

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макеев, В. Н. Определение оптимальной грузоподъемности единицы лесовозного подвижного состава / В. Н. Макеев // Лесотехнический журнал. – 2015. – № 4 (16). – С. 97–102.

2. Kush, Y. I. Forming of the method of selecting vehicle optimum load capacity / Y. I. Kush, A. S. Galkin // Научный вестник Национальной академии управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством. – Харьков, 2015. – Вып. 103. – С. 103–109.

3. Naumov, V. Estimating the Vehicles' Number for Servicing a Flow of Requests on Goods Delivery / V. Naumov // Transportation Research Procedia. – 2017. – Vol. 27. – P. 412–419.

Представлено 25.08.2025

УДК 656.13.08

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙНОСТИ В УСЛОВИЯХ РОСТА АВТОМОБИЛИЗАЦИИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

### **TRAFFIC ACCIDENT PREDICTION IN THE CONTEXT OF GROWING MOTORIZATION AND CLIMATE CHANGE**

**Богданович С. В.**, канд. техн. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
S. Bogdanovich, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

*Рассматриваются современные подходы к прогнозированию дорожно-транспортных происшествий в условиях интенсивной автомобилизации и климатических изменений. Анализируются ограничения традиционных методов и возможности технологий искусственного интеллекта. Предлагаются рекомендации по повышению точности прогностических моделей на основе больших данных и машинного обучения.*

*Modern approaches to traffic accident prediction under intensive motorization and climate change conditions are examined. Limitations of traditional methods and capabilities of artificial intelligence technologies are analyzed. Recommendations for improving predictive model accuracy based on big data and machine learning are proposed.*

**Ключевые слова:** прогнозирование аварийности, автомобилизация, климатические изменения, искусственный интеллект, машинное обучение, транспортная безопасность.

**Keywords:** accident prediction, motorization, climate change, artificial intelligence, machine learning, transportation safety.

## ВВЕДЕНИЕ

Современная транспортная система сталкивается с многими проблемами, связанными с ростом автомобилизации и усиливающимся воздействием климатических изменений на безопасность дорожного движения. Согласно прогнозам международных организаций, к 2050 году количество автомобилей в мире может удвоиться, что существенно увеличит нагрузку на транспортную инфраструктуру и потребует пересмотра подходов к обеспечению безопасности дорожного движения [1].

Параллельно с процессами автомобилизации наблюдается усиление воздействия климатических факторов на транспортную систему. Учащение экстремальных погодных явлений, изменение температурных режимов и осадков создают дополнительные риски для участников дорожного движения и требуют разработки новых методов прогнозирования и предотвращения дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Традиционные методы прогнозирования аварийности, основанные на статистическом анализе исторических данных, оказываются недостаточно эффективными в условиях динамично изменяющейся транспортной среды. Возникает необходимость в разработке комплексных подходов, способных учитывать множественные факторы риска и адаптироваться к быстро меняющимся условиям эксплуатации транспортной инфраструктуры.

Цель данного исследования заключается в анализе современных подходов к прогнозированию аварийности с учетом влияния роста автомобилизации и климатических изменений, а также в выработке рекомендаций по повышению точности прогностических моделей.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ АВАРИЙНОСТИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Интенсивная автомобилизация современного общества создает многослойную систему рисков для безопасности дорожного движения. Увеличение количества транспортных средств приводит к росту сложности транспортных потоков и взаимодействий между участниками движения. Согласно данным международных исследований, плотность транспортного потока и аварийность связаны нелинейной зависимостью, при которой превышение определенных пороговых значений интенсивности движения приводит к резкому увеличению риска ДТП.

Особую озабоченность вызывает прогнозируемое удвоение автомобильного парка к 2050 году, что потребует пересмотра подходов к планированию и эксплуатации транспортной инфраструктуры (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние факторов автомобилизации на показатели аварийности

| Фактор<br>автомобилизации      | Воздействие<br>на аварийность   | Прогнозируемое<br>изменение к 2050 г. |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Плотность транспортного потока | Увеличение конфликтных ситуаций | +(85–120) %                           |
| Время в заторах                | Рост агрессивного поведения     | +(150–200) %                          |
| Сложность маневрирования       | Повышение вероятности ошибок    | +(60–90) %                            |
| Износ инфраструктуры           | Ухудшение дорожных условий      | +(40–70) %                            |

*Источники: составлено автором на основе данных OECD International Transport Forum (2019), European Commission Transport Statistics (2020), US Department of Transportation Federal Highway Administration (2021).*

Урбанизация усугубляет данные проблемы, создавая концентрированные зоны повышенного риска в городских агломерациях. Плотность городского трафика и многообразие участников движения – от пешеходов до грузового транспорта – формируют сложную динамическую систему, прогнозирование поведения которой требует применения передовых математических методов и технологий искусственного интеллекта [2].

Климатические изменения оказывают многофакторное воздействие на безопасность дорожного движения. Экстремальные погодные явления, такие как интенсивные ливни, продолжительные снегопады, туманы и ледяные дожди, создают условия значительно повышенного риска для всех категорий участников дорожного движения.

Статистические данные свидетельствуют о том, что в условиях неблагоприятных погодных условий количество дорожно-транспортных происшествий возрастает на 20–30 %, при этом тяжесть последствий также существенно увеличивается [3]. Основными механизмами воздействия погодных условий являются снижение коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием, ухудшение видимости, изменение психофизиологического состояния водителей и технических характеристик транспортных средств (рис. 1).

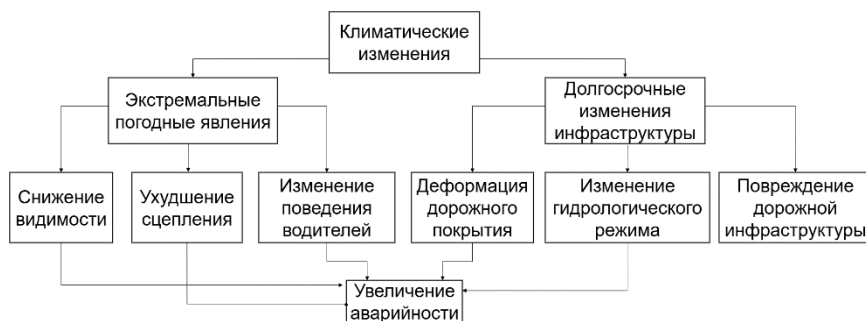


Рисунок 1 – Механизмы воздействия климатических изменений на аварийность дорожного движения

Источник: составлено автором.

Долгосрочные последствия климатических изменений включают ускоренное старение дорожного покрытия вследствие увеличения амплитуды температурных колебаний, повышение риска наводнений и подтоплений транспортной инфраструктуры, а также изменение геотехнических характеристик грунтов основания дорожных конструкций. Эти процессы требуют разработки адаптивных стратегий управления транспортными рисками и создания прогностических моделей, способных учитывать долгосрочную эволюцию климатических условий [4].

Классические методы прогнозирования аварийности базировались преимущественно на статистическом анализе исторических данных о дорожно-транспортных происшествиях. Данный подход предполагал выявление закономерностей в пространственно-временном распределении аварий и экстраполяцию выявленных трендов на будущие периоды.

Статические модели оценки рисков основывались на анализе неизменных характеристик дорожной инфраструктуры, таких как геометрические параметры дорог, качество дорожного покрытия, наличие и состояние технических средств организации дорожного движения, освещенность и другие стационарные факторы. Подобные модели позволяли идентифицировать участки концентрации дорожно-транспортных происшествий и ранжировать их по степени опасности.

Однако традиционные методы обладают существенными ограничениями в условиях современной динамической транспортной среды. Их неспособность учитывать изменчивые факторы, такие как погодные условия, интенсивность и состав транспортного потока, психофизиологическое состояние участников движения, приводит к значительным погрешностям в прогнозах. Кроме того, статические модели не могут адаптироваться к быстро меняющимся условиям эксплуатации транспортной инфраструктуры и появлению новых типов рисков.

Прогресс в области информационных технологий и повсеместное внедрение цифровых систем мониторинга создали принципиально новые возможности для прогнозирования аварийности. Современные подходы базируются на анализе больших данных, получаемых от множественных источников: датчиков транспортных средств, систем видеонаблюдения, метеорологических станций, GPS-трекеров, мобильных приложений и социальных сетей.

Машинное обучение и технологии искусственного интеллекта позволяют выявлять сложные нелинейные зависимости между множественными факторами риска и создавать адаптивные прогностические модели. Алгоритмы глубокого обучения способны обрабатывать разнородные потоки данных в режиме реального времени и генерировать прогнозы с высокой степенью точности и детализации.

Особое значение приобретают интегрированные прогностические модели, объединяющие статические, динамические и прогностические параметры. Примером такого подхода может служить показатель ARSI [5].

Метеорологические условия оказывают многоаспектное воздействие на различные компоненты транспортной системы, создавая каскадные эффекты увеличения аварийности. Снижение видимости в условиях тумана, дождя или снегопада влияет на способность водителей адекватно оценивать дорожную обстановку и принимать своевременные решения. Так, при видимости менее 100 метров риск ДТП возрастает в 3–5 раз по сравнению с нормальными условиями.

Изменение коэффициента сцепления шин с дорожным покрытием в условиях осадков представляет еще более значимый фактор риска. На мокром асфальте коэффициент сцепления снижается до 0,3–0,35, что увеличивает тормозной путь транспортных средств и вероятность потери управления. При наличии снежно-ледяных отложений данный показатель может снижаться до 0,1–0,2, создавая экстремально опасные условия для движения.

Адаптация транспортной инфраструктуры к изменяющимся климатическим условиям требует внедрения интеллектуальных технологий мониторинга и управления. Умные дороги, оснащенные сетью датчиков для непрерывного контроля состояния дорожного покрытия, температуры, влажности и других параметров, позволяют в режиме реального времени отслеживать изменения условий движения и автоматически активировать соответствующие системы безопасности.

Рост автомобилизации требует принципиально новых подходов к управлению транспортными потоками и оптимизации использования существующей инфраструктуры. Заторы оказывают двойственное воздействие на аварийность: с одной стороны, низкие скорости движения снижают тяжесть возможных дорожно-транспортных происшествий, с другой – длительное нахождение в условиях затрудненного движения приводит к повышению уровня стресса водителей и увеличению вероятности агрессивного поведения на дороге.

Психологические исследования показывают, что водители, находящиеся в заторах более 30 минут, демонстрируют значительно более высокий уровень агрессивности и склонности к нарушению пра-

вил дорожного движения. Это проявляется в опасных маневрах, несоблюдении дистанции, превышении скорости при возобновлении движения и других формах рискованного поведения.

Технологические решения для оптимизации транспортных потоков включают интеллектуальные системы управления светофорными объектами, способные адаптироваться к текущей интенсивности движения, системы динамического информирования участников движения о альтернативных маршрутах, а также перспективные технологии координации движения автономных транспортных средств.

Внедрение автономных транспортных средств рассматривается как долгосрочная стратегия кардинального снижения аварийности за счет устранения человеческого фактора, который, согласно статистическим данным, является причиной более 90 % дорожно-транспортных происшествий [6]. Однако переходный период, характеризующийся смешанным движением обычных и автономных транспортных средств, может создавать дополнительные риски, связанные с различиями в алгоритмах принятия решений и стилях вождения.

Повышение точности прогнозирования аварийности требует создания комплексной системы сбора и обработки данных, основанной на технологиях Интернета вещей (IoT). Развертывание сети интеллектуальных датчиков, способных в режиме реального времени мониторить состояние дорожного покрытия, погодные условия, интенсивность и состав транспортного потока, создаст информационную основу для функционирования современных прогностических моделей [7].

Развитие квалификации специалистов в области транспортной безопасности и информационных технологий представляет не менее важную задачу. Внедрение современных технологий прогнозирования требует подготовки кадров, способных эффективно работать с большими данными, алгоритмами машинного обучения и системами искусственного интеллекта. Необходимы специализированные образовательные программы, объединяющие компетенции в области транспорта, информационных технологий и математического моделирования.

Успешная реализация современных подходов к прогнозированию аварийности требует координированных усилий государственных органов, научных организаций и частного бизнеса. Государственная поддержка должна включать финансирование фундаментальных

и прикладных исследований, создание нормативной базы для внедрения новых технологий, а также софинансирование пилотных проектов по апробации инновационных решений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ современного состояния методов прогнозирования аварийности свидетельствует о необходимости кардинального пересмотра подходов к обеспечению безопасности дорожного движения в условиях интенсивной автомобилизации и нарастающего воздействия климатических изменений. Традиционные методы, основанные на статистическом анализе исторических данных и статических характеристиках инфраструктуры, демонстрируют недостаточную эффективность в динамично изменяющейся транспортной среде.

Современные технологические решения, базирующиеся на анализе больших данных, применении алгоритмов машинного обучения и технологий искусственного интеллекта, открывают принципиально новые возможности для повышения точности прогнозирования и создания адаптивных систем управления транспортными рисками. Интеграция разнородных источников информации – от датчиков состояния дорожного покрытия до социальных сетей – позволяет формировать комплексное представление о факторах, влияющих на безопасность дорожного движения.

Особую значимость приобретает учет долгосрочных трендов климатических изменений и их воздействия на транспортную инфраструктуру. Повышение частоты экстремальных погодных явлений, изменение температурно-влажностного режима и гидрологических условий требуют разработки адаптивных стратегий управления транспортными системами и создания устойчивой инфраструктуры, способной функционировать в условиях климатической неопределенности.

Прогнозируемое удвоение автомобильного парка к 2050 году актуализирует задачи оптимизации использования существующей инфраструктуры и разработки инновационных подходов к управлению транспортными потоками.

Успешная реализация современных подходов к прогнозированию аварийности требует консолидации усилий государственных органов, научного сообщества и частного бизнеса. Создание единых платформ сбора и анализа данных, стандартизация протоколов ин-

формационного обмена, развитие человеческого капитала и международное сотрудничество представляют основные направления деятельности для достижения качественно нового уровня транспортной безопасности.

Перспективы дальнейших исследований включают разработку более совершенных алгоритмов машинного обучения, способных учитывать нелинейные взаимодействия между множественными факторами риска, создание предиктивных моделей долгосрочного воздействия климатических изменений на транспортную инфраструктуру, а также изучение социально-экономических аспектов внедрения современных технологий обеспечения транспортной безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. World Health Organization. Global status report on road safety 2018. – Geneva : World Health Organization, 2018. – 424 p.

2. Капский, Д. В. Дизайн города и «транспортный» прогресс, обусловленный технологическим сдвигом / Д. В. Капский, С. В. Богданович, С. А. Ляпин // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1–1(84). – С. 119–130.

3. Andrey, J. Long-term trends in weather-related crash risks / J. Andrey // Journal of Transport Geography. – 2010. – Vol. 18, № 2. – P. 247–258.

4. Капский, Д. В. Методология оценки воздействия изменения климата, уязвимости и климатических рисков в транспортной системе в Республике Беларусь / Д. В. Капский, С. В. Богданович, Ю. В. Буртыль. – Мн. : БНТУ, 2022. – 256 с.

5. Капский, Д. В. Интегральный подход к оценке безопасности дорожной инфраструктуры на основе интеллектуальных технологий / Д. В. Капский, С. В. Богданович // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2024. – № 4 (79). – С. 74–81.

6. Singh, S. Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey : Traffic Safety Facts Crash Stats : Report No. DOT HS 812 506 / S. Singh. – Washington, DC : National Highway Traffic Safety Administration, 2018.

7. Богданович, С. В. Концепция создания транспортной информационно-сервисной платформы на основе технологии интернета вещей / С. В. Богданович // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сб. науч. тр. : в 2 т. – Мн. : БНТУ, 2022. – Т. 2. – С. 117–120.

Представлено 24.06.2025

УДК 625.7

## **КОГНИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ В ФОРМИРОВАНИИ НОВОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

COGNITIVE TECHNOLOGIES AND BIG DATA  
IN THE FORMATION OF A NEW APPROACH TO SAFETY  
MANAGEMENT OF ROAD TRANSPORTATION SYSTEMS

**Богданович С. В.**, канд. техн. наук, доц., **Бурова М. Г.**,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
S. Bogdanovich, Ph. D. in Eng., Ass. Prof., M. Burova,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

*В статье обосновывается необходимость формирования новой подхода к управлению рисками в дорожно-транспортных системах (ДТС). Показано, что современные ДТС представляют собой сложные социо-киберфизические системы, характеризующиеся многоуровневыми взаимодействиями между физической инфраструктурой, транспортными потоками, человеческим поведением и цифровыми компонентами. Выявлено противоречие между интегративной природой рисков в таких системах и фрагментарностью существующих подходов к управлению безопасностью. Предложена концепция интегративного управления рисками, основанная на применении когнитивных технологий и архитектур больших данных для проактивного системного управления безопасностью ДТС.*