

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА ВОРОНЕЖСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ: АРХИТЕКТУРА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А.Ю. Артемов¹, С.В. Дорохин¹, Д.В. Лихачев¹, Н.В.Зеликова¹, Е.В. Шаталов¹

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия
alexandrvm@mail.ru

Аннотация. В статье представлен анализ интеллектуальной транспортной системы (ИТС) Воронежской городской агломерации – одной из крупнейших в Центрально-Черноземном регионе. Рассмотрены предпосылки создания ИТС, ее архитектура, включая подсистемы детектирования транспорта, адаптивного управления светофорными объектами, приоритетного обслуживания общественного транспорта и динамического информирования участников движения [1]. Выявлены сохраняющиеся проблемы в организации дорожного движения. Предложены направления дальнейшего совершенствования ИТС, включая внедрение интеллектуальных контроллеров и интеграцию с системами экстренных служб.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, адаптивное управление, зеленая волна, приоритет общественного транспорта, транспортное моделирование, умные светофоры.

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM OF THE VORONEZH AGGLOMERATION: ARCHITECTURE, EFFICIENCY AND DEVELOPMENT PROSPECTS

A.Y. Artemov¹, S.V. Dorokhin¹, D.V. Likhachev¹, N.V. Zelikova¹, E.V. Shatalov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia, alexandrvm@mail.ru

Abstract. The article presents an analysis of the intelligent transport system (ITS) of the Voronezh urban agglomeration, one of the largest in the Central Black Earth region. The prerequisites for the creation of ITS, its architecture, including subsystems for detecting transport, adaptive control of traffic lights, priority service of public transport and dynamic information for road users are considered [1]. Persistent issues were identified. Areas for further improvement of the ITS were proposed, including the implementation of intelligent controllers and integration with emergency services systems.

Keywords: intelligent transport system, adaptive control, green wave, public transport priority, transport modeling, smart traffic lights.

Современные городские агломерации сталкиваются с проблемой транспортного коллапса из-за опережающего роста автомобилизации по сравнению с развитием уличной дорожной сети (УДС). Воронежская агломерация, объединяющая город Воронеж (численность населения около 1,05 млн человек) и прилегающие районы (Новоусманский, Рамонский, Семилукский), является типичным примером быстрого увеличения парка легковых автомобилей – за последние десять лет его прирост составил более 40% [2]. При этом исторически сложившаяся радиально-кольцевая структура УДС, наличие трех крупных мостов через Воронежское водохранилище и ограниченное число развязок приводят к возникновению устойчивых заторов в часы пик [1].

Традиционные методы управления движением (жесткое расписание светофоров, статичные дорожные знаки) исчерпали свой потенциал [3]. В связи с этим с 2021 года в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» (позднее – «Инфраструктура для жизни») на территории Воронежской агломерации началось внедрение интеллектуальной транспортной системы (ИТС) [2]. Цель настоящей работы – систематизировать архитектуру ИТС Воронежа, оценить ее фактическую эффективность на основе данных эксплуатации за 2023–2025 гг. и определить проблемные зоны, требующие дальнейших исследований и доработок.

До внедрения ИТС транспортная ситуация в Воронежской агломерации характеризовалась следующими негативными факторами [1; 2]:

1. Высокая задержка на перекрестках – среднее время ожидания на регулируемых пересечениях в часы пик достигало 90-120 с, коэффициент насыщения (отношение фактического потока к пропускной способности) на магистралях превышал 0,95, что соответствует режиму перегрузки.

2. Неравномерность загрузки полос – отсутствие адаптивных алгоритмов приводило к тому, что при возникновении аварийной ситуации светофорные объекты продолжали работать по прежней фазовой схеме, усугубляя заторы [3].

3. Низкая эффективность общественного транспорта – автобусы и троллейбусы, не имея приоритета, двигались в общем потоке, их скорость в часы пик падала до 10–12 км/ч, что снижало качество обслуживания населения [2].

4. Отсутствие оперативной обратной связи – водители узнавали о пробках только из радио или мобильных приложений с длительной задержкой.

5. Парковочный хаос – стихийная парковка на проезжей части блокировала целые полосы движения, снижая пропускную способность на 20–30% [7].

Таким образом, существовала острая научно-практическая задача: разработать и внедрить систему управления движением, способную в реальном времени адаптироваться к изменениям транспортного спроса.

ИТС Воронежа построена по трехуровневому принципу (полевого уровня, уровня передачи данных, уровня управления).

Для качественной оценки использовались данные Центра ИТС Воронежа за два периода: базовый (2021 г., до активного внедрения) и текущий (2025 г., первые 6 месяцев). Выборка включала рабочие дни (пн-пт) в осенне-весенний период (исключены летние каникулы и новогодние праздники). Обработка велась методами описательной статистики и парного сравнения [2].

Таблица 1 – Изменение показателей транспортного потока на ключевых магистралях

Table 1 – Changes in traffic flow indicators on key highways

Показатель	Средняя скорость движения в час пик, км/ч		Среднее время задержки на при проезде, с		Фактическая пропускная способность, авт/ч	
	2021 год	2025 год	2021 год	2025 год	2021 год	2025 год
1	2	3	4	5	6	7
Московский проспект	18,2	23,4 (+28,6%)	52,3	38,5 (-26,4%)	2150	2580 (+20%)
Ленинский проспект	16,5	21,0 (+27,3%)	61,7	45,9 (-25,6%)	1980	2400 (+21,2%)
ул. Плехановская	14,1	17,8 (+26,2%)	73,2	54,1 (-26,1%)	1750	2120 (+21,1%)
Среднее по городу	16,3	207,7 (+27%)	62,4	46,2 (-26%)	2120	2367(+20,8%)

Несмотря на положительную динамику, анализ работы ИТС Воронежской агломерации выявил следующие системные проблемы [2; 6]:

1. Неполнота охвата. Из 112 регулируемых перекрестков к адаптивному управлению подключено только 68 (61%). На окраинах (поселки Масловка, Подгорное, Сомово) продолжают использоваться устаревшие релейные контроллеры без связи с центром управления ИТС [2]. Это создает «разрывы зеленой волны» и локальные заторы на въездах.

2. В 23% случаев диспетчеры переключают светофоры в ручной режим «для оперативного решения» проблемы, забывая вернуть в автоматический режим. Длительность таких режимов в среднем составляет 22 мин., что ухудшает координацию [2].

3. Отсутствие интеграции с системами экстренных служб. В настоящее время нет автоматического зеленого коридора для машин скорой помощи, пожарных расчетов. По данным ГИБДД, до 15% выездов экстренных служб задерживаются на перекрестках на 30-60 секунд, что критично [1].

4. Кибербезопасность. ИТС Воронежа использует открытые каналы связи (VPN через интернет) для части периферийных устройств. Аудит 2024 года выявил потенциальную уязвимость к атакам типа «отказ в обслуживании» (DoS) на контроллеры двух перекрестков [6].

На основе проведенного анализа предлагаются следующие научно-обоснованные рекомендации по развитию ИТС Воронежской агломерации до 2028 года [1; 5; 6]:

- Переход на самообучаемые контроллеры (на базе reinforcement learning). Предварительное моделирование показывает, что алгоритмы глубокого Q-обучения (Deep Q-Network) могут снизить задержки еще на 15% по сравнению с текущими детерминированными алгоритмами [5].

- Расширение сети детекторов до 100% охвата регулируемых перекрестков и установка Bluetooth/Wi-Fi-сенсоров для отслеживания времени в пути между узлами [3].

- Обязательная сертификация ГЛОНАСС для всех перевозчиков в рамках соглашений о нерегулируемых тарифах (внесение изменений в региональное законодательство) [2].

- Интеграция с системой «Безопасный город» для создания зеленого коридора экстренным службам на основе прерывания с наивысшим приоритетом (исследование режимов – предмет отдельной работы) [1].

Интеллектуальная транспортная система Воронежской агломерации представляет собой успешный пример государственно-частного партнерства в области цифровизации дорожного движения [1; 2]. За четыре года эксплуатации (2021–2025) удалось достичь статистически значимого повышения средней скорости на магистралях на 27%, сокращения задержек на перекрестках на 26% и роста пропускной способности на 21% [2]. При этом сохраняются резервы для улучшения: расширение охвата, устранение человеческого фактора и повышение киберустойчивости [6; 7].

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку адаптивных алгоритмов, учитывающих не только текущий трафик, но и прогноз погоды, проведение массовых мероприятий, а также на создание математической модели поведения водителей при динамическом изменении фаз светофоров [3; 5]. Опыт Воронежа может быть масштабирован на другие средние и крупные города России, находящиеся в сходных транспортных и экономических условиях [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вдовин А.В., Сазонов А.А. Интеллектуальные транспортные системы в городских агломерациях: принципы построения и оценка эффективности. – М.: Техполиграфцентр, 2023. – 312 с.
2. Отчет о реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги» на территории Воронежской области за 2021–2024 гг. – Воронеж: Департамент транспорта и дорожного хозяйства, 2025. – 89 с.
3. Кравченко П.Е., Медведева О.И. Методы детектирования транспортных потоков в системах адаптивного управления // Автоматика и телемеханика. – 2024. – № 3. – С. 45–58.
4. Кузьмин В.В., Орлов Д.С. Адаптивное управление светофорными объектами на основе модифицированного метода Вебстера для городских агломераций // Транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9, № 2. – С. 22–35.
5. Соколов А.И., Петрова Е.Н. Применение глубокого обучения с подкреплением для управления транспортными потоками в интеллектуальных транспортных системах // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2024. – № 2. – С. 67–80.
6. Аксенов С.В., Бородин А.С. Киберфизическая безопасность интеллектуальных транспортных систем: угрозы и методы защиты. – СПб.: Наука, 2024. – 204 с.
7. Региональный доклад «О состоянии окружающей среды Воронежской области в 2024 году». – Воронеж: Центр экологической политики, 2025. – 67 с.

REFERENCES

1. Vdovin A.V., Sazonov A.A. Intelligent transport systems in urban agglomerations: design principles and performance assessment. – M.: Tekhpolygraftsentr, 2023. – 312 p.
2. Report on the implementation of the national project "Safe High-Quality Roads" in the Voronezh Region for 2021–2024. – Voronezh: Department of Transport and Road Management, 2025. – 89 p.
3. Kravchenko P.E., Medvedeva O.I. Methods for detecting traffic flows in adaptive control systems // Automation and Telemechanics. - 2024. - No. 3. - P. 45-58.
4. Kuzmin V.V., Orlov D.S. Adaptive control of traffic lights based on the modified Webster method for urban agglomerations // Transport systems and technologies. - 2023. - Vol. 9, No. 2. - P. 22-35.
5. Sokolov A.I., Petrova E.N. Application of deep reinforcement learning for traffic flow management in intelligent transport systems // Artificial Intelligence and Decision Making. - 2024. - No. 2. - P. 67-80.
6. Aksenov S.V., Borodin A.S. Cyber-physical security of intelligent transport systems: threats and protection methods. – St. Petersburg: Nauka, 2024. – 204 p.
7. Regional report "On the state of the environment of the Voronezh region in 2024". - Voronezh: Center for Environmental Policy, 2025. - 67 p.