

Научная статья
УДК 656.13.08

Концепция вероятностно-статистического анализа дорожно-транспортных происшествий в интеллектуальных транспортных системах

Анастасия Геннадьевна Шевцова¹, Антон Валерьевич Подкопаев²

^{1,2}Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород, Россия

¹shevcova-anastasiya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8973-9271>

²palinoleum@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4782-4503>

Аннотация. В статье обоснована концепция вероятностно-статистического анализа ДТП как методологической основы повышения эффективности ИТС в части профилактики аварийности и поддержки управленческих решений. Проведён анализ современного состояния отечественных ИТС, выявивший ключевые ограничения: фрагментарность данных, отсутствие единого формата взаимодействия между источниками информации и доминирование однофакторной статистики при анализе ДТП. Предложен подход, основанный на использовании таблиц сопряжённости, оценке условных вероятностей и статистической проверке гипотез, что позволяет выявлять скрытые пространственно-временные паттерны аварийности. Описана архитектура интегрированной аналитической подсистемы, соответствующая принципам государственного стандарта: профилактической направленности, интеграции разнородных данных, научной обоснованности и ориентации на пользователя. Показано, что предложенная концепция не требует создания новой аппаратной инфраструктуры, а предполагает методологическую перестройку существующих процессов анализа на основе уже доступных массивов данных, что делает её технологически и экономически реализуемой в условиях современной российской транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, дорожно-транспортные происшествия, вероятностно-статистический анализ, профилактика аварийности, безопасность дорожного движения.

Для цитирования: Шевцова А.Г., Подкопаев А.В. Концепция вероятностно-статистического анализа дорожно-транспортных происшествий в интеллектуальных транспортных системах // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2026. № 1 (47).

Original article

The concept of probabilistic and statistical analysis of traffic accidents in intelligent transport systems

Anastasia G. Shevtsova¹, Anton V. Podkopaev²

^{1,2}Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

¹shevcova-anastasiya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8973-9271>

²palinoleum@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-4782-4503>

Abstract. This article substantiates the concept of probabilistic-statistical analysis of road accidents as a methodological basis for improving the effectiveness of ITS in terms of accident prevention and supporting management decisions. An analysis of the current state of domestic ITS systems revealed key limitations: fragmented data, the lack of a unified format for interaction between information sources, and the dominance of single-factor statistics in accident analysis. An approach based on the use of contingency tables, the assessment of conditional probabilities, and statistical hypothesis testing is proposed. This approach enables the identification of hidden spatiotemporal accident patterns. The architecture of an integrated analytical subsystem is described, corresponding to the principles of the state standard: a preventive focus, the integration of heterogeneous data, scientific validity, and a user-centric approach. It is shown that the proposed concept does not require the creation of new hardware infrastructure but rather involves a methodological restructuring of existing analysis processes based on available data sets, making it technologically and economically feasible within the conditions of the modern Russian transport infrastructure.

Keywords: intelligent transport systems, road traffic accidents, probabilistic statistical analysis, accident prevention, road safety.

For citation: Shevtsova A.G., Podkopaev A.V. The concept of probabilistic and statistical analysis of traffic accidents in intelligent transport systems. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2026. № 1 (47).

Введение

В условиях устойчивого роста интенсивности автомобильного движения и высокого числа легковых автомобилей 51,6 млн шт. на конец 2023 года [1] проблема дорожно-транспортных происшествий (ДТП) остаётся одной из наиболее острых в сфере транспортной безопасности Российской Федерации. В 2023 году наблюдается рост числа ДТП в сравнении с предыдущим

№ 1(47)

март 2026

периодом (132,5 тыс. ДТП в 2023 году и 1226,7 ДТП в 2022 году) [1]), что свидетельствует о недостаточной эффективности применяемых профилактических мер.

Современные интеллектуальные транспортные системы (ИТС), согласно ГОСТ Р 56294–2014, призваны обеспечивать не только оперативное управление транспортными потоками, но и проактивное предотвращение аварийности на основе анализа разнородных данных [2]. Однако на практике функционал большинства отечественных ИТС, включая автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУДД) на федеральных трассах и в отдельных агломерациях, по-прежнему ориентирован преимущественно на реактивное реагирование – фиксацию ДТП, информирование служб и регулирование движения после инцидента [3, 4]. При этом системный, мультипараметрический анализ причин и условий совершения ДТП, способный выявить скрытые пространственно-временные паттерны аварийности, в рамках действующих систем практически не реализуется.

Основным барьером выступает фрагментированность данных: информация о ДТП хранится в изолированных базах Госавтоинспекции, муниципальных центров управления дорожным движением, метеослужб и коммерческих платформ, без единого формата и механизмов интеграции [5]. В результате аналитика сводится к однофакторной статистике (число ДТП, смертность, типы нарушений), что не позволяет выявить комбинированные факторы риска. Между тем, зарубежный опыт – от проекта IN-RESPONSE в Европейском союзе (ЕС) до аналитической платформы Big Data Analytics в Сингапуре – демонстрирует, что именно интеграция разнородных данных и применение вероятностно-статистических методов лежат в основе перехода от реактивной модели обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) к проактивной [6].

Перспективным методологическим инструментом в этом контексте выступает вероятностно-статистическое моделирование, в частности –

использование таблиц сопряжённости и оценка условных вероятностей, что позволяет количественно оценивать влияние совокупности факторов на вероятность возникновения ДТП [7]. Подобный подход обеспечивает не только интерпретируемость результатов, но и возможность формирования научно-обоснованных рекомендаций для управленческих решений – от корректировки режимов светофорного регулирования до целенаправленного размещения патрульных экипажей в «точках риска».

В связи с этим актуальной становится разработка концепции вероятностно-статистического анализа ДТП, интегрированной в архитектуру ИТС и соответствующей принципам профилактической направленности, научной обоснованности и ориентации на пользователя, заложенным в национальных стандартах [2, 3]. Такая концепция должна обеспечивать переход от пассивной фиксации аварий к активному прогнозированию и предотвращению опасных ситуаций, что соответствует как стратегическим целям цифровой трансформации транспортной отрасли [8], так и международным трендам в области «умного» управления безопасностью.

Целью настоящей статьи является обоснование концепции вероятностно-статистического анализа ДТП как методологической основы повышения эффективности ИТС в части профилактики аварийности и поддержки управленческих решений. В работе систематизированы недостатки существующих подходов, проанализирован мировой опыт, предложены принципы построения интегрированной аналитической подсистемы и оценена её потенциальная эффективность.

Анализ современного состояния ИТС в контексте обеспечения безопасности дорожного движения

Современные ИТС позиционируются как ключевой инструмент повышения БДД на основе системного мониторинга, анализа и управления транспортными потоками. Согласно [2], одной из фундаментальных задач ИТС является «обеспечение безопасности дорожного движения» через

формирование архитектуры, объединяющей функциональные и физические компоненты в единое информационно-управляющее пространство. Однако на практике реализация этой задачи в Российской Федерации остаётся фрагментарной и преимущественно реактивной.

На сегодняшний день наиболее развитые отечественные ИТС сосредоточены на федеральных автомагистралях: КАД (Санкт-Петербург), Западный скоростной диаметр, трассы М-4 «Дон», М-11 «Нева» и отдельные участки автодорог в Сочи [4]. Эти системы обеспечивают сбор данных о дорожно-транспортной обстановке, мониторинг метеоусловий, информирование водителей через знаки переменной информации (ЗПИ), а также координацию действий служб при ДТП. Например, внедрение АСУДД на КАД позволило снизить аварийность на 30% и увеличить пропускную способность на 15–20% [4]. Тем не менее, подобные проекты носят точечный характер и не интегрированы в единую национальную архитектуру ИТС, что существенно ограничивает их потенциал в области профилактики ДТП.

Критическим недостатком существующих российских ИТС является отсутствие системного анализа причин и условий возникновения ДТП. Как правило, сбор информации фокусируется на фиксации самого факта ДТП – его времени, места, количества пострадавших и типа столкновения. При этом не учитываются комбинированные факторы риска, например, сочетание времени суток, дня недели, погодных условий, состояния дорожного покрытия, интенсивности движения и поведения участников [9]. В результате аналитика сводится к однофакторной статистике, которая не позволяет выявить скрытые пространственно-временные паттерны аварийности, такие как регулярные пики ДТП по определенному сценарию, например, «пятница, 17:00–19:00, дождь, выезд с пригородной зоны».

Эта проблема усугубляется разрозненностью источников данных. Информация о ДТП хранится в изолированных базах: ГАИ

(административные материалы), Росавтодор (параметры дорог), муниципальные ЦУДД (данные с детекторов и камер), метеослужбы, а также коммерческие платформы («Яндекс. Пробки», «Госуслуги. Авто») [10]. Отсутствие единого формата представления, согласованных API и нормативно закреплённых механизмов обмена делает невозможным создание интегрированной аналитической среды, необходимой для мультипараметрического исследования аварийности.

Между тем международный опыт демонстрирует иной подход. В ЕС в рамках проекта IN-RESPONSE была разработана система автоматического выявления «точек риска» и прогнозирования ДТП на основе анализа исторических данных, включая не только геолокацию инцидентов, но и контекстуальные переменные – погоду, сезонность, плотность трафика, тип дороги [3]. Аналогичная стратегия реализована в Сингапуре, где аналитика больших данных (Big Data Analytics) служит ядром всей транспортной экосистемы: потоки информации от GNSS-трекеров, видеокамер, мобильных устройств и бортовых систем синхронизируются и обрабатываются в реальном времени для выявления аномалий и формирования превентивных мер [6].

Таким образом, современное состояние ИТС в контексте обеспечения БДД в России характеризуется показателями, представленными на рис. 1.

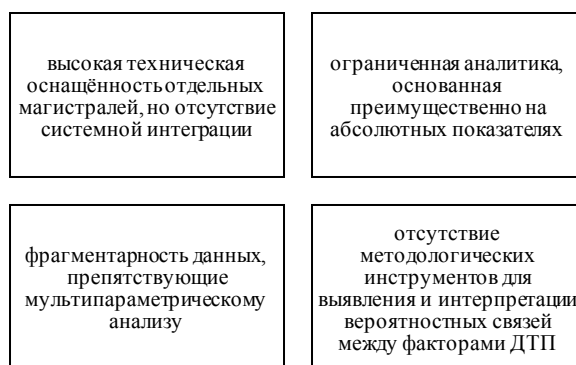


Рис. 1. Основные характеристики ИТС в области обеспечения БДД

Это создаёт объективную потребность в разработке новой концепции анализа ДТП, базирующейся на вероятностно-статистическом подходе и

ориентированной на преодоление указанных барьеров. Именно такой подход позволяет перейти от описания аварийности к её объяснению и прогнозированию, что соответствует мировым трендам в области «умного» обеспечения безопасности.

Методологические основы вероятностно-статистического анализа ДТП

Современные подходы к анализу ДТП в Российской Федерации, как правило, ограничиваются однофакторной статистикой: подсчётом абсолютного числа инцидентов, классификацией по типам столкновений или выявлением доминирующих причин (превышение скорости, нарушение ПДД и т.п.). Подобный подход не позволяет выявить скрытые пространственно-временные и мультипараметрические зависимости, лежащие в основе повторяющихся аварийных ситуаций. Между тем, именно такие зависимости формируют так называемые «точки риска» - участки дорог, где вероятность ДТП многократно возрастает при определённой комбинации условий.

Для преодоления этого ограничения в рамках настоящей работы предлагается использовать вероятностно-статистический подход, базирующийся на следующих методах:

1. Построение таблиц сопряжённости (контингенции) между парами или группами факторов (например, «день недели – время суток», «погодные условия – тип дороги»);
2. Оценка условных вероятностей возникновения ДТП при фиксированных значениях одного или нескольких параметров;
3. Статистическая проверка гипотез о наличии или отсутствии значимой связи между факторами (с использованием критериев χ^2 , коэффициента Крамера и др.);
4. Ранжирование комбинаций факторов по уровню риска с последующей визуализацией в виде тепловых карт или ранжированных списков.

Такой подход позволяет перейти от констатации факта ДТП к интерпретации его контекста, что соответствует принципу профилактической направленности, закреплённому в нормативных документах [2, 8].

Для реализации данного подхода необходима интеграция разнородных данных (рис. 2). Источниками информации могут выступать: административные материалы ГАИ (время, место, тип ДТП, причины, метеоусловия); данные с дорожных детекторов (интенсивность, средняя скорость, состав потока); видеонаблюдение и системы автоматического распознавания ДТП; метеостанции и датчики дорожного покрытия; ГЛОНАСС/GPS-треки коммерческого и общественного транспорта; открытые платформы («Яндекс. Пробки», «Госуслуги. Авто») и др.

Все эти данные, даже при отсутствии единых API, могут быть синхронизированы по временно-пространственным координатам и использованы для формирования единой аналитической выборки (рис. 2).



Рис. 2. Структура вероятностно-статистического анализа ДТП в ИТС

Предлагаемая структура (см. рис. 2) отражает логическую архитектуру интегрированной подсистемы анализа ДТП в составе ИТС. Структура выполнена в соответствии с принципами функциональной архитектуры,

закреплёнными в [2], и реализует пять ключевых принципов ИТС: профилактическую направленность, интеграцию разнородных данных, адаптивное управление в реальном времени, научную обоснованность решений и ориентацию на пользователя.

Структура состоит из трёх иерархически связанных уровней (см. рис. 2).

Первый уровень – источники данных – включает в себя как официальные, так и коммерческие источники информации о дорожно-транспортной обстановке.

Второй уровень – интегрированная аналитическая среда – представляет собой ядро предлагаемой концепции. На данном этапе осуществляется синхронизация поступающих данных по пространственно-временным координатам (широта, долгота, дата, время), формирование мультипараметрических наборов признаков и применение вероятностно-статистических методов.

Третий уровень – результаты анализа и прикладные функции – включает в себя три направления практического использования полученных оценок риска:

1. Визуализация рисков – в форме тепловых карт концентрации ДТП и ранжированных списков «точек риска», предназначенных для специалистов центров управления дорожным движением (ЦУДД);

2. Поддержка управленческих решений – предоставление рекомендаций по корректировке режимов светофорного регулирования, оптимизации размещения патрульных экипажей, планированию ремонтных работ на участках с повышенной аварийностью;

3. Профилактическое информирование участников движения – передача персонализированных предупреждений водителям через знаки переменной информации (ЗПИ), мобильные приложения и бортовые терминалы о потенциально опасных участках и условиях.

Завершает схему петля обратной связи: новые данные о ДТП, поступающие из источников первого уровня, используются для уточнения

статистических оценок и корректировки моделей риска, что обеспечивает адаптивность и непрерывное обновление аналитической базы. Такая замкнутая структура соответствует парадигме «транспорта, управляемого данными» и реализует концепцию проактивного обеспечения безопасности, направленную не на ликвидацию последствий, а на предотвращение аварийных ситуаций.

Предложенная архитектура не требует создания новых сенсорных сетей или масштабного моделирования, а предполагает методологическую перестройку существующих процессов анализа ДТП на основе уже доступных массивов информации, что делает её реализуемой в условиях современной российской инфраструктуры ИТС.

Заключение

В рамках настоящей статьи обоснована концепция вероятностно-статистического анализа ДТП как методологической основы повышения эффективности ИТС в части профилактики аварийности и поддержки управленческих решений. Анализ современного состояния отечественных ИТС выявил ключевые ограничения: фрагментарность данных, отсутствие единого формата взаимодействия между источниками информации и доминирование однофакторной статистики при анализе ДТП. В результате практические системы управления дорожным движением остаются преимущественно реактивными, ориентированными на фиксацию и ликвидацию последствий инцидентов, а не на их предупреждение.

Предложенный подход основан на использовании проверенных методов теории вероятностей и математической статистики – в первую очередь, построения таблиц сопряжённости, оценки условных вероятностей и статистической проверки гипотез. Эти инструменты позволяют выявлять скрытые пространственно-временные паттерны аварийности, которые формируют «точки риска» на дорожной сети.

Концепция полностью соответствует принципам, закреплённым в государственных стандартах – профилактической направленности, интеграции разнородных данных, научной обоснованности и ориентации на пользователя. При этом она не требует создания новой аппаратной инфраструктуры: её реализация возможна на основе существующих массивов данных, поступающих от ГАИ, дорожных детекторов, метеостанций, ГЛОНАСС и коммерческих платформ.

Таким образом, настоящая работа вносит вклад в развитие методологической базы отечественных ИТС, предлагая переход от пассивной фиксации аварий к активному выявлению факторов риска. Это открывает возможности для формирования проактивных мер – от корректировки светофорных режимов и целенаправленного размещения патрулей до персонализированного информирования водителей о потенциально опасных участках. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение набора анализируемых факторов, пилотное внедрение подсистемы в состав центров управления дорожным движением и интеграцию результатов анализа в сервисы цифровой навигации.

Список источников

1. Транспорт в России. 2024: стат.сб. / Росстат. – Москва, 2024. – 100 с.
2. ГОСТ Р 56294–2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 13 с.
3. Жанказиев, С. В. Интеллектуальные транспортные системы : учебное пособие / С. В. Жанказиев. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2016. – 120 с. – EDN VQKJWB.
4. Евстигнеев, И. А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России / И. А. Евстигнеев. – Москва: Перо, 2015. – 162 с. – ISBN 978-5-00086-854-6.
5. Роль интеллектуальных транспортных систем в повышении безопасности дорожного движения: зарубежный опыт и российские перспективы / А. В. Подкопаев, И. Н. Гвоздевский, А. Г. Шевцова, С. Е. Савотченко // Актуальные вопросы административно-правовой деятельности органов внутренних дел : Сборник научных

статей научно-практических конференций, Орёл, 21 мая – 27 2025 года. – Орёл: Орловский юридический институт МВД РФ им. В.В. Лукьянова, 2025. – С. 88-93. – EDN ZNTTZL.

6. ITS Singapore: Master Plan / Land Transport Authority of Singapore. – Singapore, 2014. – 48 p.

7. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов, А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва - Орёл - Белгород : Белгородский Государственный Технологический Университет им. В. Г. Шухова, 2024. – 331 с. – ISBN 978-5-361-01336-4. – EDN RRPXZL.

8. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 19 декабря 2025 г. № 3887-р. – Текст: электронный // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – Дата сохранения: 04.01.2025.

9. Современные методы сбора и обработки данных о дорожно-транспортных происшествиях / К. А. Бычкова, А. В. Подкопаев, А. Г. Шевцова, В. В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1-4(88). – С. 74-80. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-74-80. – EDN OFKBER.

10. Обзор основных статистических баз данных в области безопасности дорожного движения / Е. В. Мирошников, А. В. Подкопаев, С. Е. Савотченко, А. Г. Шевцова // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования : Материалы XIX Международной научно-практической конференции, Орёл, 24 апреля 2025 года. – Орёл: Орловский юридический институт МВД РФ им. В.В. Лукьянова, 2025. – С. 225-229. – EDN DMJRWА.

References

1. *Transport v Rossii. 2024*, (Transport in Russia. 2024), Rosstat, Moscow, 2024, 100 p.
2. *Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Intellektual'nyye transportnyye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy i fizicheskoy arkhitekturam intellektual'nykh transportnykh system*, GOST R 56294–2014 (National Standard of the Russian Federation. Intelligent Transport Systems. Requirements for the Functional and Physical Architectures of Intelligent Transport Systems, State Standart R 56294), 2014, Moscow, Standartinform, 2018, 13 p.
3. *Zhankaziyev S.V. Intellektual'nyye transportnyye sistemy* (Intelligent Transport Systems), Moscow, Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet (MADI), 2016, 120 p.
4. *Yevstigneyev I.A. Intellektual'nyye transportnyye sistemy na avtomobil'nykh dorogakh federal'nogo znacheniya Rossii* (Intelligent Transport Systems on Federal Highways of Russia), Moscow, Pero, 2015, 162 p., ISBN 978-5-00086-854-6.

5. Podkopayev A.V., Gvozdevskiy I.N., Shevtsova A.G., Savotchenko S.Ye. *Aktual'nyye voprosy administrativno-pravovoy deyatel'nosti organov vnutrennikh del*, Sbornik statey, Orel, Orlovskiy yuridicheskiy institut MVD RF im. V.V. Luk'yanova, 2025, pp. 88-93.
6. ITS Singapore: Master Plan, Land Transport Authority of Singapore, Singapore, 2014, 48 p.
7. Sil'yanov V.V., Novikov A.N., Yeregin S.V., Shevtsova A.G. *Teoriya transportnykh potokov v proyektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya* (Theory of Traffic Flows in Road Design and Traffic Organization), Moscow, Orel, Belgorod, Belgorodskiy Gosudarstvennyy Tekhnologicheskiy Universitet im. V. G. Shukhova, 2024, 331 p., ISBN 978-5-361-01336-4.
8. Ob utverzhdenii strategicheskogo napravleniya v oblasti tsifrovoy transformatsii transportnoy otrasli Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda, rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 19 dekabrya 2025 g. № 3887-r., KonsultantPlyus: spravochno-pravovaya Sistema (04.01.2025).
9. Bychkova K.A., Podkopayev A.V., Shevtsova A.G., Vasil'yeva V.V. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2025, no. 1-4(88), pp. 74-80, doi 10.33979/2073-7432-2025-1-4(88)-74-80.
10. Miroshnikov Ye.V., Podkopayev A.V., Savotchenko S.Ye., Shevtsova A.G. *Upravleniye deyatel'nost'yu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyaniye, problemy, puti sovershenstvovaniya*, Materialy konferentsii, Orel, Orlovskiy yuridicheskiy institut MVD RF im. V.V. Luk'yanova, 2025, pp. 225-229.

Рецензент: Н.А. Загородний, д-р техн. наук, проф., БГТУ им. В. Г. Шухова

Информация об авторах

Шевцова Анастасия Геннадьевна, д-р техн. наук, доцент, директор института дополнительного образования и профессионального обучения «Высшая технологическая школа БГТУ им. В. Г. Шухова»

Подкопаев Антон Валерьевич, аспирант, БГТУ им. В. Г. Шухова

Information about the authors

Shevtsova Anastasia G., Doctor of Sciences (Technical), Associate Professor, Director of the Institute of Continuing Education and Professional Training, Higher Technological School of BSTU named after V.G. Shukhov

Podkopayev Anton V., Postgraduate Student, BSTU named after V.G. Shukhov

Статья поступила в редакцию 13.01.2026; одобрена после рецензирования 21.01.2026; принята к публикации 28.03.2026.

The article was submitted 13.01.2026; approved after reviewing 21.01.2026; accepted for publication 28.03.2026.

№ 1(47)

март 2026