

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 004.738(075.8)

DOI: 10.46573/2658-5030-2025-4-64-71

ЭФФЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

А.Ю. КЛЮШИН, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: klalex@inbox.ru

© Ключин А.Ю., 2025

Статья посвящена актуальным для крупных городов проблемам автомобильного транспорта, решение которых требует дальнейшего развития теоретической и практической базы внедрения гибридной интеллектуальной транспортной системы для повышения безопасности дорожного движения. Показано место интеллектуальной транспортной системы в управлении, описана общая схема ее работы. Обоснована необходимость перехода на адаптивные алгоритмы работы с транспортными потоками и применения гибридных интеллектуальных систем.

Ключевые слова: транспорт, безопасность дорожного движения, гибридная интеллектуальная система, адаптивное управление.

ВВЕДЕНИЕ

Адаптивный подход к повышению эффективности гибридной интеллектуальной транспортной системы предполагает гибкое управление дорожным движением на основе изменений условий транспортного потока. Наиболее важные проблемы, обостряющиеся по мере роста уровня автомобилизации, связаны с обеспечением безопасности дорожного движения.

Транспортная система (ТС) – система, включающая различные элементы для перемещения (доставки) людей и грузов и состоящая из инфраструктуры, предприятий, средств и управления [1].

Процесс принятия решений в любой сфере, в том числе и на транспорте, основан на переработке больших объемов информации. Информационная система должна обеспечивать возможность получения необходимой информации конкретным лицом в нужное время. Российская транспортная система характеризуется большой зависимостью от информационных технологий, которые построены на основе информационных хранилищ и интеллектуальной обработки данных.

Интеллектуальная информационная система (ИИС) – комплекс программных, лингвистических и логико-математических средств для реализации основной задачи – осуществления поддержки деятельности человека и поиска информации в режиме продвинутого диалога на естественном языке [2].

В современной цифровой экономике широкое распространение получили гибридные интеллектуальные системы (ГиИС). Они строятся на объединении потенциала экспертных систем и нейронных сетей. Это системы, в которых для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека [3]. Таким образом, ГиИС – это совокупность аналитических моделей, экспертных систем, искусственных нейронных сетей, нечетких систем, генетических алгоритмов, имитационных статистических моделей.

Междисциплинарное направление «гибридные интеллектуальные системы» объединяет ученых и специалистов, исследующих применимость к решению задач управления и проектирования не одного, а нескольких методов, как правило, из различных классов. В 2007 году была выдвинута проблемно-инструментальная методология разработки ГиИС. Она представляла собой расширение проблемно-структурного подхода, предназначенное для ситуаций, когда отсутствуют подходящие методы для решения компонентов сложной задачи.

При большом количестве разработок по цифровизации экономики основные проблемы повышения эффективности транспортных систем на базе цифровых технологий далеки от решения. Например, важно отметить, что именно безопасность дорожного движения (БДД) для ТС остается одной из ключевых глобальных проблем XXI века. Согласно данным ВОЗ, ежегодно в мире в ДТП погибает около 1,3 млн чел., а экономические потери достигают 3 % от ВВП стран. В России, несмотря на реализацию федеральных программ, уровень аварийности остается высоким: в 2024 году зафиксировано свыше 130 тыс. ДТП, в которых погибли более 15 тыс. человек. Такие потери диктуют необходимость поиска системных решений, способных радикально улучшить ситуацию [4].

Актуальность темы обусловлена:

- социальным запросом на снижение аварийности;
- технологической готовностью к системной интеграции;
- экономической целесообразностью инвестиций в интеллектуальные транспортные системы (ИТС);
- научной потребностью в разработке адаптированных моделей.

Проведение данного исследования соответствует стратегии безопасности дорожного движения РФ до 2030 года [5, 6]. Решение проблемы требует математического обеспечения в виде моделей, методов и комплексов программ для анализа и предотвращения событий на основе системного подхода.

Объектом исследования является региональная ИТС (физическая и информационная инфраструктура) с соответствием современным трендам по ориентации на технологии Industry 4.0 (IIoT, AI, BigData).

В российской транспортной сфере активно внедряются цифровые решения. Идеи Индустрии 4.0 и промышленного интернета вещей (IIoT) превращаются из модных направлений в важные инструменты для увеличения продуктивности, адаптивности и гибкости. Главным элементом трансформации является сбор надежных данных о физических процессах в текущем времени. В этом контексте современные системы мониторинга (например, беспроводные сети с сенсорами) играют определяющую роль в повышении БДД.

Целью работы является рассмотрение возможностей и эффектов от применения ГиИС на транспорте для повышения БДД с учетом региональных особенностей.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТЕ

Интеллектуальная техника систем автоматизированного управления дорожным движением (АСУДД) представляет собой адаптивные системы управления движением в городах и регионах. Эти системы имеют различные возможности, такие как наблюдение за состоянием дорожной сети, обобщение полученных данных, анализ текущей ситуации, на основе чего осуществляется управление транспортными потоками. Важным аспектом является информирование всех участников дорожного движения о состоянии системы посредством дорожных знаков с автоматически изменяемой информацией, специальных динамических информационных табло, расписания движения общественного транспорта и других сервисов. Кроме того, АСУДД могут предоставлять через «горячую линию» актуальную информацию о местах проведения массовых мероприятий, перекрытиях или ремонте дорог, а также предлагать схемы объезда.

Системы АСУДД, основанные на компьютеризированных интеллектуальных автоматических системах, получили широкое распространение во всем мире как ИТС. Для обеспечения функциональности в ИТС необходимо наличие обратной связи, позволяющей автоматическую передачу оперативных данных о работе объектов ТС в блок управления, а также автоматическое (или с минимальным участием оператора) формирование управляющих воздействий на объекты ТС в режиме реального времени.

На рис. 1. показана укрупненная схема ИТС в управлении транспортным комплексом [7].

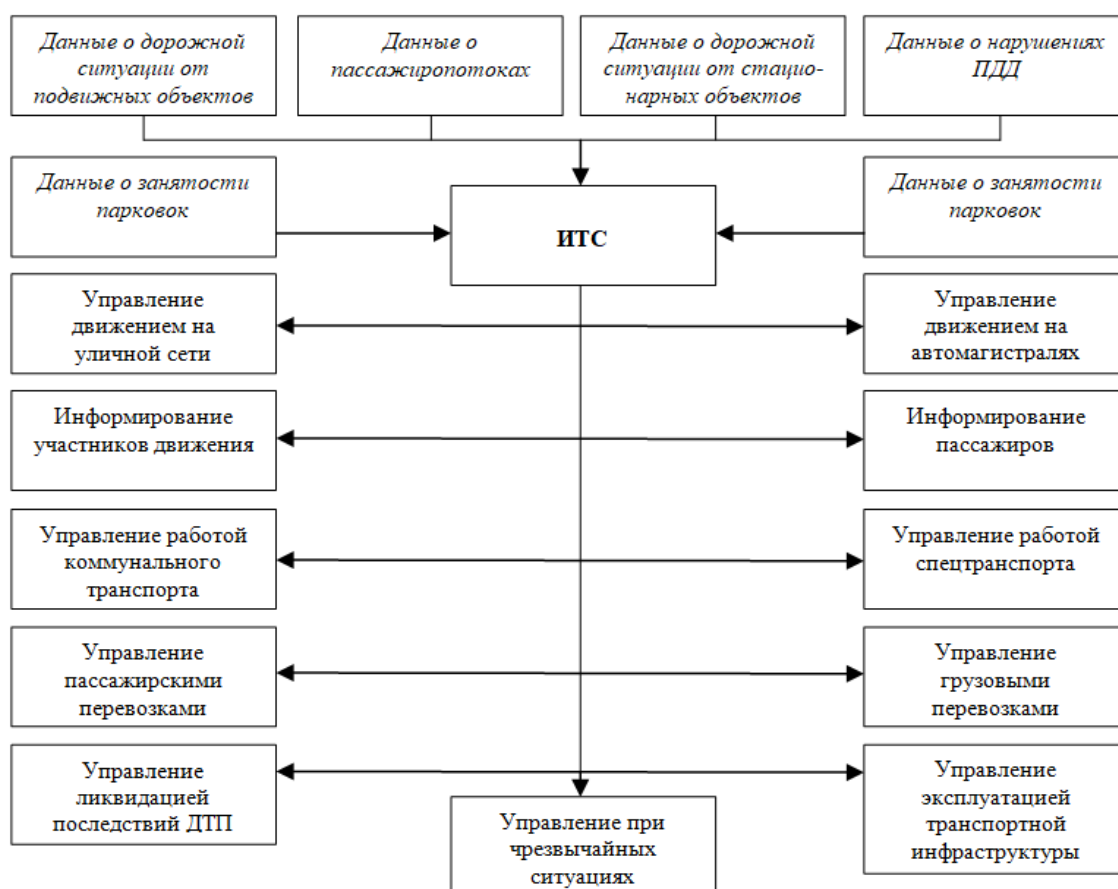


Рис. 1. Место ИТС в управлении транспортным комплексом

Ключевые достоинства ИТС заключаются в увеличении эффективности дорожного движения, что приводит к уменьшению числа ДТП. Это достигается благодаря информированию каждого водителя о наиболее подходящих маршрутах. Поэтому, внедрив динамические системы навигации, предлагающие оптимальный путь следования, можно учитывать индивидуальные предпочтения каждого пользователя, не противореча общим задачам организации дорожного движения. Данное направление активно используется во многих странах мира, включая и нашу страну, где уже имеются успешные примеры реализации и дальнейшего совершенствования этих технологий [8].

Целесообразность внедрения ИТС определяется еще и тем, что в их системной информационной среде руководители транспорта и административные органы впервые приобретают возможность получать оперативные и объективные данные о работе как пассажирского, так и других видов транспорта, а также принципиально новую возможность оперативно контролировать и, следовательно, управлять безопасностью работы ТС крупных городов.

Построение ИТС является закономерным этапом удовлетворения современных высоких требований экономики и населения к транспортному обслуживанию. Это происходит и при использовании мониторинговых систем – многофункциональных интеллектуальных систем, позволяющих в реальном времени контролировать местонахождение автомобиля с помощью встроенной системы спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС, состояние его ключевых узлов и агрегатов, автоматически реагировать на заданные события, получать команды и отправлять сообщения с помощью встроенного GSM-модема. Общая схема работы ИТС представлена на рис. 2.

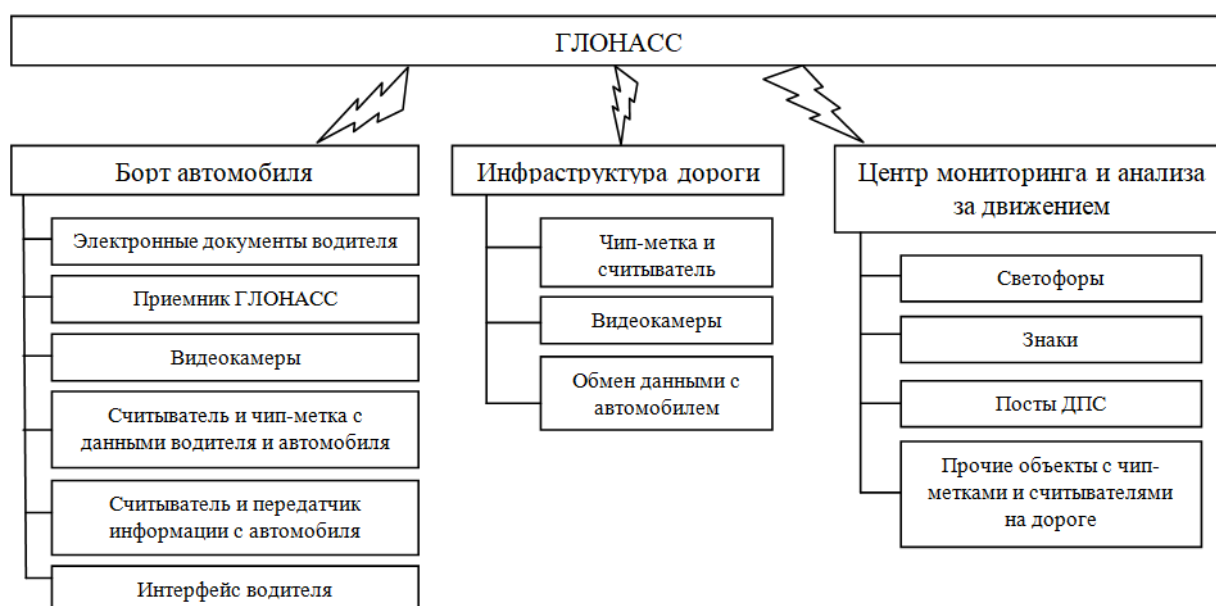


Рис. 2. Общая схема работы ИТС

Таким образом, ИТС – это результат интеграции информационных и коммуникационных технологий и средств автоматизации с транспортной инфраструктурой, транспортными средствами и их пользователями для повышения безопасности и оптимизации дорожного движения.

Контроль работы ТС – это комплекс, включающий в себя две подсистемы: управление транспортными потоками и управление транспортными средствами.

Активный компонент ТС – это множество людей, которые обладают способностью адаптироваться к быстро изменяющимся условиям и поведение которых направлено на достижение собственных целей. Присутствие человеческого фактора как активного элемента системы является причиной формирования устойчивых (стационарных) режимов функционирования транспортных систем, так как любое внешнее воздействие на индивидуальный объект компенсируется решением активного субъекта (в частности, водителя). Поэтому применение ГиИС как совокупности моделей, алгоритмов, информационного обеспечения необходимо для повышения БДД и анализа ее эффективности.

Специалисты ГИБДД и транспортные планировщики, как правило, используют следующий процесс анализа эффективности БДД:

1. Теоретическая база + системный анализ.
2. Моделирование ERD/DFD + математические методы.
3. Статистический анализ + экспериментальная подготовка.
4. Оценка эффективности.

DFD (диаграмма потока данных) и ERD (диаграмма взаимосвязи сущностей) – это два типа диаграмм, которые используются для описания потока данных и информации внутри системы: DFD – для моделирования потока данных между процессами, хранилищами данных и внешними объектами; ERD – для моделирования структуры базы данных, а также взаимосвязей между сущностями, составляющими эту структуру.

Обоснование выбора методов:

- 1) комплексность – сочетание теоретических и прикладных подходов;
- 2) верифицируемость – все методы позволяют получить количественные результаты;
- 3) практическая направленность – ориентация на внедрение в реальные ТС.

В данном процессе используются:

комбинация классических транспортных исследований с методами DataScience;

адаптация методов машинного обучения для задач БДД;

интеграция подходов из смежных областей, включая градостроительство, телекоммуникации и т. д.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Отечественные исследования демонстрируют значительный прогресс в области адаптивного управления транспортными потоками. Это приводит к повышению качества управления транспортным процессом и дорожной инфраструктуры за счет эффективного управления данными. Основными пробелами здесь являются недостаточная цифровизация, слабая предиктивная аналитика и региональная несбалансированность [9].

Схема текущего состояния ИТС в регионе представлена на рис. 3.

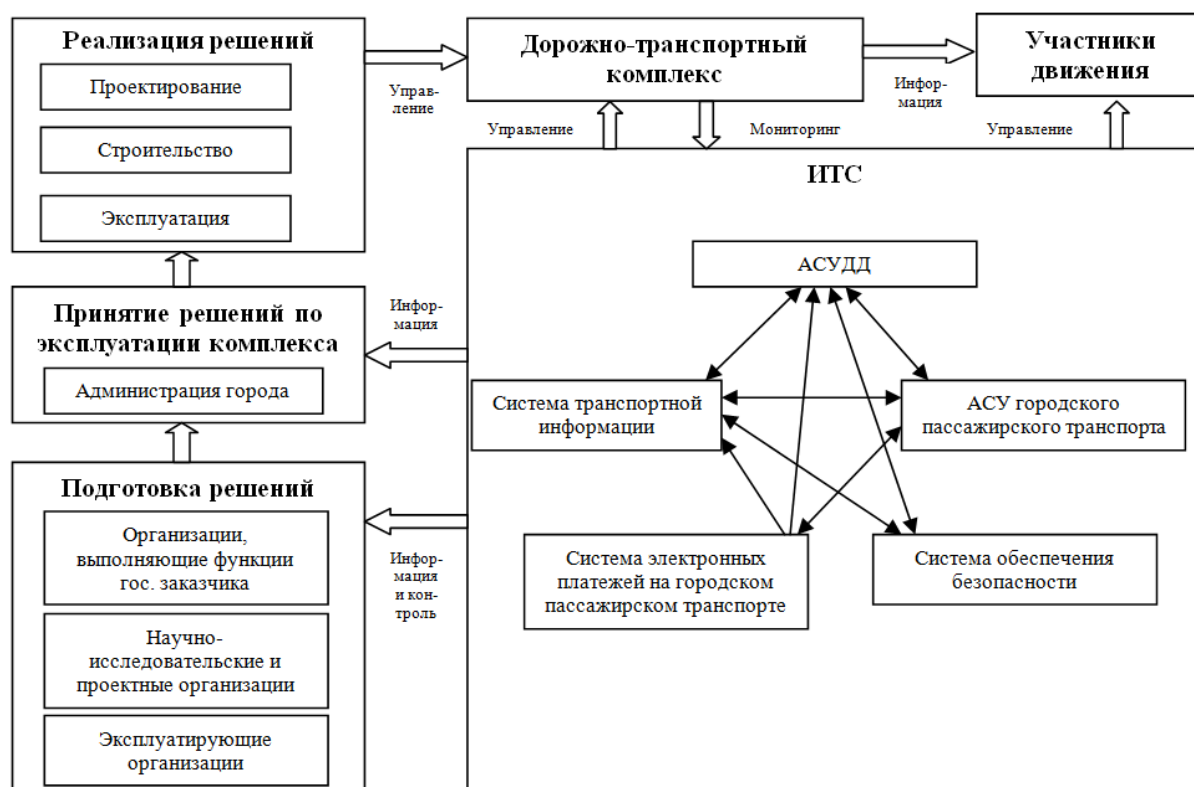


Рис. 3. Схема текущего состояния ИТС в регионе

Проанализируем текущее состояние ИТС в Тверской области на примере внедрения цифровой платформы «Датапакс» [10].

Тверская область – один из пилотных регионов по внедрению цифровой платформы «Датапакс», рекомендованной Госсоветом РФ для масштабирования в других субъектах.

1. Ключевые достижения.

Снижение аварийности: после внедрения системы на 67 % сократилось количество ДТП с участием общественного транспорта.

Оптимизация маршрутов: среднее время поездок уменьшилось на 10 % за счет анализа пассажиропотока и корректировки расписаний.

Безналичная оплата: 80 % поездок оплачиваются безналично, в том числе с помощью банковских карт.

2. Проблемы.

Охват системы пока ограничен несколькими наиболее крупными городами, такими как Тверь, Ржев, Кимры, сельские районы подключены слабо.

Отсутствие специалистов по эксплуатации ИТС и транспортному планированию – ключевая проблема, характерная для регионов России. В Тверской области это усугубляется отсутствием крупных IT-центров, способных готовить профильные кадры.

Поддержка ИТС требует значительных бюджетных вложений. Например, обслуживание систем видеоаналитики и адаптивных светофоров в Твери может стать финансовой нагрузкой для региона, особенно с учетом необходимости регулярного обновления программного обеспечения и замены оборудования.

Используется устаревшее оборудование без поддержки адаптивного управления.

На большинстве перекрестков отсутствуют интеллектуальные датчики транспорта.

Ограничены возможности обработки данных в реальном времени.

3. Мониторинг и аналитика.

Имитационное моделирование: в 2021 году разработаны модели пассажиропотоков для некоторых станций и маршрутов в нескольких городах области (Кимрах, Старице и др.).

Данные для оптимизации: используется информация о движении транспорта, оплате проезда и авариях для корректировки маршрутной сети.

Ограничения связаны с нехваткой стационарных датчиков на дорогах, что снижает точность данных в реальном времени.

4. Сравнение с другими регионами.

Тверская область отстает по уровню автоматизации (в столице – 2,6 тыс. адаптивных светофоров и 3,7 тыс. детекторов), но все более активно внедряет технологии искусственного интеллекта для прогнозирования ДТП.

5. Рекомендации по развитию.

Расширение покрытия «Дататакс» на малые города и сельские маршруты.

Интеграция с ИТС Москвы для согласованного управления транзитными потоками (например, по трассе М-10).

Внедрение предиктивных систем на основе данных БПЛА и камер для контроля аварийных участков.

6. Вывод.

Тверская область демонстрирует прогресс в цифровизации транспорта, но требует дополнительных инвестиций и интеграции с федеральными проектами для достижения уровня ведущих регионов.

Ключевые проблемы ИТС в Тверской области с рекомендациями

Приоритет региональной интеграции: создание единой платформы для сбора данных по всем муниципалитетам.

Инвестиции в импортозамещение.

Обучение кадров: партнерство с вузами для подготовки специалистов по ИТС.

Устаревшая техническая база: до 40 % светофорного оборудования в Твери требует модернизации, многие объекты работают на аппаратуре 2000-х годов выпуска.

Нехватка датчиков транспорта.

Большинство перекрестков работают по жестким временным программам без адаптивного управления.

Дефицит финансирования и длительные процедуры закупок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенный анализ существующих АСУДД в Тверской области позволил на основании выявленных недостатков сформулировать следующие задачи дальнейшего исследования по повышению БДД:

1. Разработать методику комплексной оценки эффективности АСУДД с учетом региональных особенностей Тверской области.

2. Создать алгоритм адаптивного управления транспортными потоками на основе ГиИС, обеспечивающий динамическое регулирование светофорных циклов, прогнозирование транспортной нагрузки, оптимизацию пропускной способности перекрестков с учетом региональных особенностей.

3. Предложить экономическую модель модернизации АСУДД, включающую расчет требуемых инвестиций, оценку экономической эффективности, механизмы привлечения финансирования.

4. Разработать организационную схему внедрения интеллектуальной системы управления, предусматривающую создание единого инновационного центра управления, подготовку квалифицированного персонала, поэтапный переход на новые технологии.

Исходя из решения поставленных задач предполагается получить следующие результаты:

1. Научно обоснованные рекомендации по модернизации АСУДД в Тверской области.

2. Программно-аппаратный комплекс адаптивного управления, позволяющий снизить задержки транспорта на 20–25 %, увеличить пропускную способность магистралей на 15–20 %, сократить количество ДТП на регулируемых перекрестках на 15 %.

3. Экономическое обоснование: срок окупаемости проекта от внедрения, эффект от снижения транспортных издержек, социально-экономическая выгода от внедрения с учетом региональных особенностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизированная система управления дорожным движением Тверской области требует комплексной модернизации с акцентом на интеграцию, автоматизацию и внедрение современных технологий управления трафиком на основе ГиИС на транспорте.

Результаты работы будут иметь практическую ценность для органов управления транспортом, проектировщиков дорожной инфраструктуры, разработчиков интеллектуальных систем.

Таким образом, долгосрочная цель повышения БДД в ТС региона направлена на внедрение моделей и методов обеспечения БДД, интегрированных в ТС будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галабурда В.Г., Персианов В.А., Тимошин А.А. Единая транспортная система: учебник. М.: Транспорт, 1996. 295 с.

2. Колесников А.В., Кириков И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М.: ИПИ РАН, 2007. 387 с.

3. Клачек П.М., Бабкин А.В., Либерман И.В. Функциональная гибридная интеллектуальная система принятия решений для трудноформализуемых производственно-экономических задач в цифровой экономике // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2019. Т. 12. № 1. С. 21–32.

4. Щёголев М.П., Ключин А.Ю. Основы совершенствования системы управления безопасностью дорожного движения // *Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): Сборник статей XI Международной научно-практической конференции*. Пенза: Пензенский ГАУ, 2024. С. 313–316.

5. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли России до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 21 декабря 2021 г. № 3744-р. URL: <https://consultant.ru> (дата обращения: 15.07.2025).

6. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. URL: <https://consultant.ru> (дата обращения: 15.07.2025).

7. Евстигнеев И.А. Основы создания интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях России. М.: Перо, 2021. 294 с.
8. Курганов В.М. Логистические транспортные потоки: учебно-практическое пособие. М.: Дашков и К°, 2003. 249 с.
9. Миротин Л.Б., Покровский А.К., Некрасов А.Г. Управление социально-техническими системами: учебное пособие. М.: Академия, 2014. 190 с.
10. Отчет НИИАТ «Пилотное внедрение ИТС в г. Тверь». М.: НИИАТ, 2022. 103 с.

Для цитирования: Ключин А.Ю. Эффекты применения гибридной интеллектуальной системы на транспорте для повышения безопасности дорожного движения // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2025. № 4 (28). С. 64–72.

EFFECTS OF USING A HYBRID INTELLIGENT SYSTEM IN TRANSPORT TO IMPROVE ROAD SAFETY

A.Yu. KLYUSHIN, Cand. Sc.

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: klalex@inbox.ru

The article is devoted to the problems of road transport that are relevant for large cities, and their solution requires further development of the theoretical and practical basis for the implementation of a hybrid intelligent transport system to improve road safety. The article shows the place of an intelligent transport system in management and describes its general scheme of operation. The article substantiates the need to switch to adaptive algorithms for working with traffic flows and the use of hybrid intelligent systems.

Keywords: transport, road safety, hybrid intelligent system, adaptive management.

Поступила в редакцию/received: 01.08.2025; после рецензирования/revised: 13.08.2025;
принята/accepted: 13.08.2025

УДК 004.738(075.8)

DOI: 10.46573/2658-5030-2025-4-72-82

ИНСТРУМЕНТАРИЙ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

А.Ю. КЛЮШИН, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: klalex@inbox.ru

© Ключин А.Ю., 2025

Статья посвящена совокупности средств, применяемых для осуществления процесса управления безопасностью дорожного движения в транспортных системах. Это требует прежде всего построения реалистичных моделей транспортных потоков,