

**ПРЕОДОЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО ГОЛОДА
В ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ
С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ**

БОГДАНОВИЧ С. В., ЧАЛКИН О. Ю.

**(Белорусский государственный технический университет;
г. Минск, Республика)**

В статье представлена инновационная методология предиктивной оценки аварийности на нерегулируемых пересечениях. Использование суррогатных показателей безопасности и векторного представления транспортных потоков решает проблему малых выборок. Адаптивные интеллектуальные алгоритмы обеспечивают высокую точность прогнозирования рисков с учетом гетерогенности режимов движения.

Ключевые слова: *предиктивное моделирование, суррогатные показатели безопасности, искусственный интеллект, нерегулируемые пересечения, гетерогенность потока.*

Обеспечение безопасности дорожного движения на нерегулируемых пересечениях автомобильных дорог представляет собой сложную инженерную и научную задачу. Исторически сложившиеся подходы к анализу аварийности опирались преимущественно на ретроспективную оценку свершившихся дорожно-транспортных происшествий. Подобная реактивная парадигма обладает существенным недостатком: для признания инфраструктурного объекта опасным требуется накопление статистики реальных столкновений, что неизбежно сопряжено с социальным и экономическим ущербом [1]. Кроме того, дорожно-транспортные происшествия имеют стохастическую природу и относятся к категории редких событий. Это порождает фундаментальную проблему малых выборок, или «статистического голода», когда недостаток эмпирических данных делает невозможным построение надежных прогностических моделей, особенно для участков с низкой интенсивностью движения [2].

С развитием технологий машинного обучения наметился переход к предиктивному моделированию, способному выявлять скрытые нелинейные зависимости между параметрами дорожной среды и вероятностью возникновения аварийных ситуаций [3]. Однако большинство современных интеллектуальных систем опирается на универсальные, монолитные архитектуры. Такие алгоритмы обучаются на общих массивах данных и не учитывают гетерогенность транспортных режимов.

На практике природа доминирующих опасностей фундаментально меняется в зависимости от загрузки узла: на свободных участках преобладают ошибки восприятия высоких скоростей, тогда как в плотном потоке на первый план выходят поведенческие факторы, связанные с агрессивным выбором интервалов и накопленным раздражением водителей [4]. Применение единой модели для столь разных условий приводит к искажению результатов и снижению физической адекватности прогнозов.

Для решения обозначенных проблем в данном исследовании предлагается инновационная методология построения адаптивного предиктивного фреймворка. Основным инструментом преодоления нехватки данных выступает интеграция в процесс моделирования суррогатных показателей безопасности (Surrogate Safety Measures, SSMs), таких как время до столкновения (Time-to-Collision) и пост-конфликтное время (Post-Encroachment Time). Фиксация предаварийных ситуаций и транспортных конфликтов позволяет формировать репрезентативные гибридные датасеты, объем которых на несколько порядков превышает количество зафиксированных дорожно-транспортных происшествий. Это обеспечивает алгоритмы машинного обучения достаточным объемом информации для выявления устойчивых закономерностей формирования опасных ситуаций [5].

Методологической основой предложенного фреймворка является отказ от традиционной дискретизации транспортного потока. Вместо этого применяется концепция векторного представления состояния, при которой каждое транспортное средство описывается многомерным вектором динамических признаков, включающим кинематические, пространственно-временные и контекстуальные параметры. На этапе разработки интеллектуальных моделей осуществляется инжиниринг признаков, специфичных для различных уровней интенсивности движения.

Архитектура системы представляет собой ансамбль специализированных алгоритмов, каждый из которых активируется адаптивно, в зависимости от текущего режима функционирования пересечения. Модуль, отвечающий за условия низкой интенсивности, фокусируется на анализе скоростных градиентов и условий видимости. В свою очередь, алгоритм для высокоинтенсивных потоков анализирует параметры неустойчивости движения и характеристики очередей. Подобная дифференциация позволяет избежать усреднения рисков и существенно повышает точность идентификации потенциальных угроз.

Экспериментальная верификация разработанного подхода на базе сформированного гибридного датасета подтверждает его высокую эффективность. Сравнительный анализ показывает, что адаптивная модель превосходит традиционные монолитные алгоритмы по метрикам точности и полноты распознавания опасных ситуаций, особенно в граничных режимах транспортного потока. Практическая реализация данной методологии открывает путь к созданию систем динамического управления рисками в реальном времени. Интеграция предложенных алгоритмов

в контроллеры интеллектуальных транспортных систем позволит проактивно корректировать режимы информационного обеспечения участников движения, предотвращая развитие конфликтных ситуаций до момента их перехода в необратимую фазу столкновения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богданович, С. В. Анализ подходов к оценке опасностей пересечений автомобильных дорог / С. В. Богданович, И. С. Зайцева // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии: сб. науч. ст. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 53–65.
2. Lord, D. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives / D. Lord, F. Mannering // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2010. – Vol. 44, № 5. – P. 291–305.
3. Silva, P. B. Machine learning applied to road safety modeling: a systematic literature review / P. B. Silva, M. Andrade, S. Ferreira // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). – 2020. – Vol. 7, № 6. – P. 775–790.
4. Капский, Д. В. Анализ применимости методов прогнозирования и оценки аварийности на конфликтных объектах транспортной сети и перспективы их развития / Д. В. Капский, А. С. Волынец // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии: сб. науч. ст. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 38–48.
5. Parsa, A. B. Toward safer highways, application of XGBoost and SHAP for real-time crash prediction / A. B. Parsa, A. Movahedi, H. Taghipour, S. Derrible, A. Mohammadian // Accident Analysis & Prevention. – 2019. – Vol. 136. – Art. 105405.