

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.09,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 20 декабря 2023 г. №3  
о присуждении Агафонову Антону Александровичу, гражданину Российской  
Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы обработки гетерогенной информации и адаптивного управления в интеллектуальной транспортной системе» по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика принята к защите 19 сентября 2023 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.2.379.09, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34) приказом Минобрнауки России №81/нк от 26.01.2023, с изменениями, внесенными приказом Минобрнауки России №1512/нк от 12.07.2023.

Соискатель Агафонов Антон Александрович, «11» мая 1988 года рождения. В 2014 году защитил диссертацию «Математические модели и адаптивные методы краткосрочного прогнозирования параметров дорожного движения» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ в диссертационном совете Д 212.215.05, созданном при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)». Соискатель с 2019 года по настоящее время работает в должности доцента кафедры геоинформатики и информационной безопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и по совместительству в должности старшего научного сотрудника в лаборатории математических методов обработки изображений Института систем обработки изображений Российской академии наук — филиала федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук».

Диссертация выполнена на кафедре геоинформатики и информационной безопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский



университет имени академика С.П. Королева» и в лаборатории математических методов обработки изображений Института систем обработки изображений Российской академии наук — филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук».

**Научный консультант** – доктор физико-математических наук, доцент Мясников Владислав Валерьевич, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», кафедра геоинформатики и информационной безопасности, профессор; Институт систем обработки изображений РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук», лаборатория математических методов обработки изображений, ведущий научный сотрудник.

**Официальные оппоненты:** **Гасников Александр Владимирович**, доктор физико-математических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», кафедра математических основ управления, заведующий кафедрой; **Холодов Ярослав Александрович**, доктор физико-математических наук, автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис», руководитель лаборатории анализа данных и биоинформатики; **Чикрин Дмитрий Евгеньевич**, доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», директор института вычислительной математики – **дали положительные отзывы** на диссертацию.

**Ведущая организация** – федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, **в своем положительном отзыве**, подписанном главным научным сотрудником отдела 92, доктором технических наук, доцентом Славиным О.А., утвержденном директором, академиком РАН, доктором технических наук, профессором Соколовым И.А., указала, что диссертация соответствует специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяет требованиям ВАК России, а её автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Соискатель имеет 75 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 75 работ, из них 57 работ опубликовано в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science. Суммарный объём опубликованного материала в соавторстве по диссертации составляет 29,9 печатных листа, в том числе 15,1 печатных листа принадлежит соискателю. Из материалов совместных публикаций лично соискателю принадлежат: разработка методов и алгоритмов решения задачи краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока в транспортной сети с использованием графовых сверточных



нейронных сетей и подходов к обработке больших данных на основе гетерогенной информации о состоянии транспортного потока и движении отдельных транспортных средств; разработка методов и алгоритмов решения задачи директивного управления транспортным потоком, включая метод адаптивного светофорного управления транспортным потоком на основе максимизации взвешенного потока транспортных средств, алгоритм адаптивного светофорного управления транспортным потоком с использованием подхода на основе машинного обучения с подкреплением, метод адаптивного управления транспортным потоком путем координированного управления сигналами светофоров и траекториями движения подключенных автономных транспортных средств; разработаны алгоритмы решения задач косвенного управления транспортным потоком, включая алгоритм определения надёжного пути в зависящей от времени стохастической (транспортной) сети, алгоритмы краткосрочного прогнозирования времени движения отдельных транспортных средств, алгоритм маршрутизации подключенных транспортных средств в транспортной сети. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Agafonov, A. Cooperative Control for Signalized Intersections in Intelligent Connected Vehicle Environments / A. Agafonov, A. Yumaganov, V. Myasnikov // *Mathematics*. -2023.- № 11 (6). - P. 1-19. (научная статья, 1,19 п.л. / 0,4 п.л.)

2. Агафонов А.А. Совместное управление сигналами светофоров и траекториями движения транспортных средств / А.А. Агафонов, А.С. Юмаганов // *Информатика и автоматизация*. - 2023. - № 22(1). – С. 5-32 (научная статья 1,75 п.л./0.875 п.л.)

3. Agafonov, A.A. Adaptive Traffic Signal Control Based on Neural Network Prediction of Weighted Traffic Flow / A.A. Agafonov, A.S. Yumaganov, V.V. Myasnikov // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. -2022.- № 58(5). - P. 503–513. (научная статья, 0,69 п.л. / 0,23 п.л.)

4. Agafonov, A.A. Hybrid Prediction-Based Approach for Traffic Signal Control Problem / A.A. Agafonov, V.V. Myasnikov // *Optical Memory and Neural Networks*. - 2022.- № 31(3). - P. 277–287. (научная статья, 0,69 п.л. / 0,35 п.л.)

5. Мясников В.В. Детерминированная прогнозная модель управления сигналами светофоров в интеллектуальных транспортных и геоинформационных системах / В.В. Мясников, А.А. Агафонов, А.С. Юмаганов // *Компьютерная оптика*. - 2021. - № 45(6). – С. 917-925 (научная статья 0,56 п.л./0.19 п.л.)

6. Agafonov, A.A. Short-Term Traffic Data Forecasting: A Deep Learning Approach / A.A. Agafonov // *Optical Memory and Neural Networks*. -2021.- № 30(1). - P. 1–10. (научная статья, 0,63 п.л.)

7. Агафонов А.А. Метод определения надежного кратчайшего пути в стохастической сети с использованием параметрически заданных устойчивых распределений вероятностей [текст] / А.А. Агафонов, В.В. Мясников // *Труды СПИИРАН*. - 2019. - № 18(3). – С. 558-582 (научная статья 1,56 п.л./0.78 п.л.)

8. Agafonov, A. Bus Arrival Time Prediction Using Recurrent Neural Network with LSTM Architecture / A. Agafonov, A. Yumaganov // *Optical Memory and Neural Networks*. -2019.- № 28(3). - P. 222-230. (научная статья, 0,56 п.л. / 0,28 п.л.)



9. Агафонов А.А. Анализ больших данных в геоинформационной задаче краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока на базе метода к ближайших соседей / А.А. Агафонов, А.С. Юмаганов, В.В. Мясников // Компьютерная оптика. - 2018. - № 42(6). – С. 1101–1111 (научная статья 0,69 п.л./0.23 п.л.)

10. Агафонов А.А. Исследование численного метода резервирования маршрутов в геоинформационной задаче маршрутизации автономных транспортных средств / А.А. Агафонов, В.В. Мясников // Компьютерная оптика. - 2018. - № 42(5). – С. 912–920 (научная статья 0,56 п.л./0.28 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от следующих организаций и специалистов:

1. Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», подписан доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Программная инженерия» Жизняковым Аркадием Львовичем. Замечания: 1) В автореферате не вводятся некоторые используемые в тексте определения. Например, неясно, что такое «вредоносные транспортные средства». 2) В автореферате сказано, что алгоритм прогнозирования на основе обработки больших данных был реализован с использованием модели распределенных вычислений MapReduce, хотя эффективнее было бы использование более современных решений, например, Apache Spark. 3) В автореферате не описан способ выбора коэффициентов, используемых при свертке разнородных показателей эффективности в постановке задачи управления транспортным потоком на регулируемом перекрестке.

2. ГНЦ РФ ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ФАУ «ГосНИИАС»), подписан доктором физико-математических наук, профессором РАН, директором по направлению – руководителем научного комплекса "Искусственный интеллект и техническое зрение" Визильтером Юрием Валентиновичем. Замечания: 1) Из автореферата не ясно, как определяется весовой коэффициент, учитывающий время ожидания транспортного средств. 2) В автореферате сказано, что пятый раздел диссертации посвящен разработке архитектуры и реализации программного комплекса. При этом сама разработанная архитектура в автореферате не представлена. 3) Отсутствует определение некоторых обозначений, используемых в тексте автореферата.

3. ФГБОУ ВО "Ульяновский государственный технический университет", подписан доктором технических наук, профессором, профессором кафедры Прикладная математика и информатика Крашенинниковым Виктором Ростиславовичем. Замечания: 1) В разделе "Научная новизна" не указано отличие разработанных алгоритмов и средств от аналогов. 2) В автореферате не описаны используемые параметры при моделировании движения транспортных средств: сколько моделировалось транспортных средств, какие использовались модели следования за лидером и т.д. 3) Ссылки на работы других авторов приведены в усеченном виде, что осложняет поиск цитируемых работ (например, работы Xia D,



2016; Hammond D., 2011; MacNicholas M., 2008). 4) Многие надписи на рисунках очень мелкие и плохо читаются.

4. ФГБОУ ВО "Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого", подписан доктором физико-математических наук, доцентом, профессором кафедры Информационных технологий и систем Михайловым Дмитрием Владимировичем. Замечания: 1) В автореферате следовало бы дать точное определение используемого авторами понятия "фаза светофорного объекта". 2) Для прогнозирования параметров транспортного потока диссертантом предложено выполнять разбиение графа улично-дорожной сети на пространственно-компактные подграфы. Способ разбиения при этом, однако, не конкретизирован. 3) Из автореферата не ясно, рассматриваются ли различные типы транспортных средств при решении задачи управления сигналами светофоров и принимаются ли во внимание пешеходы для выбора следующей фазы светофора. 4) В автореферате следовало бы более подробно описать, как сравнивались результаты базового и предложенного автором алгоритма нахождения надежного пути. 5) Стр. 5 автореферата "подходов к обработке больших данных", - очевидно, опечатка. 6) Там же: "траекториями движениям подключенных автономных транспортных средств", - несогласование в числе и падеже, очевидно, речь идет о траекториях движения подключенных автономных транспортных средств.

5. ФГБУН "Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук", подписан доктором технических наук, профессором, руководителем лаборатории интегрированных систем автоматизации Смирновым Александром Викторовичем. Замечания: 1) Не обоснован выбор сценариев моделирования, используемых для экспериментальных исследований алгоритмов управления сигналами светофоров, не представлены основные характеристики сценариев. 2) Описанная в автореферате задача обеспечения информационной безопасности коммуникаций рассматривает только одну частную постановку задачи защиты от внутренних угроз при движении транспортных средств в колонне.

6. ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет", подписан доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником НИИ робототехники и процессов управления Каркищенко Александром Николаевичем. Замечания: 1) Не всегда приводится обоснование разработанных алгоритмов, в частности, выбор алгоритма построения траектории движения транспортных средств. Вероятно, это объясняется ограничением на объем автореферата. 2) В тексте автореферата используются некоторые понятия, которые не являются общеизвестными и не определяются в тексте (например, понятие пространственно-компактного графа, понятие сегмента и др.). 3) На странице 11 автореферата записана матрица Лапласа для графа; следовало бы указать, что на самом деле приведена не сама матрица Лапласа, а ее нормализованная форма. К тому же в формуле имеется опечатка.

7. ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" (ННГУ), подписан доктором технических наук, профессором Института информационных технологий, математики и механики при ННГУ Турлаповым Вадимом



Евгеньевичем. Замечания: 1) Автор характеризует эффективность разработанных методов и алгоритмов в терминах снижения важнейших параметров транспортных потоков: ошибки прогнозирования транспортного потока (до 6%) и средних значений расхода топлива (до 4,2%), времени движения (до 5.3%), время ожидания (до 27%), но одна только оценка «до» не дает полного представления о достигнутых значениях этих параметров эффективности. 2) Автором предложен алгоритм нахождения надежного пути, использующий распределение Леви вместо вычислительно емкого расчета сверток, что уменьшило время вычислений в среднем в 40 раз при ухудшении качественных показателей в среднем на 9%; - не менее интересным вариантом, и без ухудшения качественных показателей, возможно был бы просто перенос расчета сверток на GPU.

Все отзывы **положительные**. В отзывах, содержащих замечания, отмечено, что указанные недостатки не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на общую **положительную** оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Агафонову А.А. учёной степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Выбор Гасникова А.В. в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается тем, что он является известным специалистом в области математического моделирования транспортных потоков.

Выбор Холодова Я.А. в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается тем, что он является специалистом в области прогнозирования и управления транспортными потоками.

Выбор Чикрина Д.Е. в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается тем, что он является специалистом в области проектирования сложных систем, в т.ч., беспилотных транспортных средств.

Выбор федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» в качестве ведущей организации обосновывается достижениями ее специалистов в комплексных исследованиях фундаментального, поискового и прикладного характера в области решения задач управления.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны:** комплекс методических и алгоритмических средств обработки гетерогенной информации и адаптивного управления в интеллектуальной транспортной системе, отличающихся от существующих повышенной эффективностью и производительностью;

**предложены:** новая математическая модель динамики транспортных потоков на основе модели графовой нейронной сети, использующей гетерогенную информацию о состоянии транспортного потока и движении отдельных транспортных средств; распределения Леви для описания времени прохождения сегментов в зависящей от времени стохастической транспортной сети в алгоритме нахождения надежного кратчайшего пути;

**доказаны** перспективность использования прогнозных данных о состоянии транспортного потока и движении отдельных транспортных средств для



повышения эффективности решения задачи управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств; подтверждено экспериментально в среде моделирования, что предложенный комплекс алгоритмических средств решения задач анализа, прогнозирования и управления может применяться для повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры в составе кооперативной интеллектуальной транспортной системы, снижая средний расход топлива, среднее время движения и среднее время ожидания.

**Теоретическая значимость исследования** обосновывается тем, что:

**доказана** возможность рекурсивного пересчета вероятности прибытия в конечную вершину при использовании распределения Леви в качестве математической модели описания времени прохождения сегментов в зависящей от времени стохастической транспортной сети (для алгоритма нахождения надежного кратчайшего пути);

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в т.ч. методов машинного обучения и искусственного интеллекта, теории вероятностей и статистического анализа, теории графов, методов оптимизации;

**изложены** подходы и принципы использования гетерогенной информации о состоянии транспортного потока для повышения эффективности решения задач прогнозирования, директивного и косвенного управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств;

**изучена** эффективность решения задач прогнозирования и директивного управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств от относительного числа подключенных транспортных средств в потоке;

**проведена модернизация** существующих численных методов и алгоритмов решения задач прогнозирования и управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработан и внедрен** программный модуль решения задач анализа и прогнозирования движения общественного транспорта с учетом гетерогенной информации о транспортной ситуации. Прогнозная информация, предоставляемая разработанным программным модулем, доступна для пассажиров посредством сайта транспортного оператора г. Самара или с использованием мобильного приложения "Прибывалка-63" (получены акты об использовании результатов диссертации);

**разработан и реализован** комплекс алгоритмических средств решения задачи краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока, директивного и косвенного управления транспортным потоком, задач информирования участников дорожного движения (результаты использованы при выполнении проектов РФФИ и РФФИ, получены акты об использовании результатов диссертации);

**определены** перспективы практического использования разработанных математических методов и алгоритмов для внедрения на практике с целью



автоматизации процессов управления дорожным движением в городских агломерациях;

**создан** программный комплекс кооперативной интеллектуальной транспортной системы, решающей задачи анализа, прогнозирования и управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств с использованием подходов к обработке больших данных (получены свидетельства о регистрации программы для ЭВМ);

**представлены** рекомендации по повышению эффективности использования транспортной инфраструктуры с использованием предложенных решений.

**Оценка достоверности результатов исследования.**

**для экспериментальных работ** показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях как на реальных данных, так и в системе моделирования движения транспортных средств;

**теория** согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея** базируется на анализе практики и обобщении передового опыта развития кооперативных интеллектуальных транспортных систем;

**использовано** сравнение данных исследований, проведенных в рамках диссертационной работы, и данных, полученных ранее по тематике прогнозирования и управления транспортным потоком;

**установлено** количественное соответствие авторских результатов с результатами, представленными из независимых источников по данной тематике,

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, современные методы машинного обучения и искусственного интеллекта, теории вероятностей и статистического анализа, теории графов, методы оптимизации.

**Личный вклад соискателя** является определяющим на всех этапах исследования, состоит в постановке задач, разработке комплекса методических и алгоритмических средств решения задач прогнозирования и управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств, разработке архитектуры и реализации программного комплекса кооперативной интеллектуальной транспортной системы, получении исходных данных, постановке экспериментов, апробации результатов исследования, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора или источник заимствования, результаты научных работ, выполненные соискателем учёной степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Результаты исследования нашли применение при выполнении грантов РФФИ (проект № 13-07-12103-офи-м, проект № 16-37-00055 мол-а, проект № 18-29-03135-мк, проект № 18-07-00605-а), проекта ФЦП (соглашение № 075-15-2019-062), гранта РНФ (проект № 21-11-00321).

Результаты исследования могут быть использованы при реализации интеллектуальных транспортных систем, в том числе, в ФАУ «РОСДОРНИИ», ООО «Спецдорпроект», ООО «Симетра групп», ООО «Швабе-Москва», АО «Самара-Информспутник» и др.



Диссертация Агафонова Антона Александровича является законченной научно-квалификационной работой, отвечает критериям, предъявляемым к докторским диссертациям (пп. 9–11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней с изм. на 26 октября 2023 года).

На заседании 20 декабря 2023 г. диссертационный совет за новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, принял решение присудить Агафонову А.А. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18 против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.2.379.09

академик РАН, д.т.н., профессор




  
В. А. Сойфер

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.379.09

д.т.н., доцент

  
С. В. Востокин

20.12.2023