

УТВЕРЖДАЮ

Директор
ФГБНУ «Федеральный
исследовательский центр
институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова
Российской академии наук»
академик РАН



Г. Г. Денисов

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр институт прикладной физики им.
А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» на диссертацию

Погребняка Максима Анатольевича

«Моделирование движения транспортных потоков», представленную к
защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.2 - Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Актуальность темы исследования. В диссертации Погребняка М.А. рассматривается математическое моделирование движения транспортных потоков и предлагаются методы, которые могут быть использованы для решения актуальных проблем транспортной инфраструктуры. Рост количества автомобилей, играющих ключевую роль в жизни общества, приводит к перегрузке дорожной сети, увеличению числа пробок и дорожно-транспортных происшествий. В такой ситуации эффективное управление транспортными потоками становится критически важным для обеспечения безопасности и устойчивого развития городской среды.

Математическое моделирование позволяет не только проводить анализ существующих транспортных систем, но и разрабатывать новые подходы к их оптимизации, снижая затраты, минимизируя риски и повышая общую эффективность. Возрастающий интерес научного сообщества к данной области подчеркивает ее значимость и актуальность. Таким образом, тема исследования

Погребняка М.А. обладает высокой практической ценностью и является весьма актуальной.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, четырех приложений и списка литературы. Объем диссертации 135 страниц.

Во введении приведен краткий библиографический обзор; поставлены цели и задачи работы; обоснована научная новизна и описаны методы исследований; приведены положения, выносимые на защиту; перечислены наиболее значимые результаты; обоснована теоретическая и практическая значимость работы; приведен список конференций и семинаров, на которых докладывались результаты диссертации.

В первой главе представлен обзор литературы по моделированию транспортных потоков, включая исторический анализ развития моделей, начиная с первых математических моделей и подходов и заканчивая современными. Рассмотрены ключевые классы моделей: макроскопические, мезоскопические, клеточные автоматы, вероятностные и микроскопические.

Во второй главе представлено построение новой микроскопической модели транспортного потока на основе концепции следования за лидером. Описаны основные элементы модели, такие как релейная функция, логистическая функция и функция скачка. Построенная модель имеет вид системы дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом.

Также в этой главе определены диапазоны значений параметров модели, основанные на физических законах, действующем законодательстве Российской Федерации и логических соображениях. Все параметры выражены в системе СИ, что обеспечивает точность расчетов и согласованность с физическими величинами.

Кроме того, проведен анализ устойчивости режима равномерного движения, позволяющий выявить условия, при которых поток сохраняет стабильность при малых возмущениях.

Третья глава диссертации посвящена расширению математической модели транспортного потока с учетом сложных и реалистичных условий движения. Рассматриваются три ключевых направления модификации, позволяющие повысить точность и адекватность моделирования.

Первое направление связано с учетом участков дороги с различными скоростными режимами. Дорожное полотно разделяется на интервалы, для каждого из которых устанавливается индивидуальная желаемая максимальная скорость транспортных средств. Это позволяет учитывать локальные ограничения скорости и их влияние на динамику потока.

Второе направление предполагает моделирование движения с прогнозированием поведения впередиидущих автомобилей. Водители оценивают не только движение ближайшего транспортного средства, но и поведение автомобилей, находящихся перед ним. Такой подход отражает способность водителей предугадывать изменения в дорожной обстановке и заранее адаптировать свою скорость и траекторию.

Третье направление рассматривает взаимодействие параллельных транспортных потоков, что особенно важно для многополосных дорог. В модели учитываются перестроения между полосами, их влияние на соседние автомобили и перераспределение плотности потока. Такой учет позволяет более точно описывать сложные дорожные ситуации, включая обгоны, перестроения в условиях плотного движения и влияние дорожных препятствий.

Четвёртая глава посвящена практическому применению разработанной математической модели для анализа и оптимизации транспортных потоков. Описан специализированный программный комплекс, предназначенный для моделирования различных дорожных ситуаций, включая его структуру, модули и алгоритмы.

Приведены примеры анализа и симуляции транспортных потоков в реальных условиях. Рассматриваются сценарии регулирования движения светофорами, влияние изменений скоростного режима и перестроение транспортных потоков. Описаны методы сбора, обработки и структурирования данных, необходимых для верификации модели, включая параметры движения автомобилей, информацию о пропускной способности светофоров и результаты наблюдений за транспортным потоком. Все данные хранятся в базе данных, что обеспечивает их систематизацию и возможность повторного использования в расчетах.

Детально исследуются различные режимы работы программного комплекса. Рассматриваются ситуации старта и остановки транспортных средств, позволяющие оценить пропускную способность дорожного участка при различных скоростных ограничениях. Анализируется работа светофоров, как в одиночном, так и в каскадном режиме, что позволяет оценить эффективность различных схем организации дорожного движения.

Моделируются сценарии движения на участках с переменными скоростными режимами, включая постепенное снижение скорости и резкое торможение, с оценкой их влияния на пропускную способность. Исследуется влияние небольших дорожных препятствий, таких как лежащие полицейские и трамвайные пути, на транспортный поток.

Описаны механизмы прогнозирования поведения впередиидущих автомобилей и их влияние на общую динамику движения. Сравниваются модели

с прогнозированием и без него для различных дорожных условий, включая движение через светофоры и свободное движение по прямой.

Рассматривается моделирование движения на многополосных дорогах, как без взаимодействия между потоками, так и с учетом перестроений. Анализируются эффекты изменения полос, включая влияние узких мест на пропускную способность дорожного участка. Исследуется эффект бутылочного горлышка при сужении дороги, что позволяет оценить перераспределение потоков и разработать рекомендации по оптимизации организации движения.

Приложения включают свидетельства о регистрации базы данных и программного комплекса, эмпирические данные о количестве автомобилей, проезжающих по одной из улиц Ярославля, а также фрагменты исходного кода.

Основные результаты исследования:

1. Разработана новая математическая модель транспортного потока в виде системы дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом, позволяющая описывать различные дорожные ситуации.
2. Разработаны численные и численно-аналитические методы для оценки диапазонов значений параметров модели, обеспечивающие ее корректность и применимость в реальных условиях.
3. Предложены модификации модели для учета сложных условий движения, таких как переменные ограничения скорости, прогнозирование динамики впередиидущих автомобилей и взаимодействие транспортных потоков.
4. Создан специализированный программный комплекс для моделирования транспортных потоков, а также база данных, включающая пропускную способность светофоров.
5. Проведено численное моделирование различных сценариев движения, включая влияние светофоров, ограничений скорости, дорожных препятствий и узких мест, что позволило оценить пропускную способность участков дорожной сети и эффективность различных стратегий управления движением.

Научная новизна. Все результаты, полученные автором, являются новыми. Основным новым результатом является новая математическая модель транспортного потока, представленная в виде системы дифференциальных уравнений с запаздыванием. Для модели определены параметры и предложен ряд модификаций. Также на базе модели создан программный комплекс для моделирования различных дорожных ситуаций.

Достоверность результатов. Достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования обеспечивается использованием корректных численных методов и вычислительных алгоритмов, а также тщательным анализом и проверкой экспериментальных данных.

Теоретическая и практическая ценность. Диссертация имеет как теоретическое, так и практическое значение. Новая математическая модель и её расширения обладают теоретической ценностью, так как создают основу для разработки новых подходов к моделированию движения автотранспорта. С практической точки зрения разработанная модель может служить основой для интеллектуальных транспортных систем, используемых для прогнозирования и управления потоками в реальном времени, а также для планирования и модернизации транспортной инфраструктуры.

Замечания. Диссертация Погребняка М.А. не содержит принципиальных ошибок и серьезных недостатков, но имеются некоторые замечания, которые не влияют на общую положительную оценку работы.

1. Структура диссертации может быть немного доработана. Например, обзор литературы можно дополнить более детализированным анализом, чтобы четче показать связь данной работы с существующими исследованиями.
2. Математическая модель, основанная на системе дифференциальных уравнений с запаздыванием, может оказаться достаточно сложной для практического применения, особенно в случае перестроения. Однако, учитывая сложность описываемого процесса, такой подход может быть оправдан. Возможно, стоит кратко обсудить границы применимости модели.
3. Не рассматривается производительность программного комплекса при моделировании крупных транспортных сетей. Возможно, добавление комментариев о потенциальных путях оптимизации вычислений помогло бы лучше оценить его возможности.

Выводы. Диссертационная работа Погребняка М. А. посвящена построению новой математической модели движения транспортного потока, её анализу и модификации. Основными результатами являются разработка математической модели, учитывающей фазы разгона и торможения, определение диапазонов параметров модели, а также предложенные модификации для сложных дорожных условий. На основе модели создан программный комплекс, позволяющий моделировать различные сценарии транспортного движения. Все результаты верифицированы на основе эмпирических данных и подтверждены численными экспериментами, демонстрирующими их высокую точность и практическую применимость.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 40 научных работах, из которых 4 включены в перечень рецензируемых научных изданий ВАК или приравненных к ним.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация Погребняка М. А. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (пп. 9 постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»), а ее автор, Погребняк Максим Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.2.2 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв рассмотрен и утвержден на семинаре отдела 310 ИПФ РАН.

Присутствовало на семинаре 12 человек.

Отзыв подготовил:

заведующий Отделом нелинейной динамики
ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова-Грехова
Российской академии наук»
проф., д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН



В. И. Некоркин

11 апреля 2025 года

Тел. +7(831) 4367291

E-mail: vnekorkin@ipfran.ru

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ФГБНУ ФИЦ ИПФ РАН)

Почтовый адрес: 603950, Нижегородская обл, Нижний Новгород г, ул. Ульянова, д. 46

Телефон(факс): 8 (8314) 36-62-02

Адрес электронной почты: dir@ipfran.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://ipfran.ru>