

ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора физико-математических наук, доцента
Таташева Александра Геннадьевича
на диссертацию Старожильца Всеволода Михайловича
«Мезоскопическое моделирование транспортных потоков
и управление въездами на основе данных из разносторонних
источников», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.3.8 – «Информатика и информационные процессы»**

Цель диссертационной работы и актуальность темы. В диссертационной работе разрабатывается мезоскопическая модель транспортных потоков, в которой используется понятие групп автотранспортных средств (группы АТС). Скорость групп АТС рассчитывается с помощью фундаментальных диаграмм «поток-плотность» для соответствующих сегментов дорожной сети. Движение транспортных средств в транспортной сети сводится в модели к движению групп по однополосной дороге, при этом группы АТС не могут обгонять друг друга. Характеристики дороги и автотранспортного потока на ней влияют на размер групп АТС и фундаментальную диаграмму на сегменте магистрали. В работе показано, что такое упрощение позволяет добиться высокой скорости моделирования, и при этом точность моделирования сопоставима с классическими микроскопическими моделями.

Основная сформулированная в диссертации цель – разработка новой эффективной по своим вычислительным возможностям модели, необходимой для проведения сценарного моделирования и последующего светофорного управления въездами на выделенную автомагистраль. Важность управления дорожными сетями обусловлена, в первую очередь, невозможностью их перестраивать в условиях городских агломераций. Интеллектуальное управление светофорами на основе моделирования является перспективным направлением в решении проблемы автомобильных заторов, необходимость борьбы с которыми возрастает с постоянным увеличением количества автомобилей в мире.

В диссертационной работе разрабатываются также алгоритм для комплексирования данных, необходимых для настройки модели, алгоритм для построения фундаментальных диаграмм «поток-плотность», которые используются в модели, и подходы к верификации модели.

Приводятся результаты экспериментальной проверки, подтверждающей состоятельность предложенной модели, на примере моделирования автотранспортных потоков на МКАД в вариантах собственно на магистрали и на участках с въездами и съездами. Эксперименты проводились при высокой, средней и низкой загрузке автомагистрали, с высокой или относительно низкой утренней или вечерней пиковой загрузкой, с управлением и без него, а также с перекрытием полосы. Результаты экспериментальной проверки иллюстрируются наглядными диаграммами. На основе анализа проведенных экспериментов формулируются, в том числе выводы о том, насколько эффективно управление въездами при различных уровнях загрузки магистрали.

Основные результаты работы и их новизна состоят в следующем:

– Приведен алгоритм получения фундаментальных диаграмм «поток-плотность» на основе данных с GPS-треков и дорожных датчиков. В рамках этого алгоритма практически не требуется вмешательства исследователя. Фундаментальная диаграмма – инструмент, который широко используется в моделях транспортных потоков. Разработанный алгоритм предполагает аппроксимацию зависимости интенсивности автотранспортного потока от его плотности различными функциями для каждой из фаз трехфазной теории автотранспортного потока. В рамках алгоритма построения фундаментальной диаграммы предложен подход, позволяющий по значениям плотности и интенсивности отнести состояние автотранспортного потока к одной из трех фаз (свободный, синхронизированный или заторный поток). Предложен алгоритм определения скорости волны торможения на исследуемом участке магистрали, необходимый для построения фундаментальных диаграмм.

– Рассмотрена задача восстановления данных числа проезжающих АТС по данным с GPS-треков. Эта задача рассматривается для данных, полученных на магистрали, и для данных на въездах и съездах. Необходимость раздельного рассмотрения этой задачи обусловлена тем, что объем данных для въездов и съездов из-за небольшого числа проезжающих АТС значительно меньше, чем для магистрали.

– Полностью описана предлагаемая мезоскопическая модель транспортных потоков. Приведены алгоритмы и структуры данных, необходимые для расчетов с использованием данной модели. Модель имеет дискретную шкалу времени. Разработана алгоритмическая процедура перехода к состоянию системы в следующий момент времени.

– Проверена гипотеза о возможности повышения пропускной способности автоматизации с помощью управления въездами на нее на примере МКАД. Ограничение въезда на автоматизированные при ее высокой загруженности может осуществляться, например, с помощью светофора. Показано, что преимущество управления въездами явно проявляется при достаточно большой загрузке сети.

– Проведены вычислительные эксперименты, показывающие адекватность работы модели. Исследование состоятельности модели проведено на модельных и реальных данных.

– Проведено сравнение с классической микроскопической моделью разумного водителя по точности и скорости вычислений. Достаточно хорошее соответствие подтверждает состоятельность разработанной модели, которая при этом характеризуется высокой вычислительной скоростью и может применяться для моделирования сетей большого размера.

– Как показано при анализе точности модели, моделирование собственно на автоматизированной системе более высокую точность, чем на въездах и съездах, где транспортные средства появляются значительно реже.

– Работоспособность предложенной модели подтверждена с помощью моделирования различных конфигураций дорожной сети.

– Для проведения экспериментальных исследований с использованием разработки подходов автором создан программно-алгоритмический комплекс.

Предлагаемая Старожильцем В.М. новая мезоскопическая модель существенно упрощает процесс моделирования путем сведения в модели многополосного движения к однополосному. Такой подход позволяет сократить вычислительное время, необходимое для моделирования движения на автомагистрали, проводить быстрое моделирование сценариев. Группы АТС перемещаются в модели по ребрам графа, соответствующего фрагменту моделируемой транспортной сети.

В отличие от микроскопических и макроскопических моделей, мезоскопические модели мало распространены и неоднородны. Предлагаемая Старожильцем В.М. мезоскопическая модель существенно отличается от известных, что характеризует ее новизну.

Достоверность и обоснование полученных результатов. Достоверность полученных результатов подтверждена математической корректностью разработанных методов, а также экспериментальной

проверкой и небольшим отклонением результатов моделирования с помощью предлагаемой модели и модели разумного водителя. Достоверность полученных результатов также подтверждается их использованием в практических задачах транспортного моделирования в ГК-компании.

Теоретическая значимость. Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии методологии математического моделирования транспортных потоков. Автором предложен оригинальный подход, основанный на агрегировании автомобилей в группы и использовании фундаментальных диаграмм «поток-плотность» для расчета их скорости, что позволяет эффективно моделировать крупные транспортные сети с высокой вычислительной скоростью без существенной потери точности, которая остается приемлемой для практических применений.

Приведенные в работе алгоритмы комплексирования данных из разнородных источников и построения на их основе фундаментальных диаграмм «поток–плотность» также важны ввиду широкой распространенности фундаментальных диаграмм в макроскопическом моделировании транспортных потоков. В разработанной модели построенные фундаментальные диаграммы используются для вычисления скорости автотранспортного потока на участке дорожной сети, соответствующей конкретному ребру графа.

Разработаны алгоритмы для использования на стадиях комплексирования данных, реализации модели, ее экспериментальной проверки.

Практическая значимость. Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается их применением к реальным задачам оптимизации движения, на автомагистраль, о чем имеется справка о внедрении.

Практическая направленность работы выражается в том, что разработаны все необходимые для практической реализации шаги алгоритмов комплексирования данных, настройки мезоскопической модели, ее верификации и анализа результатов.

Алгоритмы автоматизированного построения фундаментальных диаграмм «поток-плотность» применимы ко многим реальным задачам транспортного моделирования с использованием комплексирования данных с GPS треков и дорожных датчиков.

Предложенная мезоскопическая модель имеет высокую практическую ценность поскольку позволяет проводить быстрые вычислительные

эксперименты на автомагистралях большей протяженности и фрагментах дорожной сети.

На основе сравнения сценариев движения подтверждена гипотеза о возможности увеличения пропускной способности за счет управления въездами на примере МКАД.

Результаты вычислительных экспериментов по светофорному управлению въездами показывают конкретную область применения предложенной модели.

Замечания к диссертации

1. В главе 3 и в разделах 6.4 и 6.5 было бы желательным сравнить фундаментальные диаграммы «поток-плотность» для различных сегментов МКАД для лучшего понимания сходства/различия между сегментами автомагистрали в модели.

2. В главе 7 было бы желательным больше внимания уделить описанию конкретной реализации модели разумного водителя, с которой приводится сравнение.

3. В разделе 2.1 приводятся неравенства $\rho_1 \leq \rho_2$ для фазы синхронизированного потока и $\rho_1 \leq \rho_*$ для фазы заторного потока. По-видимому, для фазы заторного потока нужно $\rho_2 \leq \rho_*$. Иначе фазы синхронизированного и заторного потока пересекаются. Кроме того, при описании алгоритма даются определения и правила вычисления значений ρ_1 , ρ_0 и ρ_* , но не поясняется, как вычисляется значение ρ_2 .

4. В абзаце перед разделом 5.1 описка в формуле для среднеквадратичной ошибки.

5. Имеются описки в тексте. Например, в первом абзаце п. 1.1.1 – описка в слове «аналогом» и в предпоследнем абзаце главы 1 в слове «микро-».

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационного исследования.

Общее заключение

Диссертационная работа Старожильца Всеволода Михайловича представляет собой завершенное научное исследование, направленное на решение актуальной задачи – разработку мезоскопической модели транспортных потоков, пригодной для моделирования крупных транспортных сетей с использованием данных из разнородных источников. Структура и содержание диссертации соответствует целям исследования. Основные

результаты изложены в 14 печатных работах, 3 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 3 – в периодических научных изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, 8 – в тезисах докладов.

Диссертационная работа Старожильца Всеволода Михайловича «Мезоскопическое моделирование транспортных потоков и управление въездами на основе данных из разнородных источников» соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 25 января 2024 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Старожилец Всеволод Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент
профессор кафедры «Инженерия и математика прикладных систем
искусственного интеллекта» федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Московский
автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

«21» 08 2026 г.



Таташев Александр Геннадьевич

Справочные данные:

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)».

Адрес: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64,
тел. 8(499)155-03-26, e-mail: a-tatashev@yandex.ru

Ученая степень доктора физико-математических наук присуждена по результатам защиты диссертации по научной специальности 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям).

Должность, ученую степень, ученое звание и подпись
Таташева Александра Геннадьевича заверяю:

Проректор по научной работе

«21» 08 2026 г.



Мазлумян Григорий Сергеевич