

Масюк Наталья Николаевна

ФГБОУ ВО Владивостокский государственный университет

Профессор кафедры экономики и управления

Доктор экономических наук, профессор

E-mail: masyukn@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8055-8597>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=379603

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6507099557>

Коденцева Юлия Викторовна

ФГБОУ ВО Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

Проректор по проектной и организационной деятельности

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: kodjul78@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6548-1907>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=196660

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57214226555>

Инструментарий идентификации и оценки рисков в жизненном цикле дорожно-строительных объектов умных городов

Аннотация. **Предмет** – статья посвящена вопросам управления рисками в современном умном городе. **Цель исследования** – идентифицировать риски в жизненном цикле дорожно-строительных объектов с применением технологий градиентного бустинга. **Методология исследования.** Методология исследования построена на применении методов машинного обучения к показателям, характеризующим безопасность в современных урбанистических пространствах. С применением парсера сформирован датасет, включающий характеристики дорожно-транспортных происшествий, такие как показатели смертности на автомобильных дорогах, качество дорожно-транспортной инфраструктуры, ее эксплуатации и выполнение строительных работ. Использованы статистические данные с сайта ГИБДД (<http://stat.gibdd.ru/>) за 2023 год по г. Омску. В расчетах использована высокопроизводительная библиотека машинного обучения с открытым кодом CatBoost, основанная на градиентном бустинге, работающая с числовыми и категориальными признаками. Определение оптимальных значений модели выполнено с применением алгоритма GridSearchCV. Для оценки влияния параметров на результирующую переменную применен SHAP-анализ. **Результаты.** Разработан авторский подход к косвенной оценке рисков в жизненном цикле дорожно-строительных объектов в современном городе, базирующийся на технологиях когнитивной визуализации и методов машинного обучения. Его апробация позволила выявить, что на возникновение чрезвычайных ситуаций в городе, и, следовательно, повышение уровня риска, в том числе гибели людей, в урбанистическом пространстве оказывают влияние факторы, связанные с фазами проектирования и эксплуатации дорожно-строительных объектов, а также их текущего состояния и капитального ремонта. **Применение.** Результаты исследований могут быть использованы при разработке программ и проектов развития урбанистической инфраструктуры, совершенствования технологий управления современным городом на региональном и федеральном уровнях.

Ключевые слова: управление рисками, жизненный цикл дорожно-строительных объектов, проектное управление, умные города, машинное обучение.

Введение

В настоящее время становятся актуальными вопросы разработки инновационных технологий строительства умных городов, обеспечивающих комфорт и безопасность их жителей.

Современный умный город использует информационные и коммуникационные технологии для улучшения качества жизни своих граждан, повышения эффективности городских операций и конкурентоспособности услуг, следуя основным концепциям балансовой устойчивости и зеленой экономики [1, 2]. Следовательно, ключевыми функциональными компонентами умных городов являются социально-экономическое развитие, управление изменением климата, умный транспорт, устойчивое потребление и производство, управление природными не возобновляемыми ресурсами, управление общественным здравоохранением, социальная интеграция, демографические изменения, глобальное партнерство и оптимальное управление [3]. Это достигается за счет прорывных технологий, в том числе Индустрии 4.0, приоритетами которых становятся экологичность, снижение рисков и обеспечение минимальной стоимости жизненного цикла инфраструктурных объектов [3-5].

Благодаря современным технологиям трансформируется жизненный цикл дорожно-строительных объектов в умных городах, и, следовательно, поднимаются вопросы управления рисками в рамках их снижения или распределения между всеми их стейкхолдерами проектов [6-8]. В современной науке не существует единой универсальной таксономии рисков в жизненном цикле инфраструктурных объектов, что значительно затрудняет решение задач их идентификации и прогнозирования. Как показал библиографический поиск, труды современных ученых главным образом сосредоточены на анализе рисков, связанных с технологиями, деятельностью организаций и изменениями в экологии [9-11]. Также анализируются риски, связанные стандартизацией, новыми технологиями и кибербезопасностью [12-14]. Это повышает уровень субъективности и предвзятости в планировании и реализации устойчивых проектов в строительной сфере умных городов, увеличивая тем самым вероятность наступления неблагоприятных событий, например, связанных с травматизмом и гибелью людей.

При этом отсутствие вышеуказанной единой таксономии рисков не позволяет создать единый реестр статистических данных для решения задач предиктивной аналитики и мониторинга оценки безопасности строительства и эксплуатации инфраструктурных объектов в умном городе. Как показывает опыт, наиболее опасными с позиций причинения ущерба жизни жителям, в том числе в умном городе являются дорожно-транспортные инфраструктурные объекты [15-17]. И поскольку, технологии управления рисками в умном городе в настоящее время еще только развиваются, в настоящее время возникает необходимость создания экспресс-методики, позволяющей на основании прямых и косвенных данных оценивать влияние факторов жизненного цикла объектов дорожно-транспортной инфраструктуры, на возникновение риск-образующих событий. На решение поставленной задачи направлено данное исследование.

На основании вышесказанного сформулирована цель, гипотеза и методология исследования.

Цель исследования – сформировать инструментарий идентификации и оценки рисков в жизненном цикле дорожно-строительных объектов в умных городах с применением технологий интеллектуального анализа данных.

Следовательно, гипотеза исследования может быть сформулирована следующим образом: особенности строительства и эксплуатации элементов дорожной инфраструктуры являются предикторами рисков в современном городе.

Методология исследования

Методология исследования построена на применении методов машинного обучения к показателям, характеризующим безопасность в современных урбанистических пространствах, и включает следующие этапы: 1) формирование датасета; 2) парциальная обработка данных; 3) кодировка категориальных данных; 4) построение модели CatBoostClassifier и определение ее оптимальных параметров; 5) расчет метрик качества классификации; 6) расчет значимости вклада показателей в решение задачи классификации; 7) визуализация результатов.

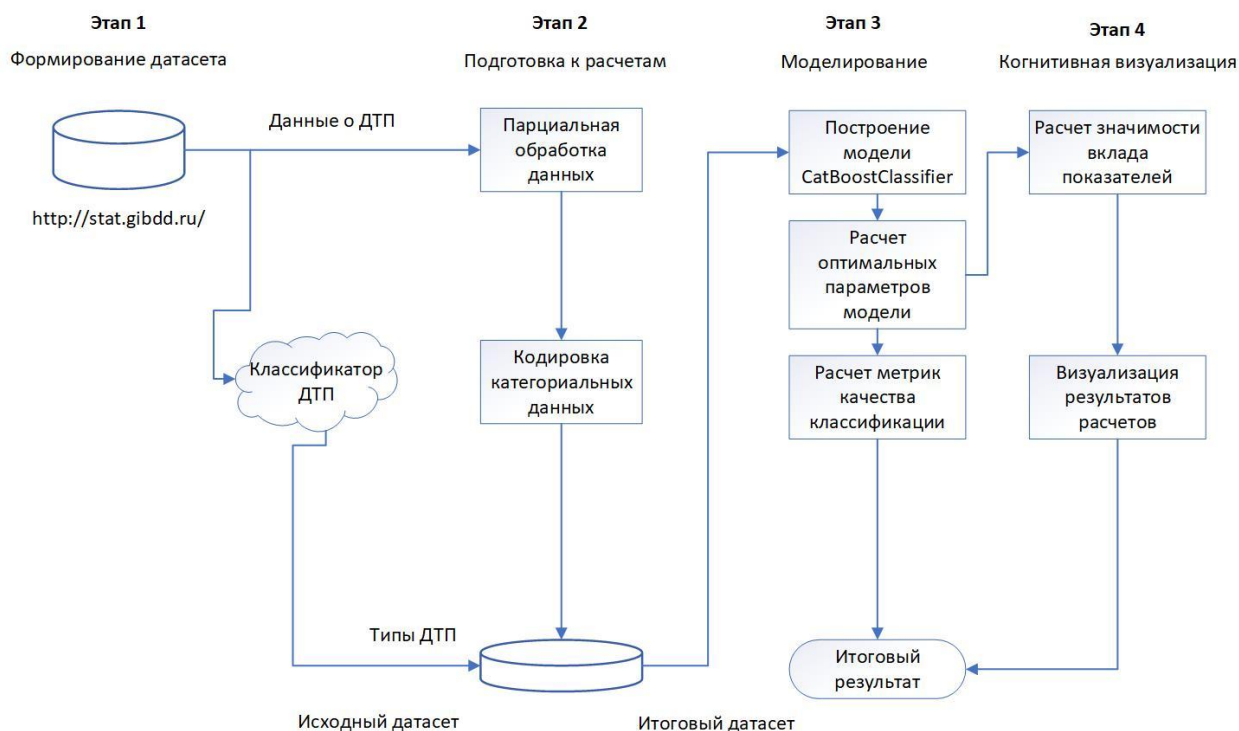


Рисунок. 1. Методология исследования

Источник. Составлено авторами.

Материалы и методы

С применением парсера сформирован датасет, включающий характеристики дорожно-транспортных происшествий, такие как показатели смертности на автомобильных дорогах, качество дорожно-транспортной инфраструктуры, ее эксплуатации и выполнение строительных работ. Использованы статистические данные с сайта ГИБДД (<http://stat.gibdd.ru/>) за апрель-сентябрь 2023 год по г. Омску. В расчетах использованы показатели, характеризующие обстоятельства ДТП:

- *время происшествия*– (Time);
- *вид происшествия* (столкновение, наезд на препятствие и пр.) – (x_0);
- *категория улицы* (магистральные дороги, магистральные дороги общегородского назначения, магистральные дороги районного значения, проезды, улицы и дороги местного значения в жилой застройке, иные места) – (x_1);
- *объекты улично-дорожной сети на месте ДТП* (автостоянка, внутри дворовая территория, выезд с прилегающей территории и пр.) – (x_2);
- *объекты улично-дорожной сети вблизи места ДТП* (жилые здания, административные здания, парковки и пр.) – (x_3);

- *недостатки транспортно-эксплуатационного содержания улично-дорожной сети* (дефекты покрытия, отсутствие разметки, отсутствие дорожных знаков и пр.) – (x_4);
- *факторы, оказывающие влияние на режим движения* (проведение дорожных работ, перекрытие тротуаров, проезжей части, нерабочие светофоры и пр.) – (x_5);
- *время суток (светлое, темное) и наличие/отсутствие освещения проезжей части* – (x_6);
- *состояние погоды* (дождь, ясная погода, экстремальная жара и пр.) – (x_7);
- *состояние проезжей части* (сухое, влажное) – (x_8).

Указанные показатели являются категориальными, и для использования в расчетах выполнена их кодировка с применением метода частотного кодирования. Поскольку на сайте ГИБДД имеется информация только с ДТП с пострадавшими, при выполнении расчетов разделены на два класса по наличию/отсутствию погибших. Выполнена бинарная кодировка выходной переменной: «1» присваивалась классу ДТП с наличием погибших.

В расчетах использована высокопроизводительная библиотека машинного обучения с открытым кодом CatBoost [18, 19, 20], основанная на градиентном бустинге, работающая с числовыми и категориальными признаками. Определение оптимальных значений модели выполнено с применением алгоритма GridSearchCV [19, 20]. Для оценки влияния параметров на результирующую переменную применен SHAP-анализ [20, 21].

Для построения карты распределения ДТП в городе использованы географические координаты точек, где произошла авария.

Расчеты выполнены с применением библиотек Pандас, CatBoost, Geopандас, Fолиумязыка программирования Python.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объекта исследования выбран типовой крупный промышленный центр федерального центра России г. Омск, в котором активно в последние годы внедряются технологии умного города [21-24]. В практику управления инфраструктурой и обеспечение безопасности в городской среде постепенно внедряются «умные светофоры», интеллектуальные системы мониторинга дорожного движения и пр. Все это способствует цифровой трансформации городской среды и созданию нового урбанистического пространства [25, 26].

Поскольку в настоящее время в России в недостаточной степени развиты и применяются технологии комплексного мониторинга строительства и эксплуатации инфраструктурных объектов в условиях города, в исследовании принято решение использования статистических данных, характеризующих частое возникновение рисков ситуаций в урбанистической среде, таких как ДТП, поскольку в структуре чрезвычайных ситуаций они занимают лидирующие позиции [27]. Анализ данных показателей в режиме экспресс-анализа позволит косвенно оценить влияние факторов жизненного цикла объектов дорожно-транспортной инфраструктуры, на возникновение риск-образующих событий. Для решения данной задачи необходимо применение методов машинного обучения, способных выявлять скрытые закономерности в больших массивах данных различной размерности, в различных шкалах [28, 29]. Предложенная авторами в статье методология анализа может быть применена в экспресс-оценке в жизненном цикле объектов дорожно-транспортной инфраструктуры как инструмент прогнозирования возникновения риск-образующих событий.

После формирования окончательного варианта датасета для проведения исследования выполним группировку входных параметров, характеризующих ДТП, по причине их влияния на жизненный цикл объектов дорожно-транспортной инфраструктуры в современном городе. Параметры x_1 - x_3 характеризуют этап проектирования и строительства вышеуказанных объектов, параметры x_4 - x_6 определяют условия их эксплуатации, параметры x_7 , x_8 , x_0 , Time являются вспомогательные и описывают влияние факторов внешней среды и некоторые характеристики произошедшего ДТП.

Опишем результаты проведенных расчетов. В расчетах использованы данные о ДТП за апрель-сентябрь с целью исключения влияния снежного покрова на возникновение данного вида чрезвычайных ситуаций, поскольку природно-климатические характеристики в значительной степени повышают аварийность на дорогах и зачастую требуют применения дополнительных методов исследования.

На рис. 2 показано распределения ДТП в городе в исследуемый период в виде тепловой карты.

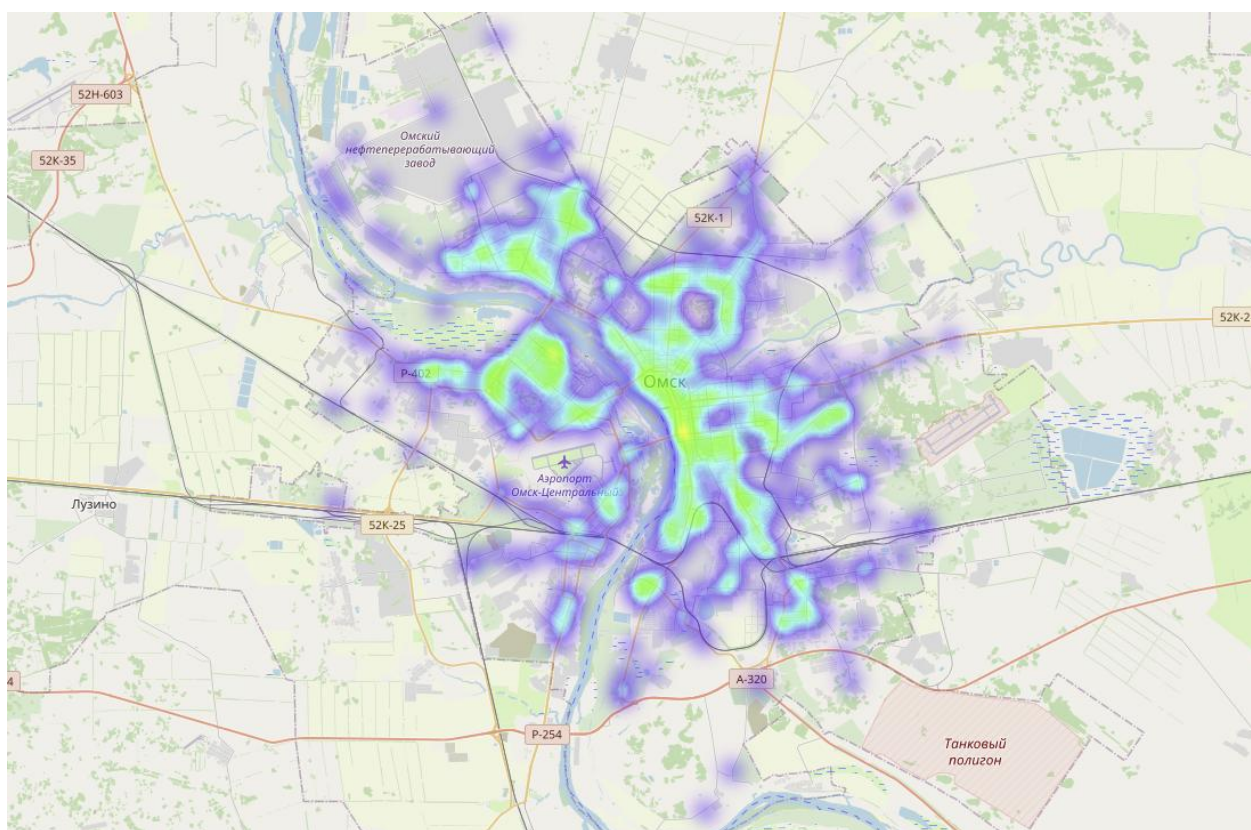


Рисунок. 2. Карта распределения ДТП в г. Омске в бесснежный период в 2023 году
Источник. Составлено авторами.

Анализ рис. 2 позволил сделать вывод, что наибольшая концентрация ДТП в Омске отмечается в центральных районах (на рисунке это представлено наиболее ярко выраженным цветом), что связано не только с высокой интенсивностью дорожного движения¹ и возрастающими скоростями движения, представляющие собой внешние факторы, но и их совокупное влияние в сочетании с факторами внутреннего характера, что формирует на дорогах образование различных видов дефектов. При этом к

¹<https://yandex.ru/maps/66/omsk/probki/>

внутренним факторам образования дефектов можно отнести показатели физико-механических характеристик дорожных конструкций подверженных влиянию природно-климатических факторов и колебаниям температур воздуха и покрытия дорог, а также повышением влажности оснований дорог в весенне-летне-осеннем периоде. В ходе проведения сотрудниками ФГБОУ ВО «СибАДИ» научно-исследовательских работ [30] были собраны экспериментальные данные визуального осмотра дорожных покрытий городских улиц г. Омска с использованием специальных приборов для измерения их состояний. По результату экспериментальных данных наибольшее количество дефектов зафиксировано в центральных районах города, что свидетельствует о высокой степени сходимости с эмпирическими данными авторов. Это доказывает, что модель, основанная на использовании метода машинного зрения, способна достаточно точно предсказывать образование дефектов на дороге.

Кроме этого ошибки сформированные на других стадиях жизненного цикла дорожных объектов, так же могут оказывать значительное влияние на транспортно-эксплуатационное их состояние на стадии эксплуатации. Так в работе [31] через параметрический подход сформирована зависимость между обоснованием конструктивных и организационно-технологических решений, основанных на детальном анализе исходных изыскательских данных, и качеством решений в процессе разработки технической документации на проектировании и строительстве автомобильных дорог.

Таким образом, результаты анализа и сравнений подтверждают эффективность использования методологии анализа жизненного цикла объектов дорожно-транспортной инфраструктуры для моделирования процессов, связанных с образованием дефектов на дорожных покрытиях. При этом она может быть полезна для разработки систем раннего предупреждения о возможных проблемах с дорожным покрытием, что позволит своевременно принимать меры по их устранению и предотвращению аварийных ситуаций.

С применением библиотек CatBoost и SHAP-анализа авторами выполнено решение задачи классификации и выделения значимых факторов на аварийность в региональном центре. Оптимальные параметры построенной классификационной модели приведены в сноске². Количество итераций при построении модели – 3999. Точность моделирования при решении задачи классификации – 1,00.

На рис. 3 приведен график, определяющий значимость исследуемых факторов на вероятность возникновения ДТП (использована визуализация, предлагаемая SHAP-анализом).

²{'loss_function': 'CrossEntropy',
'random_seed': 5,
'use_best_model': True,
'silent': True,
'one_hot_max_size': 2,
'eval_metric': 'WKappa',
'task_type': 'CPU',
'n_estimators': 4000,
'learning_rate': 0.5531288311562329,
'max_depth': 2,
'colsample_bylevel': 0.5,
'bagging_temperature': 100.0,
'random_strength': 5.416910429457938,
'reg_lambda': 1.0}

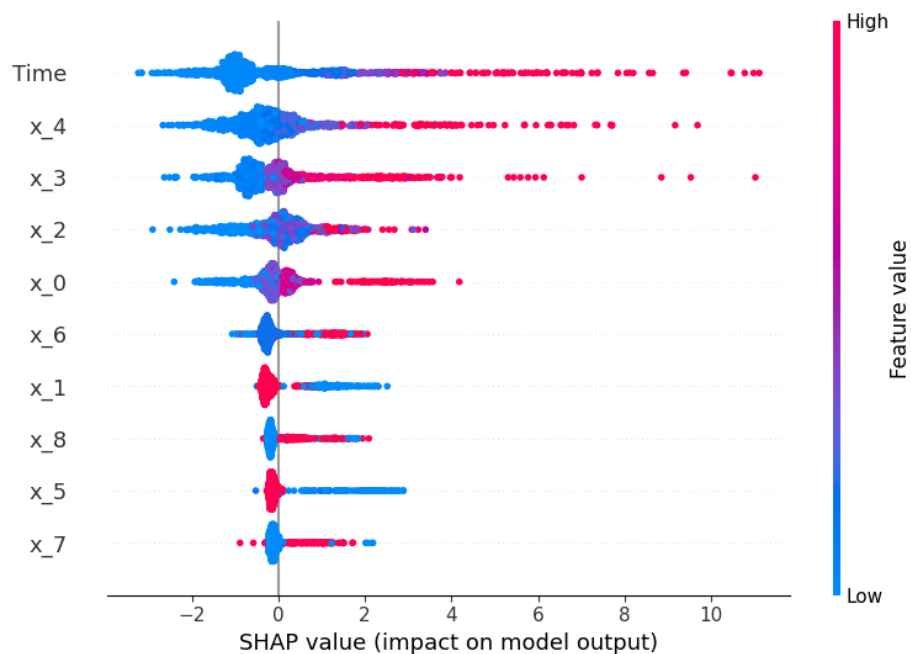


Рисунок. 3. График, определяющий значимость исследуемых факторов на вероятность возникновения ДТП

Источник. Составлено авторами.

Наиболее значимыми риск-образующими факторами возникновения рискообразующих ситуаций как ДТП в современном городе, трансформирующемся в результате применения цифровых технологий, главным образом связанные с фазами проектирования и эксплуатации дорожно-транспортной инфраструктуры, временем и видом происшествия (рис. 3). Недостатки транспортно-эксплуатационного содержания улично-дорожной сети, к которым относятся дефекты дорожного покрытия, ямы, отсутствие горизонтальной разметки и дорожных знаков, искусственные препятствия, создаваемые в том числе при выполнении ремонтных работ, в значительной степени повышают вероятность возникновения неблагоприятных событий и гибели людей. Второй по значимости предиктор возникновения чрезвычайных ситуаций в городе, связанный дорожно-транспортной инфраструктурой, это объекты улично-дорожной сети вблизи места ДТП (жилые здания, административные здания, парковки и пр.), что необходимо учитывать в фазе проектирования объектов вышеуказанной инфраструктуры. Включение в риск-образующие предикторы чрезвычайных ситуаций в городе времени ДТП, по нашему мнению, связано, с динамикой изменения интенсивности транспортных потоков.

Полученные в исследовании результаты подтверждаются и ряде трудов других ученых, которые показали, что соответствие объектов дорожно-транспортной инфраструктуры и качество их эксплуатации являются главными причинами получения травм и гибели людей в ДТП [32-33].

Заключение

На основании проведенных расчетов могут быть сделаны выводы.

В настоящее время в рамках цифровизации экономики и проектирования умных городов остро стоит вопрос обеспечения безопасности населения и снижения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций. Но существующие технологии мониторинга в современных урбанистических пространствах, в частности в России еще в недостаточной степени развиты, и не позволяют на высоком уровне управлять городской инфраструктурой, что является одной из причин избыточной смертности населения в

урбанистическом пространстве. Это требует разработки новых инструментов анализа предикторов возникновения рисков ситуаций в городских условиях, способных работать в современных условиях и выявлять скрытые закономерности, выполнять идентификацию факторов риска, разрабатывать оптимальные управленческие решения на региональном и федеральном уровнях.

Авторами статьи разработана методика экспресс-оценки идентификации риск-образующих факторов, связанных с фазами жизненного цикла объектов дорожно-транспортной инфраструктуры, положительное влияние которых способствует увеличению количества чрезвычайных ситуаций, таких как ДТП. Применение методов машинного обучения позволило работать с категориальным типом данных, поскольку значительное количество статистических данных собирается в таком формате, что затрудняет применение традиционных методов статистического анализа.

Применение авторской методики позволило выявить, что на возникновение ДТП в современном городе очень редко влияние оказывает один параметр, объясняющий его наступление. В большинстве случаев наступление аварийной ситуации является следствием комплекса факторов, но из-за недостатка методов комплексного их учета при фиксации случаев образования ДТП указывается лишь одна причина – влияние роли дорожных условий, которая по статистическим данным не имеет столь высокий уровень объяснения данных причин. В разных странах данный параметр варьируется от 2 до 20%, в России каждое пятое происшествие фиксируется данная причина, но при этом расследования ГИБДД происходит без комплексной методики совокупного учета по данным мониторинга состояния дорожного покрытия и их отклонению от прогнозной модели сформированной на стадии сдачи объекта в эксплуатацию, а также состояния на текущую ситуацию погодных условий и других параметров. Данная комплексная методика позволит внести изменения в подходы к проектированию, строительству и содержанию дорог в части повышения ответственности участников дорожных организаций для каждой стадии жизненного цикла создания дорожного объекта для повышения безопасности и снижению аварийности в городских условиях организации дорожного движения.

Результаты исследования могут быть использованы при решении задач проектного и программного управления развитием современного города, создания безопасной урбанистической среды, в которой не только безопасно, но и удобно жить людям.

Литература

1. Ahad M. A. Enabling technologies and sustainable smart cities / M. A. Ahad [и др.]. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102301> // Sustainable cities and society. – 2020. – Volume 61. – 102301. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720305229> (дата обращения: 02.11.2024)
2. Ullah I. Encouraging knowledge sharing behavior through team innovation climate, .altruistic intention and organizational culture/ I. Ullah [и др.]. – DOI:10.34105/j.kmel.2016.08.038 // Knowledge Management & E-Learning. – 2016. – Т. 8. – №. 4. – С. 628. URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/6c6a802b4508126ddb6e9943564833ff335cb86c> (дата обращения: 02.11.2024)
3. Razmjoo A. Effective policies to overcome barriers in the development of smart cities/ A. Razmjoo [и др.]. – DOI <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102175> // Energy Research & Social Science. – 2021. – Т. 79. – С. 102175. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621002681> (дата обращения: 02.11.2024)

4. Ismagilova E. [и др.] Security, privacy and risks within smart cities: Literature review and development of a smart city interaction framework/ E. Ismagilova. –DOI: <https://doi.org/10.1007/s10796-020-10044-1> //Information Systems Frontiers. – 2022. – С. 1-22. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10796-020-10044-1> (дата обращения: 02.11.2024)
5. Ullah F.. Risk management in sustainable smart cities governance: A TOE framework/ F. Ullah [и др.]. –DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120743> //Technological Forecasting and Social Change. – 2021. – Т. 167. – С. 120743. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016252100175X> (дата обращения: 02.11.2024)
6. El-Kholei A. O. Risks, hazards, and disasters: can a smart city be resilient?/ A. O. El-Kholei. –DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816639-0.00008-9>//Smart Cities: Issues and Challenges. – Elsevier, 2019. – С. 125-146. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128166390000089> (дата обращения: 02.11.2024)
7. Al Sharif R. Smart city dimensions and associated risks: Review of literature/ Al R. Sharif, S. Pokharel. –DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103542>//Sustainable cities and society. – 2022. – Т. 77. – С. 103542. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670721008088> (дата обращения: 02.11.2024)
8. Izrailov K. Threats classification method for the transport infrastructure of a smart city/ K. Izrailov, A. Chechulin, L. Vitkova//2020 IEEE 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). – IEEE, 2020. – С. 1-6. URL:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9368828> (дата обращения: 02.11.2024)
9. Shayan S. The first two decades of smart city research from a risk perspective/ S. Shayan[и др.]. –DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219280>//Sustainability. – 2020. – Т. 12. – №. 21. – С. 9280. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9280> (дата обращения: 02.11.2024)
10. Kitchin R. The (in) security of smart cities: Vulnerabilities, risks, mitigation, and prevention/ R. Kitchin, M. Dodge //Smart cities and innovative Urban technologies. – Routledge, 2020. – С. 47-65. URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003132851-4/security-smart-cities-vulnerabilities-risks-mitigation-prevention-rob-kitchin-martin-dodge> (дата обращения: 02.11.2024)
11. Giffinger R. Smart city concepts: Chances and risks of energy efficient urban development/ R. Giffinger//Smart Cities, Green Technologies, and Intelligent Transport Systems: 4th International Conference, SMARTGREENS 2015, and 1st International Conference VEHITS 2015, Lisbon, Portugal, May 20-22, 2015, Revised Selected Papers 4. – Springer International Publishing, 2015. – С. 3-16. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-27753-0_1 (дата обращения: 02.11.2024)
12. Kalinin, M. Cybersecurity Risk Assessment in Smart City Infrastructures./ M. Kalinin, V. Krundyshev, P. Zegzhda. – <https://doi.org/10.3390/machines9040078>. –DOI: <https://doi.org/10.3390/machines9040078>//Machines. – 2021. – 9. – 78. URL: <https://www.mdpi.com/2075-1702/9/4/78> (дата обращения: 02.11.2024)
13. Vitunskaitė M. Smart cities and cyber security: Are we there yet? A comparative study on the role of standards, third party risk management and security ownership/ M. Vitunskaitė[и др.]. –DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.02.009>//Computers & Security. – 2019. – Т. 83. – С. 313-331. URL:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404818310423> (дата обращения: 02.11.2024)
14. Telo J. Smart city security threats and countermeasures in the context of emerging technologies/ J. Telo//International Journal of Intelligent Automation and Computing. – 2023. – Т. 6. – №. 1. – С. 31-45. URL: <https://research.tensorgate.org/index.php/IJIAC/article/view/18/17> (дата обращения: 02.11.2024)
 15. Bhatti F. A novel internet of things-enabled accident detection and reporting system for smart city environments/ F. Bhatti [и др.]. – DOI:<https://doi.org/10.3390/s19092071>//Sensors. – 2019. – Т. 19. – №. 9. – С. 2071. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/9/2071> (дата обращения: 02.11.2024)
 16. Adewopo V. A. A review on action recognition for accident detection in smart city transportation systems/ V. A. Adewopo [и др.]//Journal of Electrical Systems and Information Technology. – 2023. – Т. 10. – №. 1. – С. 57.URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s43067-023-00124-y> (дата обращения: 02.11.2024)
 17. Pathik N. Ai enabled accident detection and alert system using iot and deep learning for smart cities/ N. Pathik [и др.]. – DOI: <https://doi.org/10.3390/su14137701> //Sustainability. – 2022. – Т. 14. – №. 13. – С. 7701. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/13/7701> (дата обращения: 02.11.2024)
 18. Altaf I. Classifying collisions in road accidents using XGBOOST, CATBOOST and SALP SWARM based optimization algorithms/ I. Altaf, A. Kaul. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-023-16969-4>//Multimedia Tools and Applications. – 2024. – Т. 83. – №. 13. – С. 38387-38410.URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-023-16969-4> (дата обращения: 02.11.2024)
 19. Lin C. Quantifying and comparing the effects of human and organizational factors in electric maloperation accidents with HFACS–CatBoost and SHAP/ C. Lin, Q. Xu, Y. Huang. – DOI: <https://doi.org/10.1002/hfm.20975>//Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries. – 2023. – Т. 33. – №. 2. – С. 164-183.URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hfm.20975> (дата обращения: 02.11.2024)
 20. Zahid M. Factors affecting injury severity in motorcycle crashes: Different age groups analysis using Catboost and SHAP techniques/ M. Zahid [и др.]. – DOI: <https://doi.org/10.1080/15389588.2023.2297168>//Traffic injury prevention. – 2024. – Т. 25. – №. 3. – С. 472-481.URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15389588.2023.2297168> (дата обращения: 02.11.2024).
 21. Веселова А. О. Перспективы создания" умных городов" в России: систематизация проблем и направлений их решения/ А. О. Веселова, А. Н. Хацкелевич, Л. С. Ежова //Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. – 2018. – Т. 13. – №. 1. – С. 75-89. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-sozdaniya-umnyh-gorodov-v-rossii-sistematizatsiya-problem-i-napravleniy-ih-resheniya> (дата обращения: 02.11.2024).
 22. Колодий Н. А. Умный город: особенности концепции, специфика адаптации к российским реалиям/ Н. А. Колодий, В. С. Иванова, Н. А. Гончарова //Социологический журнал. – 2020. – №. 2. – С. 102-123. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43165271> (дата обращения: 02.11.2024).
 23. Сорока Е. Г. ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА «УМНЫЙ ГОРОД» В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ/ Е.Г. Сорока //Социально-экономические и правовые системы стран евразийской эконо. – 2020. – С. 556. URL: <https://sibit.sano.ru/assets/files/docs4/27-03-2020/Sbornik.pdf#page=556> (дата обращения: 02.11.2024).

24. Капогузов Е. А. Механизмы взаимодействия городских сообществ при формировании Smart-City (на примере города Омска)/ Е. А. Капогузов, С. Н. Оводова, Р. И. Чупин //Вопросы управления. – 2019. – №. 6 (61). – С. 272-280. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/37833/view> (дата обращения: 02.11.2024).
25. Владимиров Д. Г. Умный город: особенности формирования концепции региональных городов российской Федерации/ Д. Г. Владимиров, А. М. Воротников //Вестник российского университета кооперации. – 2018. – №. 3 (33). – С. 17-22. URL: <http://www.iep.kolasc.net.ru/journal/files/2019-3.pdf> (дата обращения: 02.11.2024).
26. Строев П. В. «Умный город» как новый этап городского развития/ П. В. Строев, С. Б. Решетников. – DOI: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2017-3-207-214> //Экономика промышленности/Russian Journal of Industrial Economics. – 2017. – Т. 10. – №. 3. – С. 207-214. URL: <https://ecoprom.misis.ru/jour/article/view/605> (дата обращения: 02.11.2024).
27. Тимошевский А. А. Сравнительная характеристика и анализ чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации в 2011-2019 гг/ А. А. Тимошевский. – DOI: 10.18411/lj-07-2020-186 // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №. 63-5. – С. 134-142. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43557639>(дата обращения: 02.11.2024).
28. Hancock J. T. CatBoost for big data: an interdisciplinary review/ J. T. Hancock, T. M. Khoshgoftaar. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00369-8> // Journal of big data. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 94. URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40537-020-00369-8> (дата обращения: 02.11.2024).
29. Prokhorenkova L. et al. CatBoost: unbiased boosting with categorical features/ L. Prokhorenkova, G Gusev, A Vorobev [и др.] // Advances in neural information processing systems. – 2018. – Т. 31. URL: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2018/hash/14491b756b3a51daac41c24863285549-Abstract.html> (дата обращения: 02.11.2024).
30. Анализ причин колееобразования на покрытиях нежестких дорожных одежд и рекомендации по уменьшению этого явления / А. С. Александров, Т. В. Семенова, А. Л. Калинин – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-718-745> // Вестник СибАДИ – 2019 – Том 16, № 6 – С. 718-745 – [analiz-prichin-koleeobrazovaniya-na-pokrytiyah-nezhestkih-dorozhnyh-odezhd-i-rekomendatsii-po-umensheniyu-etogo-yavleniya. pdf](https://vestnik.sibadi.ru/analiz-prichin-koleeobrazovaniya-na-pokrytiyah-nezhestkih-dorozhnyh-odezhd-i-rekomendatsii-po-umensheniyu-etogo-yavleniya.pdf) (дата обращения: 02.11.2024)
31. Bobrova TV. Parameterization of environmental components in the information-modeling context of roads/ Т V Bobrova, Yu V Kodentseva, M S Perfiliev – Doi:10.1088/1757-899X/698/6/066006// CATPID-2019 IOP Conf. – 2019. – С. 698 URL: https://www.researchgate.net/publication/338017746_Parameterization_of_environmental_components_in_the_information-modeling_context_of_roads (дата обращения 02.11.2024)
32. Li G. ReMAHA–CatBoost: Addressing Imbalanced Data in Traffic Accident Prediction Tasks/ Li G. [и др.]. – DOI: <https://doi.org/10.3390/app132413123> //Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – №. 24. – С. 13123. URL <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/24/13123> (дата обращения: 02.11.2024).
33. Ding T. Accident Probability Prediction and Analysis of Bus Drivers Based on Occupational Characteristics/ T. Ding. [и др.]. – DOI: <https://doi.org/10.3390/app14010279> //Applied Sciences. – 2023. – Т. 14. – №. 1. – С. 279. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/1/279> (дата обращения: 02.11.2024).