

УДК 625.7

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРЕДИКТИВНОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ ДТП С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

CONCEPTUAL FOUNDATIONS FOR PREDICTIVE TRAFFIC ACCIDENT RISK ASSESSMENT USING INTELLIGENT TECHNOLOGIES

Богданович С. В¹, канд. техн. наук, доц., **Чалкин О. Ю²**,

¹Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский дорожный научно-исследовательский институт,

г. Минск, Республика Беларусь

S. Bogdanovich¹, Ph. D. in Eng., Ass. Prof., O. Chalkin²,

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian Road Research Institute, Minsk, Republic of Belarus

Рассматриваются концептуальные основы предиктивной оценки рисков дорожно-транспортных происшествий с применением интеллектуальных технологий. Обосновывается необходимость перехода от ретроспективного к проактивному подходу в управлении безопасностью. Формулируются принципы построения систем предиктивной оценки для пересечений и примыканий дорог.

The conceptual foundations for predictive traffic accident risk assessment using intelligent technologies are examined. The necessity of transitioning from retrospective to proactive safety management approaches is substantiated. Principles for constructing predictive assessment systems for road intersections and junctions are formulated.

Ключевые слова: *предиктивная оценка рисков, дорожно-транспортные происшествия, интеллектуальные транспортные системы, безопасность дорожного движения, машинное обучение.*

Keywords: *predictive risk assessment, traffic accidents, intelligent transportation systems, road safety, machine learning.*

ВВЕДЕНИЕ

Современная дорожно-транспортная инфраструктура характеризуется возрастающей сложностью и интенсивностью движения, что обуславливает необходимость пересмотра традиционных подходов к обеспечению безопасности. Существующие методы оценки рисков дорожно-транспортных происшествий, основанные преимущественно на статистическом анализе произошедших событий, демонстрируют ограниченную эффективность в условиях динамично изменяющихся транспортных потоков и технологических решений.

Развитие интеллектуальных транспортных систем и технологий искусственного интеллекта открывает принципиально новые возможности для прогнозирования и предотвращения дорожно-транспортных происшествий. Переход от реактивного к проактивному управлению безопасностью требует формирования концептуальной основы предиктивной оценки рисков, способной учитывать множественные факторы влияния в режиме реального времени.

Особое внимание в данном контексте заслуживают пересечения и примыкания дорог в одном уровне, которые представляют собой зоны повышенной конфликтности транспортных потоков. Традиционные методы анализа безопасности таких объектов инфраструктуры не позволяют в полной мере учесть динамику изменения условий движения и взаимодействия различных категорий участников дорожного движения.

Целью данного исследования является формулирование концептуальных основ предиктивной оценки рисков ДТП с применением интеллектуальных технологий, определение теоретических принципов построения соответствующих систем и обоснование их преимуществ перед существующими подходами к обеспечению безопасности дорожного движения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПРЕДИКТИВНОЙ ОЦЕНКИ РИСКОВ

Традиционные методы оценки безопасности дорожного движения основаны на анализе статистических данных о произошедших дорожно-транспортных происшествиях, что по своей природе является ретроспективным подходом. Данная методология, несмотря на свою

устоявшуюся практику применения, обладает существенными ограничениями в современных условиях функционирования транспортных систем.

Основным недостатком ретроспективного анализа является его неспособность учитывать динамически изменяющиеся условия движения и оперативно реагировать на возникающие угрозы безопасности [1]. Современные транспортные потоки характеризуются высокой степенью неопределенности, обусловленной множественными факторами: метеорологическими условиями, интенсивностью движения, техническим состоянием транспортных средств, поведенческими особенностями водителей.

Предиктивный подход к оценке рисков ДТП представляет собой методологию прогнозирования вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий, на основе анализа текущих и прогнозируемых условий движения с использованием алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта. В отличие от традиционных статистических методов, предиктивная оценка позволяет осуществлять непрерывный мониторинг факторов риска и формировать упреждающие управленческие воздействия.

Предиктивный риск ДТП определяется как динамически изменяющаяся вероятностная характеристика возникновения дорожно-транспортного происшествия в конкретном пространственно-временном интервале, рассчитываемая на основе комплексного анализа текущих параметров транспортного потока, состояния инфраструктуры, внешних условий и поведенческих факторов участников движения.

Данное определение принципиально отличается от традиционных статистических показателей риска по нескольким параметрам. Во-первых, предиктивный риск носит динамический характер и обновляется в режиме реального времени, в то время как традиционные показатели представляют собой статичные агрегированные значения за определенные периоды времени. Во-вторых, предиктивная оценка базируется на анализе причинно-следственных связей между множественными факторами влияния, тогда как классические методы ограничиваются корреляционным анализом исторических данных.

Математически предиктивный риск может быть представлен как функция:

$$R(t) = f(T(t), I(t), E(t), B(t)),$$

где $R(t)$ – предиктивный риск в момент времени t ;

$T(t)$ – параметры транспортного потока;

$I(t)$ – состояние инфраструктуры;

$E(t)$ – внешние условия;

$B(t)$ – поведенческие факторы участников движения.

Применение предиктивной оценки рисков обеспечивает ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами анализа безопасности дорожного движения. Основным достоинством является возможность проактивного управления безопасностью, позволяющего предотвращать возникновение опасных ситуаций до их материализации в дорожно-транспортные происшествия.

Предиктивные системы обеспечивают высокую адаптивность к изменяющимся условиям движения, что особенно актуально для сложных участков инфраструктуры, таких как пересечения и примыкания дорог. Способность алгоритмов машинного обучения выявлять скрытые закономерности в больших массивах данных позволяет идентифицировать ранее неизвестные факторы риска и их комбинации [2].

Интеграция с интеллектуальными транспортными системами обеспечивает возможность автоматизированного управления транспортными потоками на основе результатов предиктивной оценки. Это включает динамическое регулирование режимов работы светофорных объектов, информирование участников движения о потенциальных опасностях, координацию движения автономных транспортных средств.

Формирование эффективной системы предиктивной оценки рисков для пересечений и примыканий дорог должно основываться на совокупности взаимосвязанных принципов, которые обеспечивают комплексность, надежность и практическую применимость решений.

Принцип многофакторности предполагает учет всего спектра переменных, влияющих на безопасность движения в зоне пересечения. Это включает геометрические параметры инфраструктуры, характеристики транспортного потока, погодные условия, время суток, особенности поведения различных категорий участников движения. Система должна обеспечивать возможность динамического оценивания факторов в зависимости от текущих условий.

Принцип адаптивности требует способности системы к самообучению и корректировке алгоритмов на основе накапливаемого опыта. Модели машинного обучения должны непрерывно совершенствоваться, включая новые данные и уточняя параметры прогнозирования. Особое внимание уделяется способности системы адаптироваться к сезонным изменениям, модификациям инфраструктуры, эволюции транспортных технологий.

Принцип масштабируемости обеспечивает возможность применения системы для различных типов пересечений и примыканий, от простых нерегулируемых перекрестков до сложных многоуровневых транспортных развязок. Архитектура системы должна поддерживать модульную структуру, позволяющую адаптировать функциональность под специфические особенности конкретных объектов инфраструктуры (рис. 1).

Принцип интероперабельности предусматривает совместимость системы с существующими элементами интеллектуальной транспортной инфраструктуры, включая системы управления дорожным движением, информационные табло, системы связи с транспортными средствами. Это обеспечивает максимальную эффективность использования имеющихся технических решений и снижает затраты на внедрение.

Принцип верифицируемости требует обеспечения возможности проверки и валидации результатов предиктивной оценки. Система должна включать механизмы сопоставления прогнозируемых значений риска с фактическими данными о безопасности движения, что позволяет оценивать точность моделей и корректировать их параметры [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ концептуальных основ предиктивной оценки рисков ДТП с применением интеллектуальных технологий демонстрирует существенный потенциал данного подхода для повышения эффективности обеспечения безопасности дорожного движения. Переход от традиционных ретроспективных методов анализа к проактивному прогнозированию рисков представляет собой закономерный этап развития транспортных систем в условиях цифровизации и внедрения технологий искусственного интеллекта.

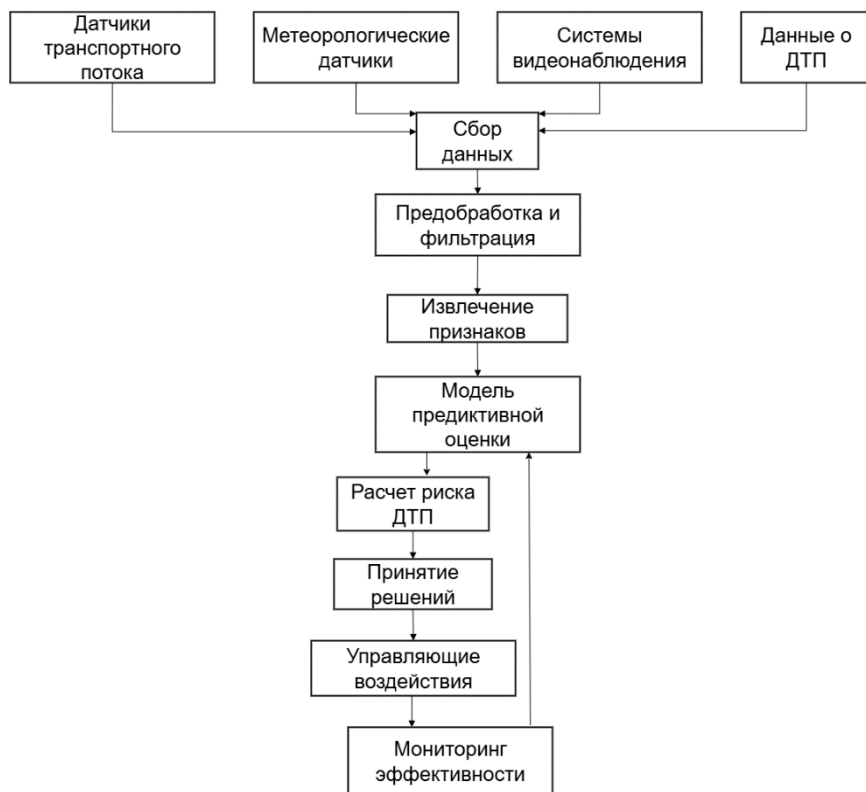


Рисунок 1 – Архитектура системы предиктивной оценки рисков

Сформулированное определение предиктивного риска ДТП как динамически изменяющейся вероятностной характеристики создает теоретическую основу для разработки практических решений в области управления безопасностью транспортных потоков. Принципиальное отличие данного подхода от традиционных статистических методов заключается в способности учитывать множественные факторы влияния в режиме реального времени и формировать упреждающие управленческие воздействия.

Выявленные преимущества предиктивного подхода, включающие проактивность управления, адаптивность к изменяющимся условиям и возможность автоматизированного взаимодействия с ин-

теллектуальными транспортными системами, обосновывают целесообразность его практического внедрения. Особую значимость данные преимущества приобретают при анализе безопасности пересечений и примыканий дорог, характеризующихся высокой конфликтностью транспортных потоков.

Разработанные принципы построения систем предиктивной оценки рисков – многофакторность, адаптивность, масштабируемость, интероперабельность и верифицируемость – формируют методологическую основу для создания практических решений. Данные принципы обеспечивают комплексность подхода к анализу безопасности и создают предпосылки для эффективной интеграции предиктивных систем в существующую транспортную инфраструктуру.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на разработку конкретных алгоритмов машинного обучения для различных типов транспортных объектов, создание стандартизированных протоколов сбора и обработки данных, а также проведение экспериментальных исследований для валидации теоретических положений. Особого внимания заслуживают вопросы обеспечения кибербезопасности предиктивных систем и их устойчивости к внешним воздействиям.

Практическая реализация концептуальных основ предиктивной оценки рисков ДТП требует междисциплинарного подхода, объединяющего достижения в области транспортного планирования, информационных технологий, теории управления и анализа больших данных. Успешное внедрение данных технологий способно обеспечить качественно новый уровень безопасности дорожного движения и эффективности функционирования транспортных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ashley, D. B. Guide to Risk Assessment and Allocation for Highway Construction Management : Report No. FHWA-PL-06-032 / D. B. Ashley, J. E. Diekmann, K. R. Molenaar. – URL: https://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl06032/guide_to_risk_assessment_allocation_for_highway.pdf (date of access: 17.06.2025).
2. Azad, A. A Review on Machine Learning in Intelligent Transportation Systems Applications / A. Azad, T. Atkison, A. Shah // Open Transportation Journal. – 2024. – Vol. 18. – Art. e26671212330496.

3. Mannering, F. L. Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data / F. L. Mannering [et al.] // Analytic Methods in Accident Research. – 2016. – URL: https://www.caee.utexas.edu/prof/bhat/ABSTRACTS/AMAR_Heterogeneity.pdf (date of access: 17.06.2025).

Представлено 24.06.2025

УДК 656.7

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СОЗДАНИИ АДАПТИВНОЙ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ

**ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ADAPTIVE ROAD
INFRASTRUCTURE FOR ACCIDENT REDUCTION**

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

В статье исследуются перспективы интеграции искусственного интеллекта в проектирование и управление дорожной инфраструктурой для снижения аварийности. Рассматриваются современные технологии компьютерного зрения, предиктивной аналитики и адаптивного управления, позволяющие создавать динамически изменяемую дорожную среду. Особое внимание уделяется системам, способным компенсировать человеческие ошибки за счет оперативного изменения параметров инфраструктуры. Анализируются технические, организационные и нормативные аспекты внедрения интеллектуальных решений, а также перспективы их развития в контексте взаимодействия с автономным транспортом.

The article explores the prospects of integrating artificial intelligence into the design and management of road infrastructure to reduce accident