cessing of statistical data on the indicators of road traffic accidents of the State Traffic Inspectorate for the period 2015–2020 has been carried out using Statgraphics Plus in the environment and regression models were found of the number of road traffic accidents at crossings in Russia and the Irkutsk region, as well as the number of deaths, the wounded and the total number of the injured at crossings. The number of the injured in road accidents at level crossings is described quite accurately: by the parabolic model for the Irkutsk region (determination coefficient 99,48 %) and by the polynomial model for Russia (determination coefficient 95,56 %). The resulting models can be used to automate the calculation of injury rates at level crossings. It was revealed that the severity of the road accidents consequences (the number of deaths per 100 injured and dead) in the Irkutsk region in 2019 and 2020 is 1.86 and 1.2 times higher, respectively, than the Russian indicator. A comparative analysis of injury indicators in road accidents for 2019 and 2020 has been carried out. It was found that the accident rates at the railway crossings are steadily decreasing. A significant decrease in all indicators in 2020, apparently, results from a significant decrease in the intensity of traffic flows due to the pandemic.

Keywords

level crossing, road safety, conceptual domain map, road accident, severity of consequences, regression model

For citation

Aslamova V. S., Starovoitova Yu. B., Aslamov A. A., Aslamova E. A. Regressionnyye modeli dlya avtomatizirovannogo rascheta pokazatelej travmatizma na zheleznodorozhnykh pereezdakh Rossii i Irkutskoj oblasti [Regression models for automated calculation of injury indicators on railway crossings in Russia and Irkutsk region]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 3 (71), pp. 110–120. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).110-120

Article info

Received: 10.09.2021, Revised: 20.09.2021, Accepted: 08.10.2021

Введение

Актуальность проблемы обеспечения безопасности движения (ОБД) на железнодорожных переездах (ЖДП) диктуется важностью железнодорожной транспортной отрасли для жизнеобеспечения российской экономики, функциональностью перевозок, повышенной опасностью ЖДП, приводящей к существенным показателям травматизма, невысокой эффективностью работы автоматической переездной сигнализации, устройств заграждения ЖДП, профилактических мероприятий и статистическими данными о дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) [1].

С позиции ОБД наиболее уязвимыми зонами железнодорожной инфраструктуры являются ЖДП [2, 3]. Острее проблема ОБД на ЖДП чувствуется в странах Европейского союза: именно на ЖДП происходит 25 % всех ДТП [2]. Например, в Бельгии, площадью 30,5 тыс. кв. км, функционирует более 1,5 тыс. переездов, в Иркутской области (ИО) всего 246 ЖДП, при этом площадь ИО в 26,13 раз превышает площадь Бельгии.

В России имеется около 11 тыс. ЖДП, и только на 2 300 ЖДП установлены устройства заграждения [4].

Согласно данным отделения дорожного надзора УГИБДД ГУ МВД РФ в ИО 137 ЖДП относятся к Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД), 22 из них охраняются, 13 имеют федеральное значение. Остальные 109 ЖДП находятся на балансе у других хозяйствующих субъектов [5].

В табл. 1 представлены показатели ДТП на ЖДП [6].

Таблица 1. Показатели дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах

Table 1. Indicators of road traffic accidents at the level crossing

Показатель	Россия			Иркутская область		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Число ДТП	255	221	216	9	10	5
Погибло, чел.	78	50	48	0	3	1
Ранено, чел.	321	289	245	11	8	4
Тяжесть последствий	19,5	14,7	16,4	0	27,3	20

Видно, что тяжесть последствий – число смертей, приходящихся на 100 травмированных (раненых и погибших) в ДТП, в ИО в 2019 и 2020 гг. превысило российский показатель соответственно в 1,86 и 1,2 раза.

Целью работы являются обнаружение значимых причин ДТП на основе концептуальной карты ЖДП и системного анализа причин ДТП, разработка прогнозных моделей показателей ДТП с использованием регрессионного анализа, обзор новых способов повышения безопасности ЖДП.

Прогнозные модели показателей дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах

Данные статистики [6] за $g = 2015–2020$ гг. обрабатывались в пакете «Statgraphics Plus». Используются следующие критерии достоверности модели: коэффициента детерминации (R^2 , %), показывающий процент данных, аппроксимируемых полученной моделью; скорректированный коэффициент детерминации ($R^2_{\text{с}}$, %), оценивающий тесноту связи между независимой и зависимой переменными

ми; критерий Дарбина – Уотсона (DW), устанавливающий отсутствие автокорреляции в данных; среднеквадратическая σ и абсолютная Δ ошибки. За базовый был принят 2015 г.

На рис. 1 представлена динамика численности ДТП dtj_p на ЖДП РФ, описываемая моделью регрессии (1). Точки на рис. 1 – статистические данные, кривая – регрессия (1). Критерии достоверности регрессии (1) указаны в табл. 2.

$$dtj_p = 273,4 - 17,6(g - 2015)^{0,5} - 0,08(g - 2015)^{3,5} \quad (1)$$

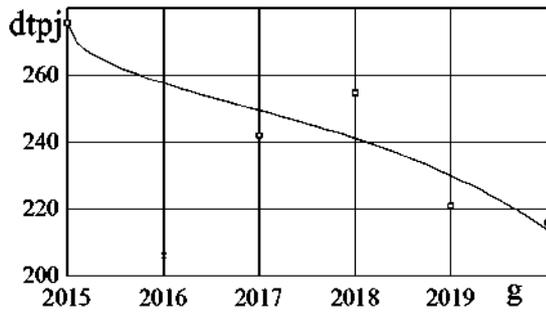


Рис. 1. Динамика численности дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах
Fig. 1. Dynamics of the number of accidents at level crossings

Из рис. 1 видно, что численность ДТП на ЖДП неуклонно снижается. Об адекватности модели можно судить по рис. 2, на котором представлено сопоставление статистических данных dtj_c со значениями dtj_p , рассчитанными по модели (1).

На рис. 3 представлена динамика численности погибших в ДТП dtj_c на ЖДП РФ, описываемая моделью регрессии (2):

$$dtj_c = 92,2 + 2,4(g - 2015) - 2,5(g - 2015)^2 \quad (2)$$

Критерии достоверности регрессии (2) даны в табл. 2.

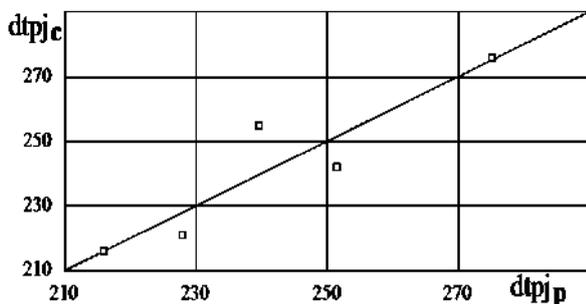


Рис. 2. Сопоставление статистических данных dtj_c со значениями dtj_p , рассчитанными по модели (1)
Fig. 2. Comparison of statistical data dtj_c with dtj_p values calculated by model (1)

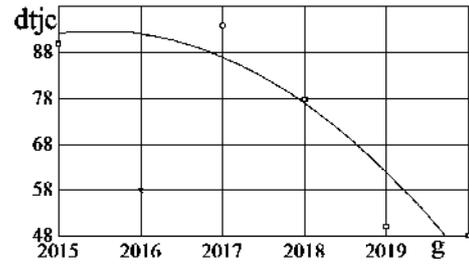


Рис. 3. Динамика численности погибших в дорожно-транспортных происшествиях на железнодорожных переездах
Fig. 3. Dynamics of the number of deaths in road accidents at level crossings

Из рис. 3 видно, что численность погибших на ЖДП снижается, но все же остается значительной. Об адекватности модели можно судить по рис. 4, на котором представлено сопоставление статистических данных dtj_c со значениями dtj_p , рассчитанными по модели (2).

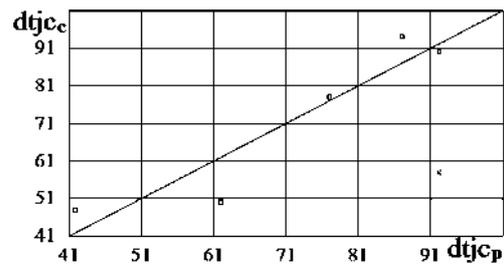


Рис. 4. Сопоставление статистических данных dtj_c со значениями dtj_p , рассчитанными по модели (2)
Fig. 4. Comparison of statistical data dtj_c with dtj_p values calculated by model (2)

На рис. 5 представлена динамика численности раненых в ДТП dtj_p на ЖДП РФ, описываемая моделью регрессии (3):

$$dtj_p = 366,3 - 16,1(g - 2015) - 0,13(g - 2015)^{3,5} \quad (3)$$

Критерии достоверности регрессии даны в табл. 2.

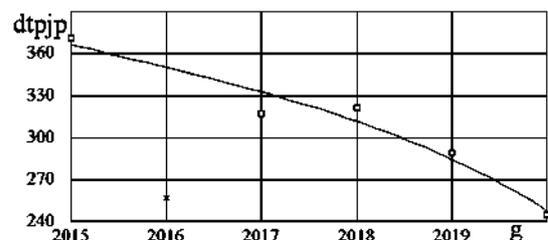


Рис. 5. Динамика раненых в дорожно-транспортных происшествиях на железнодорожных переездах России
Fig. 5. Dynamics of casualties in road accidents at railway crossings in Russia

Об адекватности модели можно судить по рис. 6, на котором представлено сопоставление статистических данных $dtjpc$ со значениями $dtjpp$, рассчитанными по модели (3).

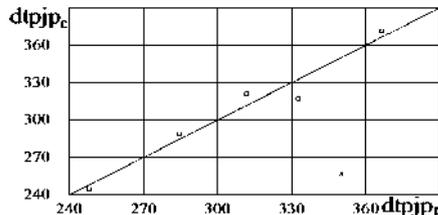


Рис. 6. Сопоставление статистических данных $dtjpc$ со значениями $dtjpp$, рассчитанными по модели (3)

Fig. 6. Comparison of statistical data $dtjpc$ with $dtjpp$ values calculated by model (3)

На рис. 7 представлена динамика численности ДТП dtj на ЖДП ИО, описываемая моделью регрессии (4):

$$dtj = 5,9 + 3,5(g - 2015) - 0,7(g - 2015)^2. \quad (4)$$

Критерии достоверности регрессии (1) указаны в табл. 2.

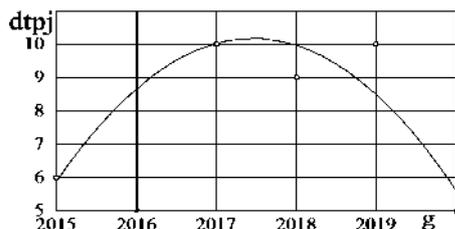


Рис. 7. Динамика численности дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах Иркутской области

Fig. 7. Dynamics of the number of accidents at railway crossings of the Irkutsk region

Об адекватности модели можно судить по рис. 8, на котором представлено сопоставление статистических данных $dtjpc$ со значениями $dtjpp$, рассчитанными по модели (4).

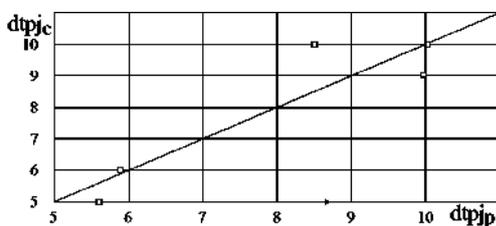


Рис. 8. Сопоставление статистических данных $dtjpc$ со значениями $dtjpp$, рассчитанными по модели (4)

Fig. 8. Comparison of statistical data $dtjpc$ with $dtjpp$ values calculated by model (4)

На рис. 9 представлена динамика раненых в ДТП $dtjpp$ на ЖДП ИО, описываемая моделью ре-

грессии (5):

$$dtjpp = 5,0 + 5,13(g - 2015) - 1,07(g - 2015)^2. \quad (5)$$

Критерии достоверности регрессии даны в табл. 2.

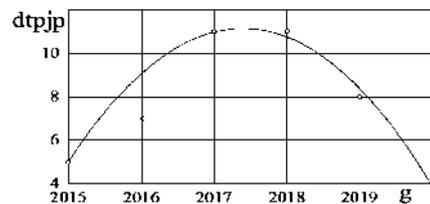


Рис. 9. Динамика раненых в дорожно-транспортных происшествиях на железнодорожных переездах Иркутской области

Fig. 9. Dynamics of the injured in road accidents at railway crossings of the Irkutsk region

Об адекватности модели можно судить по рис. 10, на котором представлено сопоставление статистических данных $dtjpc$ со значениями $dtjpp$, рассчитанными по модели (5).

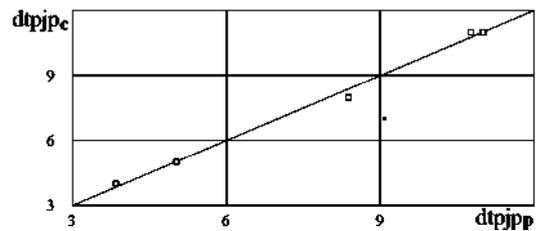


Рис. 10. Сопоставление статистических данных $dtjpc$ со значениями $dtjpp$, рассчитанными по модели (5)

Fig. 10. Comparison of statistical data $dtjpc$ with $dtjpp$ values calculated by model (5)

Из рис. 10 видно, что модель достаточно точно (99,5 %) описывает статистические данные.

На рис. 11 представлена динамика численности травмированных Sj (раненых и погибших в ДТП) на ЖДП ИО, описываемая моделью регрессии (6):

$$Sj = 6,4 + 4,5(g - 2015) - 0,9(g - 2015)^2. \quad (6)$$

Критерии достоверности регрессии (6) указаны в табл. 2.

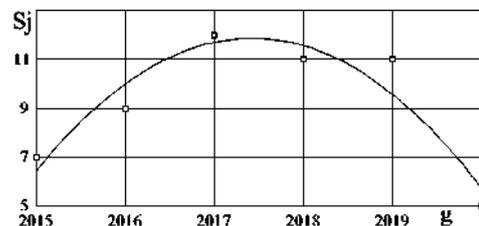


Рис. 11. Динамика раненых и погибших на железнодорожных переездах Иркутской области

Fig. 11. Dynamics of the wounded and dead at railway crossings of the Irkutsk region

Об адекватности модели можно судить по рис. 12, на котором представлено сопоставление статистических данных S_{jc} со значениями S_{jp} , рассчитанными по модели (6).

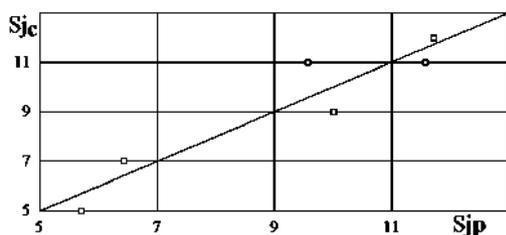


Рис. 12. Сопоставление статистических данных S_{jc} со значениями S_{jp} , рассчитанными по модели (6)

Fig. 12. Comparison of the statistical data S_{jc} with the values of S_{jp} calculated by the model (b)

Таблица 2. Критерии адекватности регрессионных моделей

Table 2. Adequacy criteria for regression models

Номер модели	$R^2, \%$	$R^2_c, \%$	DW	σ	Δ
(1)	86,28	72,57	1,92	12,94	14,14
(2)	87,71	75,43	2,13	10,82	10,39
(3)	95,56	91,11	1,80	13,78	21,68
(4)	83,72	67,44	2,28	1,34	1,15
(5)	99,48	98,95	2,04	0,33	0,48
(6)	88,36	80,61	3,14	1,19	0,76

В табл. 3 приведены результаты сравнительного анализа показателей ДТП на ЖДП. Из табл. 3 видно незначительное снижение численности ДТП (–2,3 %) на ЖДП РФ по сравнению с предыдущим 2019 г. В ИО численность раненых и ДТП снизились на 50 %, что можно объяснить уменьшением интенсивности дорожного движения.

Концептуальная карта железнодорожного переезда

ЖДП представляет собой сложную и чрезвычайно опасную для человека техническую систему [2–4, 7, 8]. К элементам системы относятся автодороги, транспортные средства, участники дорожного движения, вид пользования, категория и участок приближения к ЖДП, технические подсистемы автоматической переездной сигнализации (АПС) и устройства заграждения переезда (УЗП), ДТП, а также окружающая среда [2, 8].

Концептуальная карта (КК) представляет собой

формализованное описание знаний, которое в дальнейшем может быть обработано компьютером. КК, основанные на идее формирования понятийного мышления Д. Асубеля, впервые были использованы в 70-х гг. XX в. ученым-исследователем Дж. Новаком [9]. КК содержит понятия (концепты) предметной области (ПрО) и линии – взаимосвязи между ними. На линиях указаны типы связи между концептами. Перекрестные связи иллюстрируют отношения между концептами, расположенными в различных частях КК.

КК используются широко при разработке баз знаний, в химии, биологии, обучающих системах, научных исследованиях, при поиске информации [9, 10–12]. При использовании КК как средства структурирования знаний реализуются системный подход к изучению ПрО, единообразие представления материала, научность, позволяющая повысить валидность результатов исследования [13]. Для описания ПрО ЖДП в виде КК использован пакет «Смар Tools» [12].

В разработанной КК (рис. 13) используются:

– атрибутивные отношения («характеризует» и «имеет») – означающие иметь значение или свойство;

– каузативное отношение («влияет») – устанавливающее соответствие между причиной и следствием;

– отношение «включает», устанавливающее принадлежность элемента классу [11].

Для повышения наглядности на рис. 13 введено сокращение РКП – резинокордовое покрытие, АТС – автотранспортное средство.

Как видно (см. рис. 13), отказ любого технического устройства ЖДП может привести к реализации ДТП.

Актуальность применения системного подхода к анализу КК способствует рассмотрению организации безопасности дорожного движения (БДД) как системы, которая состоит из совокупности функциональных элементов, обеспечивающих достижение цели при имеющихся ресурсах и связях с внешней средой [2]. Понимание структуры ПрО способствует уяснению места и роли компонентов системы, их важности, взаимосвязи и влиянии друг на друга, вклады одних компонент в функционирование остальных и т. д. [14].

Такой подход позволяет диагностировать причины ДТП, устанавливать их взаимосвязи и взаимовлияние с предлагаемыми решениями по ОБД

Таблица 3. Анализ показателей дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах

Table 3. Comparative analysis of indicators of road traffic accidents

2020 г.	Число дорожно-транспортных происшествий	Аналогичный период прошлого года, %	Погибло	Аналогичный период прошлого года, %	Ранено	Аналогичный период прошлого года, %
Россия	216	–2,26	48	–4	245	–15,22
Иркутская область	5	–50	1	–66,7	4	–50

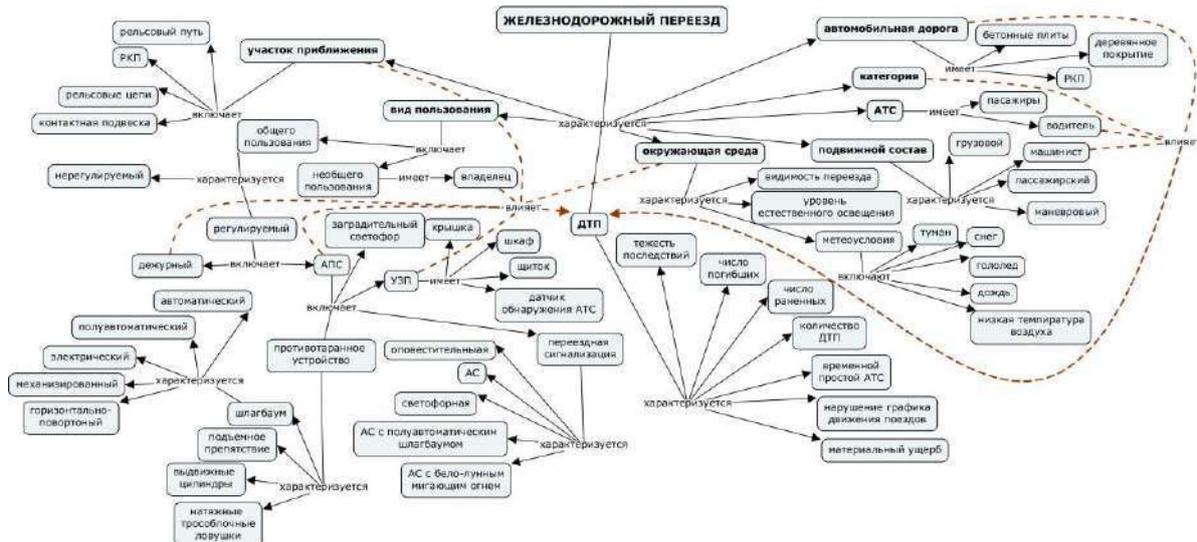


Рис. 13. Концептуальная карта железнодорожного переезда

Fig. 13. Concept map of a railway crossing

ЖДП, ранжировать методы повышения безопасности переезда, учитывать влияние окружающей среды на БДД.

Способы повышения безопасности железнодорожных переездов

В полной мере проблема обеспечения безопасности движения через ЖДП не решена ни за рубежом, ни в России [2, 16, 17].

Анализ причин реализации ДТП на ЖДП РФ показывает, что 86 % ДТП происходит вследствие проезда водителями красных сигналов светофоров, 12 % – из-за объезда водителями автотранспорта закрытых шлагбаумов [16]. Авторы [18, 19] уверяют, что главные причины ДТП на ЖДП – невнимательность и недисциплинированность водителей АТС, нарушение ими ПДД, что подтверждается данными с комплексов автоматической фото- и видеофиксации: за 2019 г. в РФ выявлено почти 106 млн нарушений ПДД [20].

Следует также отметить, что только 64 % ЖДП РФ имеют автоматические шлагбаумы и АПС, на 90 % ЖДП есть электрическое освещение, 47 % оснащены железобетонным настилом, 8,5 % оборудованы УЗП. Дежурный работник снабжен радиосвязью только с дежурным по станции и машинистом локомотива [17].

Из-за неудовлетворительного содержания ЖДП (отсутствие звуковой и светофорной сигнализации, работающего освещения, нормативной видимости приближающего состава, просадка и ямы между железнодорожными путями), фактическая скорость движения через переезд автотранспорта составляет 10 км/ч, что служит раздражающим фактором для водителей АТС и провоцирует их к нарушению ПДД [17].

В работе [15] предложено повысить безопасность движения на неохраняемых и необслуживаемых ЖДП за счет автоматического снижения скорости железнодорожного состава с использованием средств спутниковой радионавигационной системы. Авторы [21] предложили систему контроля состояния ЖДП на основе использования спутниковых технологий ГЛОНАСС/GPS.

Оптимизации движения на ЖДП можно добиться путем интеграции данных железнодорожных систем управления и организации движения, телемеханики и автоматики в мобильные навигационные системы и построение маршрутов движения АТС с учетом прогноза времени открытия и закрытия ЖДП [23, 24].

Некоторые считают, что строительство развязок железнодорожного и автомобильного транспорта на разных уровнях или тоннелей позволит решить актуальную проблему ОБД ЖДП. Так, в работе [24] предложена организация движения АТС на ЖДП с использованием грузовых лифтов и надземных путей-проводов.

Разработан резинобетонный настил (патент РФ № 2297488) для ЖДП, прошедший полигонные испытания, выдерживающий нагрузки от АТС до 45 т/ось (РКП выдерживает нагрузку до 12 т/ось) и монтируемый на междушпальный балласт, что разгружает рельсошпальную решетку [25].

В [26] предлагается оснастить ЖДП электронно-информационным табло, информирующим заранее о закрытии ЖДП, что позволит водителям выбрать объездной путь. Другой способ ОБД на ЖДП – использование водителями АТС специального приложения для получения информации о закрытии ЖДП по спутниковым картам Google, Яндекс.

Таблица 4. Способы повышения безопасности железнодорожных переездов
Table 4. Ways to improve the safety of the railway

Страна	Способы	Недостатки
Великобритания	Строительство путепроводов, шлагбаумов, системы видеонаблюдения, предикторы на базе рельсовых цепей, исключющие подачу сигнала на закрытие шлагбаума во время стоянки поезда	Дорогостоящее строительство мостов и путепроводов в местах пересечений. Затраты на реставрацию дорог, оборудование световыми сигналами, низкий уровень безопасности движения при использовании РКП
Швеция	Ликвидация переездов, строительство автодорог с исключением пересечения с железной дорогой, система FenceGrabber создания «виртуального ограждения» при помощи лазера с выдачей предупредительного сигнала и фотокамерой	
Нидерланды	Оснащение дороги перед железнодорожным переездом световыми сигналами, которые встроены в асфальтовое покрытие, обработка поверхности РКП минеральным порошком для повышения бдительности водителей	
США	Ликвидация переездов, строительство путепроводов и автодорог параллельно железной, система распознавания, фиксации несанкционированных объектов в полосе отвода железной дороги	
Канада	Ликвидация переездов, оборудование покрытия автодорог перед железнодорожным переездом проблесковыми и сигнальными светодиодами, лазерной системой обнаружения поезда	
Испания	Разрабатывается система обнаружения автотранспортного средства и поезда на железнодорожном переезде, выдача предупреждающих сообщений на мобильные телефоны водителям, машинисту	
Германия	Ликвидация переездов, оповещение о железнодорожном переезде участников движения при использовании дорожных знаков, серьезные санкции к нарушителям, оборудование АПС, УЗП, РКП, устройствами извещения о занятости переезда, оснащение системой переездной сигнализации BUSA	
Украина	Установка сигнализации лунно-белым светом, заградительных барьерных установок, дополнительных шлагбаумов, уведомление машиниста поезда о ситуации на железнодорожном переезде	
Белоруссия	Устройство «шумовых» полос, дорожных знаков и разметки, световозвращателей, мигающих светодиодными огнями	

В [27] изучены вопросы повышения безопасности движения за счет использования интеллектуальной системы автоматического управления безопасностью ЖДП.

Способы ОБД на ЖДТ в других странах указаны в табл. 4.

Как следует из табл. 4, профилактическая работа, которая проводится в США, Канаде и Европе, ориентирована на создание и внедрение инновационного технического оснащения ЖДП.

Заключение

Основное внимание в проведении профилактической работы по предупреждению ДТП на ЖДП следует сосредоточить на повышении качества воспитательной работы с водителями.

Особенно трагично, когда в ДТП на железной дороге гибнут дети. Для того чтобы предупредить ДТП с участием детей на ВСЖД в 2019–2020 гг. проводились акции: «Новогодний патруль», «Берегите детей», «Внимание – переезд!», «Дети и транспорт» и месячник «Детям – безопасную железную дорогу»; построен пешеходный переход на станции Посольская через железнодорожные пути; проведена презентация настольной игры для обучения младших школьников правилам поведения на железнодорожных путях в пригородной электричке «Байкальская стрела» [29].

Рассмотренные способы ОБД являются точечными, улучшающими безопасность какого-либо типа ЖДП. Необходимо с использованием новейших достижений техники и информационных технологий, опыта других стран сформировать концепции мониторинга железнодорожного переезда, как способа повышения безопасности ЖДП.

Список литературы

1. Магдич И.А., Петров В.П., Пятибрат А.О. Анализ санитарных и безвозвратных потерь в зависимости от характера и условий чрезвычайных ситуаций на железной дороге // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2019. № 1. С. 72–80.

2. Ефанов Д.В., Осадчий Г.В., Плотников Д.Г., Хорошев В.В. Комплексный учет параметров объектов инфраструктуры железной дороги, железнодорожного подвижного состава и автомобильного транспорта для обеспечения безопасности движения на переездах // Автоматика на транспорте. 2018. Т. 4. № 2. С. 167–194.
3. Ожерельев В.Н., Сащенко Д.А. Модернизация системы безопасности железнодорожного переезда // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. 2016. № 1 (8). С. 26–30.
4. Давыдов А.И., Соколов М.М. Система управления безопасностью на железнодорожных переездах // Вестник транспорта Поволжья. 2020. № 4 (82). С. 38–43.
5. Два опасных железнодорожных переезда в Иркутской области закроют в ближайшие годы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ogirk.ru/2020/9/17/dva-opasnyh-zheleznodorozhnyh-pereezda-v-irkutskoj-oblasti-zakroyut-v-blizhajshie-gody/> (дата обращения 15.03.2020).
6. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения: сайт Госавтоинспекции. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения 21.12.2020).
7. Колмогорова Т.В. Меры по повышению уровня безопасности движения на железнодорожных переездах // Вестник СГУПС. 2012. Вып. 28. С. 41–45.
8. Хашев А.И. Технология расчета потерь на железнодорожных переездах // Вестник РГУПС. 2020. № 1. С. 137–144.
9. Лапшин В.А. Онтология в компьютерных системах. М.: Изд-во: Научный мир, 2010. 224 с.
10. Концептуальная карта и методы её визуализации [Электронный ресурс]. URL: mxsmirnov.com > 2018/06/25 > concept-map (дата обращения 18.03.2020).
11. Асламова Е.А. Онтология предметной области промышленной безопасности и профессиональных рисков // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. междунар. науч. конф. в 12 т. / под общ. ред. А. А. Большакова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2020. Т. 12. Часть 1. С. 73–76.
12. Муромцев Д.И. Концептуальное моделирование знаний в системе Concept Map. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2009. 83 с.
13. Абрамова Н.В., Николаева Ю.В. Построение концептуальных карт как метод повышения валидности результатов оценочного исследования // Социология: методология, методы, математическое моделирование (Социология:4М). 2006. Том. 0. № 23. С. 83–99.
14. Аршинский Л.В., Хишигсурен Доржсурен. Разработка онтологии для агрегированного оценивания качества функционирования станции Улан-Баторской железной дороги // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Восьмой Междунар. науч.-практ. конф. 28 марта – 01 апреля 2017 г. Иркутск: в 2 т. Иркутск: ИрГУПС, 2017. Т. 1. С. 396–401.
15. Демьянов В.В., Имарова О.Б., Скоробогатов М.Э. Состояние проблемы и методы обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах // Вестник ИрГТУ. 2018. Т. 22. № 4. С. 215–230. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-215-230>.
16. Лужицкий О.Ф. Пути снижения аварийности на железнодорожных переездах // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2015. № 3. С. 208–222.
17. Лигузова О.Н., Кретов В.А. Основные проблемы пересечений автомобильных и железных дорог и предложения по их решению // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки. Материалы Всерос. конф. с междунар. участием / под общ. ред. Т.В. Шепитко, 2020. С. 79–83.
18. Рожанский Д.В., Карасевич С. Н. Повышение безопасности движения в зоне железнодорожных переездов // Вестник БНТУ. 2007. № 2. С. 60–65.
19. Жаворонков В.А. Особенности дорожно-транспортных происшествий, совершаемых на железнодорожных переездах, и меры по их предупреждению // Транспортное право и безопасность. 2020. № 1(33). С. 87–97.
20. Штрафы на глазок. Госавтоинспекция посчитала нарушителей, выявленных камерами. [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2019/01/17/v-gibdd-nazvali-chislo-narushenij-dd-vyavlennyh-kamerami.html> (дата обращения 23 марта 2021 г.).
21. Карпущенко Н.И., Величко Д.В., Колмогорова Т.В. Проблема обеспечения безопасности движения на железнодорожных переездах // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 4 (35). С. 47–50.
22. Efanov D., Plotnikov D., Osadchy G. Prognosis service for navigation systems regarding time parameters of railroad crossing proceedings of 16th IEEE East-west design & test symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp.201–208. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524770.
23. Ефанов Д.В. Цифровой железнодорожный переезд // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 11. С. 11–15.
24. Ефанов Д.В., Мячин В.Н., Осадчий Г.В. Автодорожные путепроводы лифтового типа для пересечения железнодорожных путей в условиях плотной застройки современных городов // Мир транспорта. 2020. Т. 18. № 5. С. 90–108.
25. Кочетов А.С., Липсиц Л.М. Перспективные инновационные безопасные железнодорожные переезды с высокой пропускной способностью // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2017. № 1. С. 100–104.
26. Лебедева Н.С., Епифанова Е.П., Петрова А.С. Обеспечение безопасности на железнодорожных переездах // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2020. Т. 1. С. 138–143.
27. Пашков Н.Н. Интеллектуальная система автоматического управления безопасностью железнодорожных переездов // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2017. № 1. С. 104–110.
28. Апатцев В.И., Гольщикова Г.В., Юрищева М.С., Астахов В.В. Международный опыт в борьбе с травматизмом граждан на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_34994342_68632333.htm (дата обращения 10 марта 2021 г).
29. Старовойтова Ю.Б., Асламова В.С. Профилактика железнодорожного травматизма детей в Иркутской области // Инновационная наука. 2021. № 1. С. 34–36.

References

1. Magdich I.A., Petrov V.P., Pyatibrat A.O. Analiz sanitarnykh i bezvozvratnykh poter' v zavisimosti ot haraktera i uslovij chrezvychajnykh situacij na zheleznoj doroge [Analysis of sanitary and irrecoverable losses depending on the nature and conditions of emergency situations on the railway]. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnykh situacijah* [Biomedical and socio-psychological problems of safety in emergencies], 2019, No. 1, pp. 72–80.
2. Efanov D.V., Osadchij G.V., Plotnikov D.G., Horoshev V.V. Kompleksnyj uchet parametrov ob'ektov infrastruktury zheleznoj dorogi, zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava i avtomobil'nogo transporta dlya obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na pereezdah [Comprehensive accounting of parameters of railway infrastructure facilities, railway rolling stock and road transport to ensure traffic safety at level crossings]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation], 2018, Vol. 4, No. 2, pp. 167–194.
3. Ozherel'ev V.N., Sashchenko D.A. Modernizaciya sistemy bezopasnosti zheleznodorozhnogo pereezda [Modernization of the railway crossing security system]. *Byulleten' nauchnykh rabot Bryanskogo filiala MIIT* [Bulletin of scientific works of the Bryansk branch of MIIT], 2016, No. 1(8), pp. 26–30.
4. Davydov A.I., Sokolov M.M. Sistema upravleniya bezopasnost'yu na zheleznodorozhnykh pereezdah 5. Prichiny detskogo travmatizma [Level crossing safety management system]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Bulletin of transport of the Volga region], 2020, No. 4(82), pp. 38–43.
5. Dva opasnykh zheleznodorozhnykh pereezda v Irkutskoj oblasti zakroyut v blizhajshie gody [Two dangerous railway crossings in the Irkutsk region will be closed in the coming years]. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.ogirk.ru/2020/9/17/dva-opasnykh-zheleznodorozhnykh-pereezda-v-irkutskoj-oblasti-zakroyut-v-blizhajshie-gody/> (date of treatment 03.15.2020).
6. Svedeniya o pokazatelyah sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sajt Gosavtoinspekcii. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (date of treatment 12.21.2020).
7. Kolmogorova T.V. Mery po povysheniyu urovnya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnykh pereezdah [Measures to improve traffic safety at level crossings]. *Vestnik SGUPSa* [Bulletin of SGUPS], 2012, Issue 28, pp. 41–45.
8. Hashev A.I. Tekhnologiya rascheta poter' na zheleznodorozhnykh pereezdah [Technology for calculating losses at level crossings]. *Vestnik RGUPS* [Bulletin RGUPS], 2020, No. 1, pp. 137–144.
9. Lapshin V.A. Ontologiya v komp'yuternykh sistemah [Ontology in computer systems]. M.: Izd-vo: Nauchnyj mir, 2010. 224 p.
10. Konceptual'naya karta i metody eyo vizualizacii. [Elektronnyj resurs]. URL: mxsmirnov.com > 2018/06/25 > concept-map (date of treatment 03.18.2020).
11. Aslamova E.A. Ontologiya predmetnoj oblasti promyshlennoj bezopasnosti i professional'nykh riskov [Ontology of the subject area of industrial safety and professional risks]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah: sb. tr. mezhdunar. nauch. konf.: v 12 t. / pod obshch. red. A. A. Bol'shakova. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta* [Mathematical methods in engineering and technology: collection of articles. tr. international scientific. conf.: in 12 volumes / under total. ed. A. A. Bolshakova. SPb.: Publishing house of Polytechnic. un-ta], 2020, Vol. 12, Part 1, pp. 73–76.
12. Muromcev D.I. Konceptual'noe modelirovaniye znaniy v sisteme Concept Map [Conceptual modeling of knowledge in the Concept Map system]. SPb: SPb GU ITMO, 2009. 83 p.
13. Abramova N.V., Nikolaeva Yu.V. Postroenie konceptual'nykh kart kak metod povysheniya va-lidnosti rezul'tatov ocenoch'nogo issledovaniya [Concept mapping as a method of increasing the validity of the results of the assessment study]. *Sociologiya: metodologiya, metody, matematicheskoe modelirovanie (Sociologiya:4M)* [Sociology: methodology, methods, mathematical modeling (Sociology: 4M)], 2006, Vol. 0, No. 23, pp. 83–99.
14. Arshinskij L.V., Hishigsuren Dorzhsuren. Razrabotka ontologii dlya agregirovannogo ocenivaniya kachestva funkcionirovaniya stancii Ulan-Batorskoj zheleznoj dorogi [Development of an ontology for the aggregated assessment of the quality of functioning of the station of the Ulan Bator railway]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona : materialy Vos'moj Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 28 marta – 01 aprelya 2017 g. Irkutsk : v 2 t.* [Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Eighth Intern. scientific-practical Conf., March 28 - April 01, 2017 Irkutsk: in 2 volumes]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2017, Vol. 1, pp. 396–401.
15. Dem'yanov V.V., Imarova O.B., Skorobogatov M.E. Sostoyanie problemy i metody obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnykh pereezdah [State of the problem and methods of ensuring traffic safety at level crossings]. *Vestnik IrGTU* [Bulletin ISTU]. 2018. Vol. 22. No. 4. Pp. 215–230. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-215-230>.
16. Luzhickij O.F. Puti snizheniya avarijnosti na zheleznodorozhnykh pereezdah [Ways to reduce accidents at level crossings]. *Proektirovanie razvitiya regional'noj seti zheleznykh dorog* [Designing the development of a regional railway network], 2015, No. 3, pp. 208–222.
17. Liguzova O.N., Kretov V.A. Osnovnye problemy peresechenij avtomobil'nykh i zheleznykh dorog i predlozheniya po ih resheniyu [The main problems of intersections of roads and railways and proposals for their solution]. *V sbornike: Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoj nauki. Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Pod obshchej redakciej T.V. SHepit'ko* [In the collection: Current state, problems and prospects for the development of industrial science. Materials of the All-Russian conference with international participation. Edited by T.V. Shepitko], 2020, pp. 79–83.
18. Rozhanskij D.V., Karasevich S.N. Povyshenie bezopasnosti dvizheniya v zone zheleznodorozhnykh pereezdov [Improving traffic safety at level crossings]. *Vestnik BNTU*. [Bulletin BNTU], 2007, No. 2, pp. 60–65.
19. Zhavoronkov V.A. Osobennosti dorozhno-transportnykh proisshestvij, sovershaemykh na zheleznodorozhnykh pereezdah, i mery po ih preduprezhdeniyu [Features of road accidents at level crossings and measures to prevent them]. *Transportnoe pravo i bezopasnost'* [Transport law and safety], 2020, No. 1(33), pp. 87–97.
20. Shtrafy na glazok. Gosavtoinspekcija poschitala narushitelej, vyyavlennykh kamerami. URL: <https://rg.ru/2019/01/17/v-gibdd-nazvali-chislo-narushenij-pdd-vyjavlennykh-kamerami.html> (date of treatment 03.23. 2021).

21. Karpushchenko N.I., Velichko D.V., Kolmogorova T.V. Problema obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnyh perezdah [The problem of ensuring traffic safety at level crossings]. *Transport Rossijskoj Federacii*. [Transport of the Russian Federation], 2011, No. 4(35), pp. 47–50.

22. Efanov D., Plotnikov D., Osadchy G. Prognosis service for navigation systems regarding time parameters of railroad crossing proceedings of 16th IEEE East-west design & test symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 201–208. DOI: 10.1109/ EWDTS.2018.8524770.

23. Efanov D.V. Cifrovoy zheleznodorozhnyj pereezd [Digital level crossing]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics], 2018, No. 11, pp. 11–15.

24. Efanov D.V., Myachin V.N., Osadchij G.V. Avtodorozhnye puteprovody liftovogo tipa dlya peresecheniya zheleznodorozhnyh putej v usloviyah plotnoj zastrojki sovremennyh gorodov [Elevator-type road overpasses for crossing railway tracks in conditions of dense development of modern cities]. *Mir transporta* [The world of transport], 2020, Vol. 18, No 5, pp. 90–108.

25. Kochetov A.S., Lipsic L.M. Perspektivnye innovacionnye bezopasnye zheleznodorozhnye perezdy s vysokoj propusknnoj sposobnost'yu [Future-proof, high capacity, safe level crossings]. *Istoriya i perspektivy razvitiya transporta na severe Rossii* [History and prospects for the development of transport in the north of Russia], 2017, No. 1, pp. 100–104.

26. Lebedeva N.S., Epifanova E.P., Petrova A.S. Obespechenie bezopasnosti na zheleznodorozhnyh perezdah [Ensuring safety at level crossings]. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the XXI century], 2020, Vol. 1, pp. 138–143.

27. Pashkov N.N. Intellektual'naya sistema avtomaticheskogo upravleniya bezopasnost'yu zheleznodorozhnyh perezdov [Intelligent automatic safety control system for level crossings]. *Istoriya i perspektivy razvitiya transporta na severe Rossii* [History and prospects for the development of transport in the north of Russia], 2017, No. 1, pp. 104–110.

28. Apatcev V.I., Golyшева G.V., Yurishcheva M.S., Astahov V.V. Mezhdunarodnyj opyt v bor'be s travmatizmom grazhdan na ob'ektakh infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta. [Elektronnyj resurs]. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_34994342_68632333.htm (date of treatment 03.10.2021).

29. Starovoytova Yu. B., Aslamova V.S. Profilaktika zheleznodorozhnogo travmatizma detej v Irkutskoj oblasti [Prevention of railway injuries in children in the Irkutsk region]. *Innovacionnaya nauka* [Innovative science], 2021, No. 1, pp. 34–36.

Информация об авторах

Асламова Вера Сергеевна – д-р техн. наук, профессор, кафедра техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: aslamovav@yandex.ru.

Старовойтова Юлия Борисовна – кафедра техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: yulya.starovoytova.96@mail.ru.

Асламов Александр Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, кафедра машин и аппаратов химических производств, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: aaa_mx@angtu.ru.

Асламова Елизавета Александровна – ассистент, кафедра бизнес-информатики и моделирования процессов, Институт управления бизнес-процессами, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, e-mail: Liza.Ocean@mail.ru.

Information about the authors

Vera S. Aslamova – Dr. Sci., Professor, Subdepartment of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: aslamovav@yandex.ru.

Yulia B. Starovoytova – Subdepartment of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: yulya.starovoytova.96@mail.ru.

Alexander A. Aslamov – Cand. tech. Sci., Associate Professor, Subdepartment of Machines and Devices of Chemical Production, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: aaa_mx@angtu.ru.

Elizaveta A. Aslamova – assistant, Subdepartment of Business Informatics and Modeling business processes, Institute of Business Management processes, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: Liza.Ocean@mail.ru.