

Научная статья
УДК 656.13

О применении технологий предиктивного управления в интеллектуальных транспортных системах

Султан Владимирович Жанказиев¹, Денис Александрович Анохин²,

^{1,2}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹sultanv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9833-9376>

²an.ocean@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7263-498X>

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные подходы для использования решений на основе методов машинного обучения и искусственного интеллекта, используемых при создании, внедрении и развитии интеллектуальных транспортных систем на территории Российской Федерации, реализуемых в настоящее время в рамках национального проекта «Инфраструктура для жизни». Особое внимание уделяется применяемым в настоящее время инструментам мониторинга и управления транспортными потоками, являющимися неотъемлемой частью таких систем, и обеспечивающими реализацию их целей и задач. Традиционный инструментальный построения интеллектуальных транспортных систем, основанный на сценарном и локальном адаптивном управлении дорожными контроллерами, позволяет получить определенные позитивные эффекты путем реагирования на возникающие изменения параметров, однако наиболее перспективным представляется подход, основанный на предиктивном управлении параметрами транспортных потоков с использованием сетевого адаптивного управления. Указанный подход моделирует сложные зависимости внутренних и внешних факторов влияния на транспортные потоки и динамику дорожной обстановки. Модели, основанные на параметрах реального транспортного потока, позволяют выявлять и определять вероятности изменения параметров, например, для прогнозирования возникновения транспортного затора в конкретном месте в конкретное время. Предиктивный подход к управлению, реализуемый в рамках развития функциональных возможностей интеллектуальных транспортных систем, позволит получить дополнительные позитивные социально-экономические эффекты для всех участников дорожного движения и пользователей дорог.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, светофорное регулирование, интеллектуальные транспортные системы, автомобильный транспорт, предиктивное управление, искусственный интеллект, организация дорожного движения, программно-аппаратный комплекс, параметры транспортных потоков.

Для цитирования: Жанказиев С.В., Анохин Д.А. О применении технологий предиктивного управления в интеллектуальных транспортных системах // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2026. № 1 (47).

Original article

The application of predictive control technologies at intelligent transport systems

Sultan V. Zhankaziev¹, Denis A. Anokhin²

^{1,2}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

¹sultanv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9833-9376>

²an.ocean@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7263-498X>

Abstract. The article addresses pressing issues related to the use of machine learning and artificial intelligence methods in the design, deployment, and development of intelligent transport systems (ITS) in the Russian Federation, which are currently being implemented within the framework of the national project “Infrastructure for Life.” Particular attention is paid to the monitoring and traffic flow control tools currently in use, which constitute an integral part of such systems and ensure the achievement of their goals and objectives. The traditional toolkit for building intelligent transport systems, based on scenario-driven and local adaptive control of traffic signal controllers, makes it possible to obtain certain positive effects by reacting to emerging changes in parameters. However, the most promising is an approach based on predictive control of traffic flow parameters using network-wide adaptive control. This approach models the complex interdependencies between internal and external factors influencing traffic flows and the dynamics of the traffic situation. Models based on real traffic flow parameters make it possible to identify and estimate the probabilities of changes in these parameters, for example, to forecast the occurrence of congestion at a specific location and at a specific time. A predictive control approach, implemented as part of the enhancement of the functional capabilities of intelligent transport systems, will provide additional positive socio-economic effects for all road users.

Keywords: automated control systems, traffic light control, intelligent transport systems, road transport, predictive control, artificial intelligence, traffic management, software and hardware complex, traffic flow parameters.

For citation: Zhankaziev S.V., Anokhin D.A. The application of predictive control technologies at intelligent transport systems. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2026. № 1 (47).

Введение

Текущие (традиционные) подходы к управлению транспортными системами основываются на реактивных методах – система реагирует на уже возникшую ситуацию [1]. Типичными примерами реактивного управления являются: переключение светофорных циклов при достижении определенных

значений интенсивности потока, информирование о заторах через динамическое информационное табло после их образования, перераспределение потоков после возникновения дорожно-транспортного происшествия. Такой подход имеет ряд существенных ограничений:

- запаздывание управляющих воздействий – к моменту реакции системы на изменение дорожной обстановки сложившаяся ситуация может существенно поменяться, что снижает эффективность принятых мер;
- невозможность предотвращения критических ситуаций – система реагирует на уже возникшие заторы и инциденты вместо того, чтобы предотвращать их образование;
- субоптимальность решений – отсутствие прогнозирования не позволяет выбрать управляющие воздействия, оптимальные с точки зрения будущего развития ситуации;
- ограниченная адаптивность к изменяющимся условиям – реактивные системы недостаточно учитывают закономерности изменения транспортных потоков во времени и пространстве.

В условиях увеличения нагрузки на дорожную инфраструктуру и повышения требований к качеству транспортного обслуживания населения требуются более совершенные методы управления, способные не только реагировать на текущую ситуацию, но и прогнозировать ее развитие.

В свою очередь, предиктивное (предсказательное, прогнозное) управление представляет собой качественно новый уровень функционирования ИТС, основанный на прогнозировании параметров транспортных потоков и упреждающем принятии управленческих решений [2].

Теоретической основой предиктивного управления является методология Model Predictive Control (далее – MPC) – прогнозирующее управление на основе модели [3]. Ключевая идея MPC заключается в использовании динамической модели управляемого объекта для предсказания

его поведения на определенном горизонте прогнозирования и последующей оптимизации последовательности управляющих воздействий, минимизирующих целевую функцию (например, суммарное время задержек, расход топлива, уровень выбросов).

Применение технологий машинного обучения, нейросетевых архитектур и методов MPC позволяет системе не просто адаптироваться к изменяющимся условиям, но и предвидеть их, оптимизируя работу транспортной инфраструктуры на основе прогнозных моделей.

Созданная материально-техническая база в рамках национальных проектов «Безопасные качественные дороги» (2019–2024 гг.) и «Инфраструктура для жизни» (2025–2030 гг.) формирует фундамент для перехода к системам предиктивного управления следующего поколения. Однако на текущий момент большинство внедренных ИТС соответствуют первому или второму технологическому уровню зрелости.

В этом контексте исследование методов и технологий предиктивного управления, анализ практической возможности их реализации, оценка ожидаемых эффектов и формулирование требований к программно-аппаратным комплексам (далее – ПАК) следующего поколения представляют высокую научную и практическую актуальность [4].

Существующие решения для целей управления и наблюдения за транспортными потоками

В настоящее время основной вектор развития ИТС направлен на управление дорожным движением и, в основном, подразумевает подключение светофорных объектов в центральный пункт управления ИТС. Дополнительно светофорные объекты оснащают оборудованием для мониторинга параметров транспортных потоков, тем самым реализуя подсистему светофорного управления и подсистему мониторинга параметров транспортных потоков

согласно Методике¹. Однако ИТС – это не только комплекс двух подсистем, реализованный в виде автоматизированной системы управления дорожным движением (далее – АСУДД), осуществляющей принципы адаптивного управления и включающий в себя технические средства для определения параметров дорожного движения. Исходя из обобщенной физической архитектуры ИТС, АСУДД относится к комплексной подсистеме ИТС и находится в непосредственной взаимосвязи с интеграционной платформой (далее – ИП) ИТС².

Для вышеобозначенного функционала на рынке отечественных программных обеспечений представлено 27 решений различных производителей, отвечающих критерию поиска – АСУДД [5].

Такие решения зарекомендовали себя и укоренились в использовании при управлении дорожным движением ввиду заложенных в них простых математических алгоритмов, которые могут быть проверены транспортным инженером вручную. Данный подход не отвечает тенденциям нового технологического времени, спросу населения на транспортную подвижность и ее изменчивость и инструментам, учитывающим последние разработки в области искусственного интеллекта и машинного обучения.

Для достижения целей внедрения ИТС необходимо планировать такие решения, которые позволят осуществлять предиктивное управление путем

¹ Распоряжение Минтранса России от 27.04.2024 N АК-95-р "Об утверждении Методических рекомендаций по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем) субъектов Российской Федерации на получение субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в целях реализации мероприятия "Внедрены интеллектуальные транспортные системы, предусматривающие автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек" в рамках федерального проекта "Общесистемные меры развития дорожного хозяйства" государственной программы Российской Федерации "Развитие транспортной системы".

² ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем.

интеграции информационных потоков как внутри ИТС, так и для связей ИТС с внешними системами [6].

В то время, когда существующие технологии позволяют оцифровать множество параметров, характеризующих состояние транспортной системы, разрозненность ее элементов становится более оцениваемой, что в свою очередь требует при создании, внедрении и масштабировании ИТС использование системного подхода, позволяющего раскрыть сущностное содержание сложных элементов, показать многообразие информационных связей между этими элементами и их составляющими, входящими в транспортную систему [7].

Перспективные решения в области интеллектуальных транспортных систем

Описывая архитектуру ИТС, необходимо отметить, что главный элемент в архитектуре ИТС – это ИП. Именно она осуществляет информационное взаимодействие различных элементов ИТС, организует информационные потоки данных и их анализ, формирует предиктивные модели управления транспортной системой. Таким образом, наиболее перспективным решением в области ИТС видится решение, отвечающее функциональным требованиям к третьему технологическому уровню ИП ИТС³, основывающееся на принципах открытости протоколов информационных обменов, независимости от поставщиков подключаемых элементов ИТС и реализующее технологии искусственного интеллекта и машинного обучения.

Алгоритм работы перспективного решения выглядит следующим образом:

³ ГОСТ Р 71092-2023. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной архитектуре интеграционной платформы интеллектуальных транспортных систем.

1. Сбор данных от всех элементов, подключенных к ИТС – возможность получения данных из разных источников независимо от внедорожной привязки.

2. Единый блок управления – информация с элементов ИТС должна передаваться по каналам связи в единый блок управления для обработки больших данных.

3. Анализ и прогнозирование – на основе ретроспективных, фактических и прогнозных данных и текущей динамики состояния дорожной обстановки производится моделирование краткосрочного прогноза управления транспортной системой с помощью методов машинного обучения и искусственного интеллекта.

4. Выбор управляющего воздействия – на основе проведенного моделирования методом машинного обучения и искусственного интеллекта производится анализ возможных сценариев работы транспортной сети на целом участке или улично-дорожной сети (далее – УДС) города в целом.

5. Исполнение – оптимальный сценарий в виде сформированных машиночитаемых команд отправляется на подключенное периферийное оборудование и специализированные программные обеспечения.

Исходя из функциональной архитектуры ИТС⁴, перспективное решение должно реализовывать следующие функции:

- централизованный доступ к используемым (уже существующим вне зависимости от внедорожной привязки) программным обеспечениям для управления ИТС;
- анализ данных, поступающих с подключенного периферийного оборудования ИТС для автоматического определения диапазонов таких параметров, как интенсивность движения, скорость, задержки, загруженность дорог, а также их адаптивной корректировки на основе исторических данных и новых поступающих данных;

⁴ ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем.

- формирование диапазонов значений параметров транспортных потоков с учетом влияния погодных условий, времени суток, дня недели и других данных, поступающих для обработки в комплекс;
- определение значимости факторов, оказывающих влияние на изменение параметров транспортных потоков, и выявления корреляции между ними;
- формирование управляющих воздействий на работу светофорных объектов на основании заданных оператором целевых параметров транспортных потоков;
- оценка эффективности ранее внесенных управляющих воздействий в план управления светофорными объектами. Оценка должна включать изменение параметров транспортных потоков с учетом данных о текущей и исторической ситуации за каждый цикл светофорного регулирования [8, 9].

При этом, чтобы реализовать указанный функционал, необходимо использовать методы машинного обучения и искусственного интеллекта:

- алгоритмы машинного обучения и глубокого обучения для выявления закономерностей;
- технологии обработки естественного языка для интеграции данных из различных источников;
- облачные платформы управления дорожным движением, интегрирующие данные из различных источников, включая камеры видеонаблюдения, дорожные метеостанции и детекторы транспорта.

Ввиду того, что функции и способы реализации этих функций различны с технологической и практической точки зрения, такое перспективное решение должно быть сформировано как ПАК, к которому могут быть подключены различные источники данных.

С точки зрения архитектуры программного обеспечения, ПАК должен включать в себя сети внешнего доступа, внутреннего взаимодействия и мониторинга, а также системы управления пользовательскими запросами и

предоставления вычислительных и сервисных ресурсов в отказоустойчивой конфигурации. Через единый интерфейс специального программного обеспечения комплекс уполномоченным пользователям должны быть доступны функции мониторинга, анализа состояния и предсказательного (предиктивного) управления транспортными потоками на УДС городской агломерации с учетом полученных факторов от УДС.

Архитектура такого комплекса должна поддерживать масштабируемость, возможность информационного обмена с внешними информационными системами, а также дальнейшее развитие комплекса путем подключения дополнительных источников данных, вычислительных и сервисных ресурсов, при этом поддерживать такое подключение вне зависимости от производителя периферийного оборудования и программного обеспечения (ограничения могут быть только на стороне подключаемых источников данных).

Заключение

Наличие одного ПАК позволит выйти на третий технологический уровень ИП, объединив в себе функционал отдельных комплексных и/или инструментальных подсистем и по праву назваться интегрированной интермодальной системой. Одним из преимуществ внедрения таких комплексов является неограниченное количество подключаемых источников данных как являющихся элементами подсистем ИТС по Методике, так и иных систем, не учтенных в действующей нормативно-правовой базе, но оказывающих влияние на распределение транспортных потоков и формирование транспортной сети в целом, которые позволят с помощью установленных в комплексе технологий машинного обучения, нейросетевых методов и методов МРС оптимизировать работу транспортной системы на основе прогнозных моделей.

Список источников

1. A Scientometric-Based Review of Traffic Signal Control Methods and Experiments Based on Connected Vehicles and Floating Car Data (FCD) / V. Astarita, V. P. Giofrè, G. Guido, A. Vitale // *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2021. – Vol. 11, No. 12. – P. 5547. – DOI 10.3390/app11125547. – EDN PFZARY.
2. Zhang, Le. Predictive Intelligent Transportation: Alleviating Traffic Congestion in the Internet of Vehicles / Le. Zhang, M. Khalgui, Zh. Li // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21, No. 21. – P. 7330. – DOI 10.3390/s21217330. – EDN MQFXYO.
3. Jafari, S. Improving the Performance of Single-Intersection Urban Traffic Networks Based on a Model Predictive Controller / S. Jafari, Z. Shahbazi, Yu. Ch. Byun // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13, No. 10. – P. 5630. – DOI 10.3390/su13105630. – EDN BRAPVS.
4. Евстигнеев, И. А. Основы создания интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях России / И. А. Евстигнеев. – Москва: Издательство "Перо", 2021. – 294 с.
5. Реестр программного обеспечения: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru>.
6. Развитие архитектуры интеллектуальных транспортных систем / Е. О. Андреев, С. В. Жанказиев, В. В. Зырянов, А. С. Павлов // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. – 2024. – Т. 18, № 1. – С. 38-43. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-1-38-43. – EDN HNTJMK.
7. Бажина, М. А. Проблемы правового регулирования применения инновационных технологий в транспортно-логистической деятельности / М. А. Бажина // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Право*. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 41-45. – DOI 10.14529/law230307. – EDN KOYNVF.
8. Кузнецов, С. А. Организационно-технические аспекты внедрения интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях / С. А. Кузнецов, В. А. Николаев // *Экономика и управление*. – 2025. – Т. 31, № 6. – С. 728-737. – DOI 10.35854/1998-1627-2025-6-728-737. – EDN RISOHW.
9. Сырцова, Е. А. Эффекты внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах России / Е. А. Сырцова // *Государственное управление. Электронный вестник*. – 2023. – № 101. – С. 159-169. – DOI 10.24412/2070-1381-2023-101-159-169. – EDN RHWEOJ.

References

1. Astarita V., Giofrè V.P., Guido G., Vitale A. A Scientometric-Based Review of Traffic Signal Control Methods and Experiments Based on Connected Vehicles and Floating Car Data (FCD), *Applied Sciences (Switzerland)*, 2021, vol. 11, no. 12, p. 5547, doi 10.3390/app11125547.

2. Zhang L., Khalgui M., Li Z., Predictive Intelligent Transportation: Alleviating Traffic Congestion in the Internet of Vehicles, *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 21, p. 7330, doi 10.3390/s21217330.
3. Jafari S., Shahbazi Z., Byun Y.C. Improving the Performance of Single-Intersection Urban Traffic Networks Based on a Model Predictive Controller, *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 10, p. 5630, doi 10.3390/su13105630.
4. Evstigneev I.A. *Osnovy sozdaniya intellektual'nyh transportnyh sistem v gorodskih aglomeracijah Rossii* (Fundamentals of creating intelligent transport systems in urban agglomerations of Russia), Moscow, Izdatel'stvo "Pero", 2021, 294 p.
5. Reestr programmnoho obespecheniya: official website, Moscow, available at: <https://reestr.digital.gov.ru>.
6. Andreev E.O., Zhankaziev S.V., Zyryanov V.V., Pavlov A.S. *T-Comm: Telekomunikacii i transport*, 2024, vol. 18, no. 1, pp. 38-43, doi 10.36724/2072-8735-2024-18-1-38-43.
7. Bazhina M.A. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pravo*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 41-45, doi 10.14529/law230307.
8. Kuznecov S.A., Nikolaev V.A. *Ekonomika i upravleniye*, 2025, vol. 31, no. 6, pp. 728-737, doi 10.35854/1998-1627-2025-6-728-737.
9. Syrcova E.A. *Gosudarstvennoye upravleniye. Elektronnyy vestnik*, 2023, no. 101, pp. 159-168, doi 10.24412/2070-1381-2023-101-159-169.

Рецензент: Д.Б. Ефименко, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Жанказиев Султан Владимирович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы», МАДИ.

Анохин Денис Александрович, аспирант кафедры «Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы», МАДИ.

Information about the authors

Zhankaziev Sultan V., Doctor of Sciences (Technical), professor, Head of Department “Road traffic management and safety, Intelligent transport systems”, MADI.

Anokhin Denis A., Postgraduate Student of the Department “Traffic Organization and Safety, Intelligent Transport Systems”, MADI.

Статья поступила в редакцию 16.03.2026; одобрена после рецензирования 19.03.2026; принята к публикации 31.03.2026.

The article was submitted 16.03.2026; approved after reviewing 19.03.2026; accepted for publication 31.03.2026.