

Н.Н. Масюк – д.э.н., профессор кафедры экономики и управления, Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия, masyukn@gmail.com;

N.N. Masuk – doctor of economics, professor of the department of economics and management, Vladivostok State University, Vladivostok, Russia, masyukn@gmail.com;

Ю.В. Коденцева – канд. тех. наук, доцент кафедры проектное управление и информационное моделирование в строительстве, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, Россия, kodjul78@mail.ru;

Ju.V. Kodentseva – PhD in technical sciences, associate professor, department of project management and information modeling in construction, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia, kodjul78@mail.ru;

Н.С. Веремчук – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры цифровые технологии, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, Россия, n-veremchuk@rambler.ru;

N.S. Veremchuk – PhD in physical and mathematical sciences, associate professor, department of digital technologies, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia, n-veremchuk@rambler.ru;

Е.В. Андреева – канд. тех. наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск, Россия, andreeva402@mail.ru;

E.V. Andreeva – PhD in technical sciences, associate professor, department of construction and operation of highways, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia, andreeva402@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДОРОЖНО- ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ INFORMATION TECHNOLOGIES AS A TOOL OF ECONOMIC PLANNING AND MANAGEMENT OF THE URBAN ENVIRONMENT IN MODERN CONDITIONS

Аннотация. Вопросы обеспечения безопасной городской среды в современных условиях – это одно из приоритетных направлений развития деятельности городских служб, направленных на экономическое процветание регионов. Особенно это актуально для России, поскольку в последнее время отмечается значительный рост числа дорожно-транспортных происшествий, в том числе со смертельным исходом. Недостаточное внимание к решению данной проблемы может привести к росту аварийности и как следствие социальному, материальному и демографическому ущербу для экономики страны. В статье рассмотрено применение технологий машинного обучения в процессах экономического планирования, управления и организации дорожного движения. С целью разработки мер по сокращению количества дорожно-транспортных происшествий в населенных пунктах выполнен анализ причин их возникновения на примере Омского региона. В исследовании использован метод построения ассоциативных правил, относящийся к технологиям машинного обучения. Установлены значимые правила по категориальным неклассифицированным данным. По результатам анализа выявлены закономерности увеличения числа аварийных ситуаций с пострадавшими на дорогах в темное и светлое время суток, установлен основной фактор, оказывающий значимое влияние на возникновение ДТП с пострадавшими в Омском регионе. Применение технологий машинного обучения при анализе влияния условий внешней среды на возникновение ДТП способствует принятию решений по усовершенствованию подходов, ориентированных на повышение уровня безопасности дорожного движения, с целью достижения экономического эффекта от планируемых мероприятий. Результаты проведенного исследования могут быть полезны научным сотрудникам, студентам, магистрантам, специалистам в области проектирования и управления безопасностью городской среды.

Abstract. Designing a safe urban environment in modern conditions is one of the priorities of modern urbanism and the activities of city services. This is especially true for Russia, since recently there has been a significant increase in the number of road accidents, including fatal ones. Insufficient attention to solving this problem can lead to an increase in accidents and, as a result, social, material and demographic damage to the country's economy. The article considers the application of simulation modeling methods in the processes of economic planning, management and organization of traffic. The construction of a simulation model for traffic flows of a road network element is described. Based on the results of experiments, the optimal location of road priority signs was determined, contributing to fewer

traffic jams and greater traffic intensity. The use of simulation modeling in solving issues of designing the road transport environment contributes to decision-making to improve the condition of the road network and improve approaches aimed at improving road safety, without risk to the objects themselves, in order to achieve an economic effect from the planned activities. The results of the conducted research can be useful to researchers, students, undergraduates, specialists in the field of design and management of urban environment safety.

Ключевые слова: городская среда, процессы экономического планирования, алгоритм Apriori, ассоциативные правила.

Keywords: urban environment, design, economic planning processes, simulation tools, AnyLogic PLE.

Введение

Проблематика безопасности дорожного движения является одной из наиболее актуальных тем в современном мире. Особое внимание уделяется вопросам управления городской средой направленного на построение и формирование накопленного опыта, разработку проектов и схем для удобства различным категориям населения и безопасность [1].

Ежегодно миллионы людей становятся жертвами дорожно-транспортных происшествий (ДТП), что приводит к значительным экономическим потерям и человеческим трагедиям. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в результате ДТП погибает около 1,35 миллиона человек [2], а еще десятки миллионов получают травмы различной степени тяжести. ДТП наносят значительный экономический ущерб государству и обществу. Помимо прямых затрат на лечение пострадавших и восстановление поврежденного имущества, существуют косвенные убытки, такие как потеря трудоспособности, упущенная выгода от простоя транспорта и снижение производительности труда. По оценкам экспертов, ежегодный экономический ущерб от ДТП в России составляет порядка 500 миллиардов рублей. Снижение уровня аварийности позволит существенно сократить эти расходы. Социальные последствия ДТП являются не менее значимыми, чем экономические. Потеря близких людей, инвалидность, психологическая травма – все это оказывает негативное воздействие на общество. Особенно остро стоит проблема детской смертности и травматизма на дорогах. Улучшение безопасности дорожного движения поможет снизить уровень социальной напряженности и повысить качество жизни населения.

Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций ставит приоритетную цель сокращения к 2030 г. вдвое числа погибших и травмированных в результате ДТП во всем мире (A/RES/74/299) [3].

В связи с этим, вопросы повышения уровня безопасности на дорогах приобретают особую значимость. Несмотря на значительные усилия, направленные на улучшение инфраструктуры и повышение уровня подготовки водителей, традиционные методы анализа причин ДТП зачастую сталкиваются с трудностями в учете множества факторов, влияющих на возникновение аварийных ситуаций.

В последние десятилетия наблюдается значительный рост числа автомобилей на дорогах, особенно в крупных городах и агломерациях. Это ведет к увеличению транспортной нагрузки на существующие дорожные сети, что, в свою очередь, повышает риск возникновения дорожно-транспортных происшествий. Согласно статистике, количество зарегистрированных автотранспортных средств в России за последние десять лет увеличилось на 20%, что свидетельствует о необходимости улучшения условий безопасности на дорогах¹.

Современные технологии и материалы позволяют создавать более безопасные и долговечные дорожные объекты. Однако внедрение этих инноваций требует комплексного подхода, который учитывает все этапы жизненного цикла дорожно-строительных объектов. Проектирование и строительство дорог должны основываться на принципах устойчивого

¹ <https://www.autostat.ru/>

развития, предусматривающих минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и максимальное повышение уровня безопасности.

Одним из ключевых аспектов обеспечения безопасности на автомобильных дорогах является учет комплекса параметров и факторов, влияющих на снижение количества ДТП и аварийности. Эти параметры включают в себя как технические характеристики дорог, так и организационные меры, принимаемые на различных стадиях жизненного цикла дорожно-строительных объектов. Жизненный цикл таких объектов включает проектирование, строительство, эксплуатацию с учетом ремонтов и капитальных ремонтов, каждый из которых имеет свои особенности и требует особого подхода к обеспечению безопасности [4].

Анализируя опыт зарубежных стран можно сказать, что Европейские страны традиционно занимают лидирующие позиции в области обеспечения безопасности дорожного движения. Одним из ключевых инструментов достижения высоких показателей безопасности является программа «Vision Zero», разработанная в Швеции в 1990-х годах. Основная идея этой программы заключается в том, что ни одно дорожно-транспортное происшествие не должно приводить к смерти или серьезным травмам. Для реализации этой концепции используются комплексные меры, включающие улучшение качества дорог, ужесточение правил дорожного движения, внедрение инновационных технологий и активное участие общественности [5].

Важным элементом европейского подхода является концепция «умных» городов, которая предполагает интеграцию информационных технологий в управление городским транспортом. Например, в Нидерландах активно внедряются системы автоматического управления светофорами, позволяющие оптимизировать движение транспорта и минимизировать пробки. В Германии и Франции широко используются системы видеонаблюдения и анализа данных, позволяющие оперативно реагировать на возникающие инциденты и предотвращать аварии [6].

США также уделяют большое внимание вопросам безопасности дорожного движения. Одной из особенностей американского подхода является акцент на профилактику ДТП через образовательные программы и кампании по пропаганде безопасного поведения на дороге. Например, Национальная администрация безопасности дорожного движения (NHTSA) проводит регулярные кампании по обучению водителей правилам дорожного движения и ответственному поведению за рулем [7].

Кроме того, в США активно развиваются технологии автономного вождения, которые потенциально могут значительно снизить количество ДТП. Компании Tesla, Google и другие ведущие игроки рынка работают над созданием полностью автономных транспортных средств, способных самостоятельно принимать решения в сложных ситуациях на дороге.

Страны Азии, такие как Япония и Южная Корея, также демонстрируют высокие показатели безопасности дорожного движения. Важную роль в этом играет высокая культура соблюдения правил дорожного движения среди населения. Кроме того, японские и корейские компании активно инвестируют в разработку и внедрение передовых технологий в сфере автомобильной промышленности [7].

Например, в Японии широко используется система ITS (Intelligent Transport Systems), позволяющая управлять движением транспорта в реальном времени и предупреждать водителей о возможных опасностях. В Южной Корее активно развивается инфраструктура для электромобилей, что также способствует снижению уровня загрязнения воздуха и улучшению экологической ситуации [7].

В современных условиях для решения вопросов проектирования безопасной городской среды используются цифровые технологии [8], технологии глубокого обучения [9], технологии имитационного моделирования [10]. Особое место в решении транспортных проблем в рамках экономического планирования и обеспечения безопасности городской среды занимает машинное обучение [10].

Россия также предпринимает шаги по улучшению безопасности дорожного движения. В рамках государственной программы «Безопасные и качественные дороги» реализуется ряд мероприятий, направленных на модернизацию дорожной инфраструктуры, улучшение качества дорожного покрытия и внедрение современных систем управления движением [11-14].

Однако, несмотря на определенные успехи, Россия сталкивается с рядом проблем, связанных с недостаточным финансированием, низким уровнем культуры вождения и устаревшей дорожной инфраструктурой. Поэтому актуальным остается вопрос внедрения лучших мировых практик и адаптации их к российским условиям. При этом необходимо внедрение комплексного рассмотрения всех этапов жизненного цикла дорожно-строительных объектов, что позволит выявить ключевые факторы, влияющие на безопасность дорожного движения, и разработать эффективные меры по их улучшению. Целью настоящей работы является анализ влияния комплекса параметров и факторов на объекты дорожно-транспортной инфраструктуры, связанных со снижением уровня дорожно-транспортной аварийности. Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций по повышению безопасности дорожного движения и оптимизации процессов проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта дорог.

В литературе выделяют несколько видов имитационного моделирования, которые различаются между собой в основном областью применения и подходом к рассмотрению связей внутри системы [15].

Моделирование с помощью агентов применяется при рассмотрении систем в случаях, когда поведение всей системы определяется по поведению отдельных ее составляющих элементов [16]. Основной акцент делается на получении общего представления о функционировании системы с учетом индивидуальных особенностей ее составляющих элементов, а также правил их взаимодействия. Агентное моделирование находит применение в случаях изучения поведения сложных динамических систем, имитирующих объекты и процессы реального мира, живой и неживой природы. Разработка агентной модели основывается на наблюдении за поведением реальных объектов.

Особым подходом к моделированию, подразумевающим, что в своем исследовании мы должны абстрагироваться от взаимосвязи различных процессов и рассматривать только одно конкретное событие моделируемой системы, является дискретно-событийное моделирование [17]. К примеру, при рассмотрении деятельности предприятия согласно данному подходу мы должны разбить его деятельность на взаимосвязанные процессы и рассматривать каждый из них в отдельности: «обработка заказа», «отгрузка товара», «прием товара» и т.д. Примерами областей применения данного вида моделирования является логистика, работа с системами обслуживания, транспортными и производственными системами и многое другое.

Системная динамика является видом моделирования, дающим нам возможность глубже, чем предыдущие два метода понять суть причинно-следственных связей между объектами, возникающих в сложной системе. Данный вид моделирования наиболее эффективен при построении моделей сложных систем, требующих тщательной проработки взаимосвязей, как между элементами системы, так и взаимосвязи системы с внешним окружением [18]. Системная динамика применяется при моделировании бизнес-процессов, развитии популяций, экологии и даже пандемии.

Методика

Теоретической базой исследования являются общенаучные подходы, к которым относятся анализ научно-методической и периодической литературы по сформулированной проблеме. При написании статьи применялись методы построения ассоциативных правил, технологии машинного обучения.

Основная часть

С целью разработки мер по сокращению количества дорожно-транспортных происшествий в населенных пунктах выполним анализ причин их возникновения на примере Омского региона.

В исследовании использован метод построения ассоциативных правил, относящийся к технологиям машинного обучения. Данный метод предполагает установление значимых правил по категориальным неклассифицированным данным. Данные правила устанавливают причинно-следственную взаимосвязь между событиями. То есть, ассоциативные правила состоят из двух кортежей, задающих причины и следствия происходящих событий.

На рис. 1 приведено распределение количества пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях по времени суток в ежемесячном разрезе за период 2018-2023 гг. Далее по тексту для дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими будем использовать аббревиатуру ДТП.

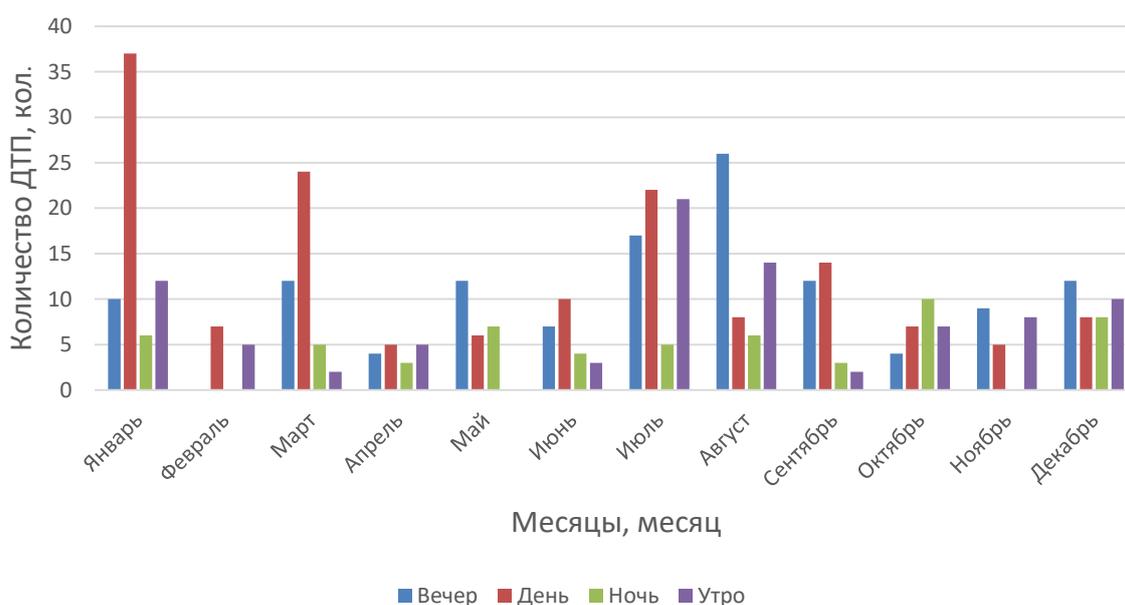


Рис. 1. Распределение количества пострадавших в ДТП по времени суток в ежемесячном разрезе

Исследование проводилось по статистическим данным за 2023 год в ежедневном разрезе, определяющим состояние транспортной инфраструктуры региона, погодные условия, состояние автомобильных дорог, расположение объектов социальной инфраструктуры вблизи мест ДТП, наличие (отсутствие пострадавших и погибших) в результате происшествия. Данные для расчетов взяты с сайта статистики ГИБДД². Массив данных разделен на две выборки с учетом погодных условий в регионе: в качестве классифицирующего показателя выбрано наличие (отсутствие снежного покрова на земле, в том числе на автомобильных дорогах). Сформировано два массива данных: первый включает данные за период январь-март, ноябрь-декабрь, второй за апрель-октябрь 2023 г.

Для построения ассоциативных правил использован алгоритм Apriori, расчеты выполнены с применением языка программирования Python в среде Colab³.

В качестве определения значимости построенных правил использован показатель «Поддержка ассоциативных правил» (Association Rule Support). Данный показатель определяет качество построенных ассоциативных правил и имеет диапазон значений от 0 до

² <http://stat.gibdd.ru/>

³ <https://colab.research.google.com>

1. В общем случае поддержка является мерой надежности, с которой ассоциативное правило выражает ассоциативную связь между условием и следствием. Если поддержка больше 0,8, то ассоциативная связь сильная, в случае если данный показатель лежит в диапазоне от 0,8 до 0,5 связь средняя, если менее 0,5 слабая⁴.

С целью выявления причин возникновения ДТП выполнена фильтрация полученных правил по столбцу «Следствия» по наличию в них пострадавших и погибших. Затем по столбцу «Причины» определены причины возникновения ДТП, связанные с состоянием дорожного покрытия, наличием вблизи зарегистрированного события объектов социальной инфраструктуры, а также состоянием транспортной инфраструктуры. Для оценки их значимости влияния выполнена группировка отфильтрованных ассоциативных правил по вышеприведенным причинам.

Для осенне-, зимнего периодов и ранней весны (периода наличия снега на автомобильных дорогах) значимость ассоциативных правил, связанных с вышеприведенными анализируемыми показателями, лежит в диапазоне 0,20-0,43, для весенне-, летнего периодов и ранней осени (отсутствия снега на автомобильных дорогах) данный показатель составляет 0,20-0,91.

В табл. 1 приведено распределение ассоциативных правил по двум основным причинам возникновения ДТП и с учетом светлого/темного времени суток: 1) по непосредственной вине водителя без влияния факторов инфраструктуры и состояния дороги; 2) в том числе под воздействием инфраструктурных факторов и состояния дороги. Данное разделение выполнялось экспертным способом путем фильтрации ассоциативных правил, по ключевым словам, определяющим влияние вышеприведенных факторов на возникновение ДТП, таких как «Неправильное применение, плохая видимость дорожных знаков», «Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части» и пр., в полях, определяющих структуру причинно-следственных связей.

Таблица 1 – Распределение построенных ассоциативных правил по причинам возникновения ДТП и освещенности (темное и светлое время суток)

Светлое время суток				Темное время суток			
По вине водителя		Причины, связанные с транспортной инфраструктурой, состоянием дорог		По вине водителя		Причины, связанные с транспортной инфраструктурой, состоянием дорог	
% в структуре ассоциативных правил, %	Среднее значение поддержки ассоциативных правил, отн. ед.	% в структуре ассоциативных правил, %	Среднее значение поддержки ассоциативных правил, отн. ед.	% в структуре ассоциативных правил, %	Среднее значение поддержки ассоциативных правил, отн. ед.	% в структуре ассоциативных правил, %	Среднее значение поддержки ассоциативных правил, отн. ед.
Период наличия снега на автомобильных дорогах (n=15817)							
27,00	0,47	13,2	0,31	38,83	0,57	20,97	0,28
Период отсутствия снега на автомобильных дорогах (n=16511)							
75,8	0,71	24,2	0,33	-	-	-	-

⁴ <https://wiki.loginom.ru/articles/association-rule-support.html>

Для выявления причин ДТП в вышеуказанные периоды использована фильтрация полученных ассоциативных правил, по ключевым словам, определяющим влияние инфраструктурных факторов, состояния автомобильных дорог, погодные условия по полям, формирующим структуру данных правил. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Причины возникновения ДТП, и среднее значение поддержки ассоциативных правил, в которых они встречаются

Причина ДТП	Среднее значение поддержки ассоциативных правил, в которых они встречаются, отн. ед.	Погодные условия, при которых происходят ДТП	Тип автомобильных дорог
Период наличия снега на автомобильных дорогах			
Неправильное применение, плохая видимость дорожных знаков	0,21	Светлое время суток	Магистральные улицы общегородского значения
Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	0,31		
Недостатки зимнего содержания	0,30		
Недостаточная освещенность дороги	0,34	Темное время суток	Все типы дорог
Недостатки зимнего содержания	0,31		
Снежный накат	0,26		
Неправильное применение, плохая видимость дорожных знаков	0,22		
Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	0,23		
Период отсутствия снега на автомобильных дорогах			
Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	0,31	Светлое время суток, сухое дорожное полотно	Магистральные улицы общегородского значения

Результаты

На основании проведенных расчетов могут быть сделаны следующие выводы.

1. Анализ рис. 1 позволил выявить закономерности увеличения числа аварийных ситуаций с пострадавшими на дорогах в темное и светлое время суток. Для поздней осени и в зимние месяцы до начала нового года увеличивается вероятность возникновения аварийных ситуаций в темное время суток. Январь является исключением, количество аварий на дорогах увеличивается в дневное время и резко сокращается в ночное время. В апреле, мае, июне – количество ДТП практически равномерно распределяется по времени суток, в мае ночью количество ДТП минимально. Для конца весны и начал лета характерно сокращение числа аварий утром. В июле-августе, сентябре растет количество ДТП вечером и утром.

2. Большинство ДТП связано с влиянием человеческого фактора и происходит по вине водителей без значимого влияния состояния автомобильных дорог и факторов, определяющих социальную и транспортную инфраструктуру (табл.1). При этом влияние человеческого фактора на вероятность возникновения ДТП достаточно велико (значение

показателя, определяющего поддержку таких ассоциативных правил в первый и второй выделенные периоды времени года в исследовании, составляет 0,47 и 0,71 соответственно). Количество ассоциативных правил, определяющих влияние состояния, профессионализма водителя аккуратности его вождения, на возникновение ДТП, в структурном разрезе для осенне-зимнего периода и ранней весны составляет 65,83 %, весенне-летний период и ранней осени составляет 75,8 %.

3. Влияние факторов социальной и транспортной инфраструктуры, состояния дорог на возникновение ДТП изменяется в зависимости от времени года и длины светового дня. В осенне-зимний период и ранней весной, когда продолжительность темного времени суток снижается, автомобилисты чаще выбирают более безопасный стиль вождения, влияние указанных факторов растет особенно в темное время суток. В структуре количество ассоциативных правил, определяющих влияние данных факторов, для темного времени суток составляет 20,97 %, для светлого - 13,2 %. Основными факторами, от которых зависит количество ДТП в холодное время года в светлое время суток, являются «Неправильное применение, плохая видимость дорожных знаков», «Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части», «Недостатки зимнего содержания». Они являются одними из предикторов возникновения ДТП на магистральных улицах общегородского значения. В темное время суток для данного периода времени года дополнительно в структуру рискообразующих включается фактор «Недостаточная освещенность дороги», он является причиной ДТП для автомобильных дорог всех типов. В теплое время года, когда продолжительность светлого времени суток увеличивается, основное влияние на возникновение ДТП и появления пострадавших оказывает отсутствие разметки на дорогах, и это характерно главным образом для магистральных улиц. Ассоциативные правила для данного периода строятся только для светлого времени суток, поскольку количество ДТП минимально в ночные часы. Количество таких правил в структурном разрезе равно 24,2 %. Влияние данной группы факторов на возникновение ДТП невелико и носит латентный фоновый характер, среднее значение поддержки ассоциативных правил, в которых они встречаются, колеблется в диапазоне 0,21 до 0,31.

4. Применение метода построения ассоциативных правил не выявило влияния расположения объектов социальной инфраструктуры (торговых центров, жилых домов и пр.) на возникновение ДТП.

Следовательно, основным фактором, оказывающим значимое влияние на возникновение ДТП с пострадавшими в Омском регионе, является стиль вождения, состояние и опыт водителей. При этом увеличение количества дефектов, связанных с состоянием дорожного полотна, отсутствием специальной разметки, недостаточная освещенность и неубранный снег на дорогах, способствуют росту количества пострадавших в авариях, что требует разработки мероприятий по выполнению ремонтных работ на дорогах Омского региона. В настоящее время реализация таких мероприятий недостаточно результативна, и не позволяет в достаточной степени решать вопросы сокращения количества дорожно-транспортных происшествий в Омском регионе.

Поэтому необходимо оперативно реагировать на образование дефектов, являющихся причинами ДТП, особенно в начале весеннего периода. В том числе применять современные методы ямочного ремонта (инфракрасные разогреватели, рециклированный асфальтобетон и другие технологии, не связанные с запуском АБЗ), которые менее зависимы от погодно-климатических факторов. Предлагаем на примере города Омска выполнить большую работу по разработке асфальтобетонных смесей повышенной износостойкости и требований к ним, а также разработке метода расчета слоя износа или верхнего слоя покрытия по критерию сопротивления действию шипованных шин в зимний период. Помимо этого, необходимо своевременно наносить разметку на дорогах, повышать их освещенность в темное время суток.

Выводы

Рассмотрено применение современных информационных технологий, поддерживающих инструменты машинного обучения в процессах экономического планирования, управления и организации дорожного движения.

С целью разработки мер по сокращению количества дорожно-транспортных происшествий в населенных пунктах выполнен анализ причин их возникновения на примере Омского региона. В исследовании использован метод построения ассоциативных правил, относящийся к технологиям машинного обучения. По результатам анализа выявлены закономерности увеличения числа аварийных ситуаций с пострадавшими на дорогах в темное и светлое время суток, установлен основной фактор, оказывающий значимое влияние на возникновение ДТП с пострадавшими в Омском регионе.

Применение технологий машинного обучения при анализе влияния условий внешней среды на возникновение ДТП способствует принятию решений по усовершенствованию подходов, ориентированных на повышение уровня безопасности дорожного движения, с целью достижения экономического эффекта от планируемых мероприятий.

Результаты проведенного исследования могут быть полезны научным сотрудникам, студентам, магистрантам, специалистам в области проектирования и управления безопасностью городской среды.

Источники:

1. Вэй Л. Оценка влияния расширения городов на качество среды обитания и построение моделей экологической безопасности: на примере города Цицивань в бассейне реки Хуанхэ, Китай / Л. Вэй, Л. Чжоу, Д. Сунь, Б. Юань, Ф. Ху // Экологические индикаторы. 2022. Т. 145. 109544.

2. «Дорожно-транспортные травмы». Доклад Всемирной организации здравоохранения за 2018-2022 гг. «Дорожно-транспортный травматизм». Доклад Всемирной организации здравоохранения за 2018-2022 годы] (<https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>).

3. Повышение безопасности дорожного движения во всем мире: резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей (<https://digitallibrary.un.org/record/3879711?ln=ru>).

4. Боброва Т.В. Параметризация компонентов окружающей среды в контексте информационного моделирования автомобильных дорог / Т.В. Боброва, Ю.В. Коденцева, М.С. Перфильев // Конференция по ВГД SATPID-2019. 2019. С. 698.

5. Джамроз К. Польский опыт внедрения Vision Zero / К. Джамроз, Л. Михальски, Я. Жуковска // Актуальные отчеты о травмах. 2019. № 3 (2). С. 111-117.

6. Duurzaam veilig wegverkeer // SWOV. URL: <https://www.swov.nl/feiten/cijfers/factsheet/duurzaam-veilig-wegverkeer> (дата обращения: 15.12.2017).

7. Комаров В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. зарубежный опыт и отечественная практика / В.В.Комаров, С.А.Гараган. М. : НТБ «ЭНЕРГИЯ», 2012. 352 с.

8. Кожуховский М.Ю. О развитии интеллектуальных транспортных систем при управлении транспортом городских агломераций / М.Ю. Кожуховский, Л.А. Осьминин // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного. 2022. С. 130-139.

9. Маслова А.А., Влияние процесса цифровизации на геоэкологические индикаторы развития крупного города / А.А. Маслова, Е.Н. Королева // Актуальные вопросы функционирования экономики Алтайского края: сборник статей / гл. ред. Вал. В. Мищенко. Вып. 14. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2022. С. 52-64.

10. Веремчук Н.С. Элементы имитационного моделирования в вопросах оптимизации дорожного движения / Н.С. Веремчук // Вестник кибернетики. 2022. 4 (48). С. 23-28.

11. Попов А.В. Высокая смертность при ДТП в Российской Федерации: возможные причины и пути снижения / А.В. Попов, У.М. Каймакова, Н.П. Стецкий // Мир транспорта. 2019. Т. 17. №. 3. С. 192-205.

12. Попов Д.Д. Исследование влияния климатических условий на обстоятельства дорожно-транспортных происшествий, связанных со встречным столкновением пассажирских автотранспортных средств / Д.Д. Попов, А.А. Несмеянов // Актуальные вопросы судебных инженерно-технических экспертиз. 2019. С. 60-63.

13. Самсонов В.С. Предложения по совершенствованию управления организацией транспортного обслуживания населения в городском округе город Воронеж / В.С. Самсонов, А.Н. Асташов // Вестник Воронежского института экономики и социального управления. 2022. № 4. С. 31-37.

14. Веремчук Н.С. Применение методов имитационного моделирования в процессе профессиональной подготовки специалистов в области дорожного строительства / Н.С. Веремчук, О.М. Куликова // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2022. Т. 11. № 4. С. 17-23.

15. Ефромеева Е.В. Имитационное моделирование: основы практического применения в среде AnyLogic / Е.В. Ефромеева, Н.М. Ефромеев. Учебное пособие. М.: Вузовское образование, 2020. 120 с.

16. Муравьев Д. Мультиагентная оптимизация основных параметров интермодального терминала с использованием платформы моделирования AnyLogic: на примере порта Нинбо-Чжоушань / Д. Муравьев, Х. Ху, А. Рахмангулов, П. Мишкуров // Международный журнал информационного менеджмента. 2021. Т. 57. 102133.

17. Ступин А. Борьба с дорожными заторами путем улучшения кольцевых линий и оптимизации длительности фаз светофоров с помощью anylogic / А. Ступин, Л. Казаковцев, А. Ступина // Transportation Research Procedia. 2022. Т. 63. С. 1104-1113.

18. Цзо Дж. Моделирование и оптимизация эвакуации пешеходов в городских районах с высокой плотностью населения для повышения эффективности / Дж. Цзо, Дж. Ши, Ч. Ли, Т. Му, Ю. Цзэн, Дж. Донг // Обзор оценки воздействия на окружающую среду. 2021. Т. 87. 106521.

References

1. Wei L., Zhou L., Sun D., Yuan B., Hu F. Evaluating the impact of urban expansion on the habitat quality and constructing ecological security patterns: A case study of Jiziwan in the Yellow River Basin, China // Ecological Indicators. 2022. Vol. 145. 109544.

2. «Dorozhno-transportnye travmy». Doklad Vsemirnoj organizacii zdravoohraneniya za 2018-2022 gg. [«Road traffic injuries». Report of the World Health Organization for 2018-2022] (<https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>).

3. Improving global road safety: resolution / adopted by the General Assembly (<https://digitallibrary.un.org/record/3879711?ln=ru>)

4. Bobrova T.V., Kodentseva Yu.V., Perfiliev M.S. Parameterization of environmental components in the information-modeling context of roads// CATPID-2019 IOP Conf. 2019. P. 698.

5. Jamroz K., Michalski L., Żukowska J. Polish experience of implementing Vision Zero // Current Trauma Reports. 2019. No. 3 (2). pp. 111-117.

6. Duurzaam veilig wegverkeer // SWOV. URL: <https://www.swov.nl/feiten/cijfers/factsheet/duurzaam-veilig-wegverkeer>.

7. Komarov V.V., Garagan S.A. Architecture and standardization of telematics and intelligent transport systems. foreign experience and domestic practice. M. : NTB ENERGIa, 2012. 352 p.

8. Kozhukhovskiy M.Yu., Osminin L.A. On the development of intelligent transport systems in the management of transport in urban agglomerations // Modern problems of improving the work of the railway. 2022. pp. 130-139.

9. Maslova A.A., Koroleva E.N. The influence of the digitalization process on geocological indicators of the development of a large city // Actual issues of the functioning of the economy of the Altai Territory: collection of articles / ch. ed. Val. V. Mishchenko. Issue 14. Barnaul: Publishing House of the Alt. University, 2022. pp. 52-64.
10. Veremchuk N.S. Elements of simulation modeling in matters of traffic optimization // Bulletin of Cybernetics. 2022. 4 (48). pp. 23-28.
11. Popov A.V., Kaymakova U.M., Stetskiy N.P. High mortality in road accidents in the Russian Federation: possible causes and ways to reduce // The world of transport. 2019. Vol. 17. No. 3. pp. 192-205.
12. Popov D.D., Nesmeyanov A.A. Investigation of the influence of climatic conditions on the circumstances of road accidents associated with an oncoming collision of passenger vehicles // Topical issues of judicial engineering and technical expertise. 2019. pp. 60-63.
13. Samsonov V.S., Astashov A.N. Proposals for improving the management of public transport services in the Voronezh city district // Bulletin of the Voronezh Institute of Economics and Social Management. 2022. No. 4. pp. 31-37.
14. Veremchuk N.S., Kulikova O.M. Application of simulation modeling methods in the process of professional training of specialists in the field of road construction // Bulletin of the Siberian Institute of Business and Information Technology. 2022. Vol. 11. No. 4. pp. 17-23.
15. Efromeeva E.V., Efromeev N.M. Simulation modeling: fundamentals of practical application in the AnyLogic environment. Textbook. M.: University education, 2020. 120 p.
16. Muravev D., Hu H., Rakhmangulov A., Mishkurov P. Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port // International Journal of Information Management. 2021. Vol. 57. 102133.
17. Stupin A., Kazakovtsev L., Stupina A. Control of traffic congestion by improving the rings and optimizing the phase lengths of traffic lights with the help of anylogic // Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 63. pp. 1104-1113.
18. Zuo J., Shi J., Li Ch., Mu T., Zeng Yu., Dong J. Simulation and optimization of pedestrian evacuation in high-density urban areas for effectiveness improvement // Environmental Impact Assessment Review. 2021. Vol. 87. 106521.