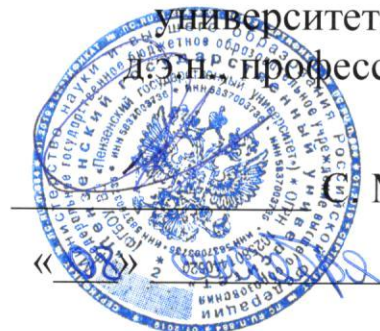


УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора ФГБОУ ВО
«Пензенский государственный
университет»
д.э.н., профессор



С. М. Васин

2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Городничева Михаила Геннадьевича на тему «Методология создания информационной системы управления транспортными потоками», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования

Развитие интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в настоящее время сдерживается разрывом между тремя взаимосвязанными составляющими единого технологического цикла. К ним относятся прогнозирование пространственно-временных характеристик транспортного потока в условиях нестационарности, безопасная реализация управляющих решений в замкнутом контуре с учётом микроскопической динамики движения и формализованная оценка эффективности распределённых ИТС при ограничениях по задержке, пропускной способности и доступности. В работе показано, что существующие архитектуры не обеспечивают одновременного выполнения требований доменной интероперабельности, ограничений по задержке, воспроизводимости и верифицируемости при исполнении моделей искусственного интеллекта. Поэтому разработка единой методологии создания информационной системы управления транспортными потоками, связывающей архитектуру ИТС с измеримыми показателями эффективности и приёмочными испытаниями, является актуальной научной проблемой, имеющей важное хозяйственное значение.

Вход. № 184/26
«14» 09 2026г.
подпись

В диссертации ИТС обоснованно рассматриваются как распределённые системы, объединяющие функциональные домены управления дорожным движением, общественным транспортом, информирования участников движения, кооперативных систем и метеомониторинга в единой многослойной архитектуре со сквозными функциями обеспечения безопасности, синхронизации времени и управления жизненным циклом данных и моделей. Центральным концептом работы выступает замкнутый интеллектуальный контур, объединяющий мониторинг, прогнозирование и управление с учётом неопределённостей и ограничений безопасности. Практическую значимость задаче придают ограниченная пригодность доступных наборов данных для российских сезонных и погодных условий, а также недостаточная формализация происхождения и качества данных.

Актуальность темы усиливается её прикладной привязкой к действующей нормативной правовой и нормативной технической базе Российской Федерации, а также потребностью транспортной отрасли в отказоустойчивой, масштабируемой и самонастраивающейся платформе обработки больших транспортных данных.

Степень достоверности научных положений и выводов

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечиваются корректным применением апробированного математического аппарата (теория графов, методы машинного обучения и глубоких нейронных сетей, методы многокритериальной оптимизации, алгоритмы распределённого консенсуса) и подтверждаются масштабной экспериментальной проверкой на признанных открытых и собственных наборах данных.

Для задачи макроскопического прогнозирования использованы наборы данных METR-LA, PEMS-BAY и LargeST. Сравнение предложенного метода PTSTG выполнено с классическими и временными моделями (HA, ARIMA, VAR, SVR, FC-LSTM), графовыми моделями (STGCN, DCRNN, GWNEN, AGCRN, GMAN, DGCRN) и гибридными моделями (STTN, ASTGNN, D²STGNN, PatchTST) по метрикам MAE, RMSE и MAPE. Для микроскопического уровня оценка выполнена на шести открытых наборах (highD, NGSIM, das1, das2, Waymo, Lyft) и собственном корпусе данных в сравнении с классическими моделями следования за лидером (IDM, Gipps, GHR, FVD, Newell и другими) и нейросетевыми моделями семейств MLP, LSTM, TCN и Informer по комплексу метрик точности и безопасности. Инфраструктурные результаты получены на лабораторных стендах методом прямых измерений времени восстановления после отказа, времени подготовки серверов и пропускной способности хранилища.

Достоверность результатов дополнительно подтверждается практической реализацией предложенных методов в виде работоспособных программных

комплексов, зарегистрированных в установленном порядке, а также результатами внедрения в профильных организациях. Выводы диссертации логически следуют из полученных результатов и не содержат внутренних противоречий.

Научная новизна результатов диссертационного исследования

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработан метод пространственно-временного прогнозирования макроскопических характеристик транспортного потока PTSTG, отличающийся от существующих синтезом патч-ориентированного временного кодирования с адаптивной стохастической по строкам матрицей смежности, обучаемой из данных без использования фиксированной дорожной топологии, и вычислительно простым графовым уточнением узловых представлений.

2. Разработан метод динамической коррекции коэффициентов классической модели следования за лидером, отличающийся от существующих, динамической адаптацией параметров во времени на основе текущего состояния движения при сохранении физической интерпретируемости параметров модели.

3. Разработан гибридный метод прогнозирования микроскопических характеристик транспортного потока, основанный на данных, отличающийся от существующих реализацией функционального разделения модулей, при котором блок, основанный на данных, обеспечивает точность воспроизведения динамики (краткосрочное и долгосрочное окно), а классический блок задаёт формализуемые ограничения и подавляет аномальные воздействия в замкнутом контуре.

4. Разработана комплексная методология построения архитектуры исполнения моделей искусственного интеллекта в интеллектуальных транспортных системах, отличающаяся от существующих формализацией архитектуры в виде ориентированного мультиграфа исполнения с параметризованными вершинами и рёбрами, введением вероятностных ограничений по задержке и устойчивости по интенсивности входа, и обеспечением воспроизводимого синтеза и выбора конфигурации исполнения на основе измеримых метрик.

5. Разработана архитектура системы сбора, хранения и обработки больших разнородных данных для интеллектуальных транспортных систем, отличающаяся от существующих структурированием по функциональным зонам, охватывающая весь процесс функционирования системы начиная со сбора данных до аналитики, хранения и визуализации.

6. Разработана методология построения инфраструктуры интеллектуальных транспортных систем, отличающаяся от существующих тем, что объединяет архитектуру обработки больших данных с механизмом децентрализованной кластеризации серверов на основе метрики сетевого расстояния (RTT), консенсуса Raft и автоматического выбора лидера сервисом

Agent, а также специализированным алгоритмом динамического распределения приоритетных задач при ограничении по времени выполнения и методом генерации статистически обоснованных синтетических данных транспортного потока.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 11 приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен системный анализ современного состояния интеллектуальных транспортных систем. Введены доменная типология ИТС, критерии сопоставления архитектур, декомпозиция подсистем и методология оценки эффективности внедрения ИТС с матрицей трассируемости. Определены нормативные и инженерные ориентиры показателей качества обслуживания и горизонты прогнозирования. Глава создаёт корректную методологическую основу для последующих разделов работы.

Во второй главе разработан метод прогнозирования макроскопических характеристик транспортного потока PTSTG, объединяющий патч-ориентированный трансформерный кодировщик, обучаемую матрицу смежности, графовый блок и однопроходный многогоризонтный механизм прогнозирования. На наборе METR-LA метод показывает лучший результат по метрике RMSE на горизонтах 15 минут (5,33 против 5,38 у DCRNN) и 30 минут (6,41 против 6,45). На крупномасштабном наборе LargeST достигнуты лучшие средние значения MAE 17,50, RMSE 28,18 и MAPE 11,07 % при 0,88 млн параметров модели. Задержка вывода составляет 56,44 мс при пропускной способности 564 последовательности в секунду на графическом процессоре потребительского класса.

В третьей главе разработаны метод сбора микроскопических данных транспортного потока с использованием смартфонов водителей, метод динамической коррекции коэффициентов классической модели следования за лидером и гибридный метод прогнозирования с внешним ограничителем безопасности. Сформирован собственный корпус данных, включающий три года наблюдений, 37 водителей, 21 автомобиль, более 1800 км поездок и 32 632 записи (23 175 после фильтрации) с учётом сезонов и погодных условий.

В четвёртой главе разработана методология конфигурирования архитектуры исполнения моделей искусственного интеллекта в ИТС, включающая девять шагов от формирования требований до эксплуатации. Методология построена на формализме мультиграфа исполнения с конвейерными моделями задержки и

пропускной способности, вероятностной постановкой требований к уровню обслуживания и многокритериальной оптимизацией. Предложены семь канонических архитектурных шаблонов исполнения, аппарат верификации инвариантов конфигурации и система метрик с мультипликативным индексом эффективности.

В пятой главе разработана методология построения инфраструктуры ИТС, включающая референсную архитектуру обработки больших транспортных данных, метод децентрализованной кластеризации серверов на основе консенсусного алгоритма Raft, метод динамического распределения приоритетных задач и метод генерации синтетических данных транспортного потока.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты работы и обозначены перспективные направления дальнейших исследований.

Содержание диссертации отличается логической стройностью и методической корректностью. Изложение соответствует заявленной цели и задачам исследования, выводы согласованы с представленными результатами.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость работы определяется созданием целостной методологии создания информационных систем управления транспортными потоками, охватывающей мониторинг, прогнозирование, управление и инфраструктуру ИТС. Введены и формализованы мультиграф исполнения моделей искусственного интеллекта с вероятностной постановкой требований к уровню обслуживания, обучаемая графовая структура пространственно-временного прогнозирования, не опирающаяся на физическую топологию сети, гибридная схема сопряжения нейросетевого предиктора с классическим ограничителем безопасности и формальная модель качества топологии вычислительного кластера.

Практическая значимость подтверждается разработкой программных комплексов, реализующих предложенные методы, и их внедрением. Получено 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы используются в учебном процессе МТУСИ на кафедре «Математическая кибернетика и информационные технологии» и МАДИ на кафедре «Инженерия и математика прикладных систем искусственного интеллекта», а также в производственной деятельности АО «Минимакс-94» (методы прогнозирования макроскопических и микроскопических характеристик потока, алгоритмы анализа транспортных данных), ООО «ТранснавиСофт» (метод динамической коррекции коэффициентов, гибридный метод прогнозирования, методы генерации синтетических данных) и ООО «Эр Си Технолоджис» (методология построения архитектуры исполнения моделей искусственного интеллекта, методы построения

распределённой инфраструктуры). Внедрения подтверждены актами, представленными в приложении к диссертации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационного исследования

Целесообразно использовать результаты диссертационной работы при разработке и внедрении программно-алгоритмических комплексов и информационных систем управления транспортными потоками в составе интеллектуальных транспортных систем городов и регионов, включая задачи краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока, адаптивного управления светофорными объектами и информирования участников дорожного движения. Предложенные методы пространственно-временного прогнозирования макроскопических и микроскопических характеристик транспортного потока и методология конфигурирования архитектуры исполнения моделей искусственного интеллекта могут быть применены при создании центров организации и управления дорожным движением, а также автоматизированных систем поддержки принятия решений диспетчерского персонала, ориентированных на снижение задержек, повышение пропускной способности улично-дорожной сети и безопасности дорожного движения. Разработанные архитектура сбора, хранения и обработки больших разнородных транспортных данных, метод децентрализованной кластеризации серверов и метод генерации синтетических данных представляют практический интерес для организаций, эксплуатирующих распределённые платформы транспортной телематики, при проектировании отказоустойчивых вычислительных контуров ИТС и подготовке приёмочных испытаний по показателям задержки, пропускной способности и доступности.

Также представляется целесообразным продолжить исследования в направлении расширения перечня рассматриваемых сценариев городского движения, повышения устойчивости алгоритмов к неполноте и неоднородности данных дорожных детекторов и вариативности условий сбора микроскопических данных, а также масштабирования предложенной инфраструктуры на геораспределённые вычислительные среды и её интеграции с региональными системами управления дорожным движением и цифровыми платформами транспортного комплекса. Полученные научно-технические решения могут быть использованы в образовательном процессе организаций высшего образования при подготовке кадров по направлениям, связанным с информатикой и информационными процессами, интеллектуальным анализом больших данных и интеллектуальными транспортными системами.

Публикации, отражающие основное содержание работы

По материалам диссертации опубликовано 63 научные работы (в том числе 16 без соавторов), из которых: публикации в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК – 10; в научных изданиях, индексируемых в международных базах Scopus/WoS – 38 (из которых: Q1 – 6, Q2 – 2, которые в соответствии с Рекомендацией ВАК от 21.12.2023, приравниваются к публикациям в рецензируемых изданиях категории K1); свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ – 15 (которые приравниваются к публикациям в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК).

Замечания по диссертационной работе

1. Экспериментальная проверка метода PTSTG во второй главе опирается как на собственные результаты, так и на опубликованные значения базовых моделей для наборов METR-LA, PEMS-BAY и LargeST. Поскольку часть моделей сравнения не запускалась повторно в единых условиях, сопоставимость полученных показателей требует дополнительного обоснования. Усилить воспроизводимость исследования могли бы унифицированные разбиения данных, многократные запуски, доверительные интервалы, а также анализ чувствительности к параметрам и вычислительной среде.

2. Выбор наборов METR-LA, PEMS-BAY и LargeST обеспечивает проверку метода на признанных транспортных бенчмарках, однако не охватывает всего многообразия условий городской ИТС. В частности, за рамками эксперимента остаются сценарии с нерегулярным размещением датчиков, неполными данными, смешанными транспортными потоками, сезонными изменениями и инфраструктурными ограничениями. В связи с этим границы переносимости полученных результатов на другие города и транспортные системы требуют более чёткого обозначения, а последующая апробация на дополнительных наборах данных могла бы расширить эмпирическую базу исследования.

3. Собственный микроскопический набор данных, включающий сведения о 37 участниках, 21 автомобиле и более 1800 км пробега, представляет значимый эмпирический материал для проверки предложенных моделей. Вместе с тем его объём и разнообразие условий ограничивают возможность распространения полученных выводов на широкий спектр различных моделей поведения водителей. Более точное обозначение границ применимости результатов, а также сопоставление с крупными международными интерактивными датасетами позволило бы полнее охарактеризовать переносимость разработанных микромоделей.

4. В третьей главе основное внимание уделено моделям следования за лидером и прогнозированию продольной динамики, что обеспечивает детальную

проработку одного из базовых сценариев микроскопического управления. Вместе с тем современное интерактивное прогнозирование включает также перестроения, слияние потоков, манёвры на перекрёстках и совместное поведение разнородных участников движения. Поэтому область применимости предложенного метода целесообразно соотнести прежде всего с продольными сценариями, обозначив расширение к многоагентным постановкам как направление дальнейшего развития.

5. Методология конфигурирования архитектуры исполнения моделей искусственного интеллекта в четвёртой главе не сопровождается численной экспериментальной верификацией. Итоговое сравнение вариантов исполнения дано качественной шкалой. Рекомендуются дополнить методологию результатами нагрузочных испытаний для двух или трёх контуров ИТС.

6. Экспериментальная база пятой главы сформирована преимущественно на лабораторном стенде с ограниченным числом узлов. Для более полной оценки предложенных решений полезно представить результаты испытаний в геораспределённой инфраструктуре, а также провести количественное сопоставление распределений синтетических и реальных данных.

7. В справочном аппарате работы имеются опечатки.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер, не затрагивают основных научных положений диссертации и не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение

Диссертация Городничева Михаила Геннадьевича на тему «Методология создания информационной системы управления транспортными потоками» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение научной проблемы создания информационных систем управления транспортными потоками, имеющей важное значение для развития транспортной отрасли Российской Федерации.

По актуальности, научной новизне, обоснованности и достоверности результатов, теоретической и практической значимости диссертация соответствует требованиям пп. 9–14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор, Городничев Михаил Геннадьевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Отзыв составлен доктором технических наук, профессором Зинкиным Сергеем Александровичем, профессором кафедры «Вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», докторская диссертация защищена по специальностям 05.13.15 – «Вычислительные машины и системы» и 05.13.13 – «Телекоммуникационные системы и компьютерные сети», доктором технических наук, доцентом Митрохиным Максимом Александровичем, профессором кафедры «Вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», докторская диссертация защищена по специальностям 05.13.01 – «Системный анализ, управление, обработка информации».

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и принят на расширенном заседании кафедры «Вычислительная техника» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» с приглашением ведущих ученых университета по рассматриваемой специальности. Присутствовало 26 человек, из них 9 докторов наук. Протокол № 1 от 31 августа 2026 г.

Профессор кафедры «Вычислительная техника»

ФГБОУ ВО «ПГУ»

д.т.н., профессор



Зинкин Сергей Александрович

01.09.2026

Профессор кафедры «Вычислительная техника»

ФГБОУ ВО «ПГУ»

д.т.н., доцент



Митрохин Максим Александрович

01.09.2026

И.о. заведующего кафедрой «Вычислительная техника»

ФГБОУ ВО «ПГУ»

к.т.н., доцент



Карамышева Надежда Сергеевна

01.09.2026

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет»

Адрес: 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, д. 40

Контактный телефон: +7 (8412) 66-63-32, e-mail: cnit@pnzgu.ru, сайт: <https://pnzgu.ru/>



Зинкина С. А.
Митрохина М. А.
Карамышевой Н. С.
заверяю

секретарь Ученого Совета

О.С. Дорофеева

01.09.2026