

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Струсинского Павла Михайловича по теме: «Исследование кластерной модели потоков и ее применение для оптимизации транспортной системы города», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

### **Актуальность темы диссертации**

Развитие автомобильной промышленности способствует росту мобильности и уровня автомобилизации населения, что обуславливает переход транспортных потоков к качественно новому состоянию – насыщенным потокам (особенно актуально в крупных городах). В таких потоках любые точечные возмущения отражаются на всей сети.

В то же время информационные и вычислительные технологии интенсивно развиваются, что позволяет не только синхронизировать поведение отдельных групп автомобилей, но и вводить транспортные средства с автоматическим управлением (беспилотные автомобили).

Все вышперечисленное требует разработки новых моделей транспортных потоков на сложных сетях, в которых точность описания и количество параметров были бы сбалансированы.

Аналогичные проблемы присутствуют и в других естественнонаучных областях: фармакологии, системной биологии, материаловедении, создании новых вычислительных технологий.

В диссертационной работе представлен новый подход к моделированию транспортных потоков: кластерная модель, которая является компромиссом между агентными и волновыми  $q$ - $v$ - $r$  моделями, обладая меньшим числом моделируемых характеристик и учитывая локальные возмущения внутри потока.

## **Общая характеристика диссертационной работы**

**Введение** посвящено актуальности выбранного подхода к моделированию транспортных потоков, обозначены цели и задачи, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, положения, выносимые на защиту, краткая характеристика представленной работы.

**В первой главе** представлена информация об уровнях развития автомобильной и дорожно-строительной отраслей в Российской Федерации, осуществлен анализ и сравнение с зарубежными странами. Приведена история методов исследования и моделирования транспортных потоков.

**Во второй главе** введены базовые понятия выбранного подхода, приведена система дифференциальных уравнений с переменной архитектурой (количество уравнений в системе изменяется), описывающая процесс взаимодействия кластеров, разработан алгоритм решения системы. Исследовано взаимодействие цепочки кластеров. На бесконечном носителе получены следующие результаты:

- 1) цепочка кластеров трансформируется в кластер с номером  $n$ ;
- 2) оценено время преобразования кластеров;
- 3) установлена скорость потока после преобразования.

На периодическом носителе получено следующее:

- 1) цепочка кластеров трансформируется в два кластера;
- 2) установлено время достижения стационарного процесса;
- 3) оценено расстояние, на которое переместится поток.

В рамках работы разработано программное обеспечение NODE model. С помощью модуля Interaction проведена верификация полученных результатов.

**В третьей главе** проведено исследование модели на многополосном носителе. Установлено:

1) зависимость скорости просачивающегося кластера от расположения и расстояния между «медленными» кластерами при последовательном и синхронном перестроениях;

2) разработан модуль Multi-lane программного пакета NODE model;

3) с помощью указанного выше модуля получена зависимость скорости просачивающейся цепочки кластеров от их количества при разной длине кластера 2-го типа.

**Четвертая глава** посвящена кластерным потокам на сетях. Получены следующие результаты:

1) условия движения кластеров с максимальной скоростью и полной остановки независимо от начального расположения на одномерной регулярной сети;

2) разработан программный модуль Cluster Net ПО NODE model;

3) с помощью указанного программного модуля установлены условия движения кластеров с максимальной скоростью и полной остановки независимо от расположения на двумерной регулярной сети, выявлены стационарные процессы, отсутствующие на одномерной сети;

4) получены условия движения с максимальной скоростью на нерегулярной одномерной и двумерной сетях при помощи разработанного в рамках главы модуля Cluster Net.

**В пятой главе** проведено исследование модели с использованием реальных данных. Представлена редукция участка городской сети к сети в модели, способы захвата и обработки данных о реальном транспортном потоке. Установлено влияние конструкции сети на скорость потока в однополосном и многополосном случаях, при наличии локального и глобального типов движения.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

### **Степень обоснованности научных положений и выводов**

В основу работы положена кластерная модель транспортных потоков. Разработан алгоритм решения системы дифференциальных уравнений с переменной архитектурой. Сформулированы и исследованы задачи взаимодействия кластерных потоков на многополосных носителях и сетях. Описаны возникающие стационарные процессы и условия их возникновения. Разработано программное обеспечение Cluster model для исследования задач, в которых тяжело осуществить теоретический анализ.

Все сформулированные в диссертации выводы основаны на результатах качественных, аналитических и экспериментальных исследований математических постановок задач моделирования транспортных потоков. Эксперименты и апробирование результатов исследования проводилось на основе данных, полученных с использованием современных систем мониторинга параметров транспортных потоков и лабораторий отдела математического моделирования кафедры «Высшая математика» МАДИ.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

В диссертационной работе исследуется кластерная модель потоков на сетях. Получены начальные условия, приводящие к одному из стационарных состояний, дана характеристика возникающих состояний, установлены время появления стационарного процесса, скорость потока.

Практическая значимость работы состоит в разработанном программном пакете NODE model кластерной модели для исследования задач, не поддающихся теоретическому анализу и для оптимального проектирования городских улично-дорожных сетей, в результате реакции на изменения в конструкции сети и движении транспорта.

### **Достоверность и новизна научных положений**

Научная новизна диссертационной работы заключается в применении нового подхода к моделированию транспортных потоков на сетях –

кластерной модели в транспортных сетевых задачах с целью описания и исследования движения на сетях и разработке сетевых имитационных моделей для численного анализа характеристик потока на сетях высокой сложности. Получены начальные условия, при которых происходит выход потока на стационарное движение, оценки времени достижения стационарного состояния и скорости потока. Разработано программное обеспечение с целью верификации и исследования транспортных задач на сложных многокомпонентных сетях.

Основные положения и результаты диссертации в должной мере отражены в научных публикациях, докладывались и обсуждались на научных семинарах в ведущих вузах России, семинарах Российской академии наук и международных конференциях.

Достоверность результатов подтверждена результатами апробации созданной модели, проведенной с использованием данных современных систем мониторинга транспортных потоков.

#### **Замечания по диссертации.**

Следует отметить, что работа не свободна от недостатков.

1. Введение во многом повторяет текст, который потом будет являться содержанием глав диссертации. Некоторые абзацы, например, в части обзора существующих методов, во введении и разделе 1.3 дословно совпадают. Обзор следовало бы делать либо во введении, а главу 1 посвятить конкретным результатам, полученным диссертантом, либо перенести обзор в главу 1, а введение посвятить необходимым с формальной точки зрения описаниям – новизне и т.д., а также обзору содержания диссертации, не повторяя дословно текст последующих глав. Рисунки во введении также практически идентичны рисункам в последующих главах. Например, рис.1 и рис. 24, рис.10 и рис. 94, рис.15 и рис. 113 и некоторые другие.

2. Некоторые утверждения недостаточно аргументированы. Например, утверждение на стр. 39 «Разработанные модели не позволяют

адекватно оценить характеристики транспорта и сети ввиду большого количества изменяющихся параметров и отсутствия адекватного представления на сети» никак не аргументируется.

В следующем абзаце на этой же странице утверждение, что макромодели не могут учитывать взаимодействие потоков разных плотностей, неверно. В работе:

Четверушкин Б.Н., Трапезникова М.А., Фурманов И.Р., Чурбанова Н.Г. Микро- и макроскопические модели для описания движения автотранспорта на многополосных магистралях // Труды МФТИ - 2010. Т. 2, № 4(8) – с. 163-168.

приведена макроскопическая «многофазная» модель, позволяющая моделировать динамику смешанных потоков, состоящих из «подпотоков» с различной плотностью.

3. Когда в диссертации упоминаются макроскопические модели, диссертант упоминает о потоке (интенсивности), плотности и скорости как о «параметрах» модели. Правильнее было бы называть их не параметрами, а искомыми величинами, именно они являются предметом исследования в макромоделях.

4. На стр.38 и в аналогичном тексте в главе 1 отсутствуют ссылки на упоминаемые работы. Слова «данные исследования освещены в работах ученых...» следовало подкрепить соответствующими библиографическими ссылками.

5. На некоторые рисунки и уравнения нет ссылок в тексте и они не получают даже малейших комментариев:

а) Стр. 35: что обозначает уравнение (1.1)? Нет объяснения ни переменным, ни численным коэффициентам, входящим в уравнение.

б) Стр. 36: никак не объясняются рисунки. Например, почему рисунки 20 и 21, изображающие зависимость потока от плотности, имеют разный вид? В тексте нет ни ссылок на них, ни каких-нибудь комментариев.

6. Пункт диссертации 5.3 "Сравнительный анализ представленной работы с диссертацией А.М. Ярошенко" является лишним.

Сделанные замечания касаются в основном небрежности изложения и оформления, что, однако, не оказывает влияния на общую положительную оценку.

#### **Заключение о соответствии.**

Диссертация Струсинского П. М. по теме: «Исследование кластерной модели потоков и ее применение для оптимизации транспортной системы города» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые методы математического моделирования в решении актуальных задач, связанных с исследованием транспортных потоков, имеющие существенное значение для исследований в рамках специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Содержание диссертации соответствует указанной специальности в области исследования транспортных потоков с помощью новых методов математического моделирования. Объектом исследования являются сложные технические распределенные системы, социально-технические системы, биологические системы, функционирование которых осуществляется посредством переноса массы, информации, вещества и т.д. Диссертация соответствует паспорту специальности по следующим областям исследования: п.1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений», п. 2 «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей», п. 3 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий» и п. 8 «Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования».

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Работа соответствует требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям, а Струсинский Павел Михайлович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Старший научный сотрудник отд. №16  
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН  
кандидат физико-математических наук

  
/Чурбанова Наталья Геннадьевна /

Организация – место работы: Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук".

Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., д. 4, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Сайт: <http://www.keldysh.ru/>

E-mail: [nataimamod@mail.ru](mailto:nataimamod@mail.ru)

Тел.: 8-499-250-7889

Подпись Н.Г. Чурбановой заверяю:

Ученый секретарь ИПМ  
им. М.В. Келдыша РАН  
кандидат физико-математических наук

  
 /Маслов А.И./

27 декабря 2016г.