

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Вишневого Владимира Мироновича 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

В России продолжается значительный рост уровня автомобилизации населения. Вместе с тем развитие дорожной сети, как правило, отстает от потребностей автомобильного транспорта. Транспортная обстановка на дорогах не становится проще, что поддерживает необходимость дальнейших научных исследований в области автомобильно-дорожного движения.

В различных научных коллективах проводятся исследования по описанию поведения автомобиля локально (микромодели), в группе (средне-масштабные модели, скорость-плотность-интенсивность), в рамках макромодели (стационарное состояние). В частности, Лайтхил-Уизем-Ричардс (LWR) в середине 50-х годов применил к описанию автомобильных потоков гидродинамические аналогии, что в значительной мере актуализировало тематику дальнейших исследований систем уравнений в частных производных для анализа потоковых моделей и компьютерные методы моделирования.

Однако насыщенное движение на сети характеризуется в значительной степени локальным поведением автомобилей и классические параметры скорость-плотность-интенсивность не в полной мере описывают поведение потока. Наблюдаются критические режимы, движущиеся заторы, которые не могут быть идентифицированы LWR моделью и ее модификациями.

Агентные модели, описывающие поведение каждого участника движения с учетом его характеристик, на практике могут приводить к накоплению погрешности в результатах для сетей большого размера. В связи с этим разработка новых подходов к моделированию сетевых потоков является актуальной задачей.

В диссертационной работе представлен новый подход к моделированию потоков на сетях: кластерная модель, которая содержит основные положения теории транспортных потоков и обладает большим количеством параметров, по сравнению с гидродинамическими моделями, но в меньшей степени, чем в агентных моделях.

## **Общая характеристика диссертационной работы**

**Во введении** проведено обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цели и задачи, выделены теоретическая и практическая значимость работы, дана краткая характеристика исследования.

**В первой главе** осуществлен анализ уровней развития автомобильной промышленности и дорожного строительства в России, дано сравнение указанных показателей с мировым уровнем. Приведена история развития методов математического моделирования при исследовании транспортных потоков.

**Во второй главе** введены основные понятия кластерной модели, классификация кластеров и носителей потока, правила взаимодействия и система дифференциальных уравнений, описывающая взаимодействие. Даны формулировки задач взаимодействия цепочки кластеров на бесконечном и периодическом носителях. Разработан алгоритм решения системы дифференциальных уравнений, описывающей взаимодействие кластеров, с изменяющейся архитектурой. Получена оценка времени достижения стационарного процесса, определена скорость потока. Разработано программное обеспечение NODE model, с помощью которого проведена верификация полученных результатов.

**Третья глава** посвящена кластерным потокам на многополосном носителе. Сформулированы правила поведения кластеров на многополосных носителях. Получена зависимость скорости кластеров 3-го типа (просачивающихся) от расстояния между кластерами 1-го и 2-го типов (движутся в потоке без перестроения) и их расположения. С помощью разработанного модуля Multi-lane ПО NODE model получена зависимость скорости просачивания цепочки кластеров в потоке с максимальной скоростью от их длины и разбиения при синхронном перестроении.

**В четвертой главе** проведено исследование кластерной модели на сетях. Сформулированы правила поведения кластеров на сети. Получены условия движения кластеров с максимальной скоростью, условия полной остановки на одномерной сети с равноудаленным расположением узлов. С помощью разработанного программного модуля Cluster Net ПО NODE model получены условия выхода кластеров на максимальную скорость и самонастройку на двумерной сети, условия остановки всех кластеров, а также исследованы стационарные процессы, не наблюдавшиеся на одномерной сети (динамический затор, частичный коллапс, частичное движение).

**В пятой главе** представлены способы получения данных о транспортном потоке, применение кластерной модели для оптимизации транспортных потоков на сетях. Разработана методика оптимизации транспортных потоков на сети в результате изменения

конструкции сети, оценено влияние многополосных носителей и их изменений на глобальный и локальные потоки.

**В заключении** приводится краткая формулировка основных результатов диссертации.

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

В работе представлен один из новых подходов к моделированию транспортных потоков, являющийся компромиссом между волновыми (скорость-плотность-интенсивность) и агентными моделями. Проведено исследование транспортных потоков на многополосных носителях и сетях различной сложности, анализ модели и ее характеристик. В рамках работы разработан программный комплекс, с помощью которого исследованы задачи, не поддающиеся теоретическому анализу.

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

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

В диссертационной работе сформулированы и решены математические задачи анализа транспортных потоков, проведены экспериментальные исследования, позволяющие повысить качество и ускорить процесс оптимального проектирования городских транспортных сетей.

Практическая значимость работы заключается в разработанном компьютерном варианте кластерной модели для исследования многополосных и сетевых задач, не поддающихся теоретическому анализу и в созданных методиках прогнозирования поведения потока при изменении в конструкции сети и движении транспорта.

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

Научная новизна диссертационной работы заключается в применении кластерной модели потоков, являющейся компромиссом между агентными и волновыми моделями, к описанию и теоретическому исследованию движения на сетях и разработке сетевых имитационных моделей с целью численного анализа характеристик потока на сетях высокой сложности. Получены начальные условия, при которых происходит выход 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 РФ, семинарах Российской академии наук и конференциях международного уровня.

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

#### **Замечания по диссертации**

1. На странице 53 диссертации (утверждения 2 пункта 2.2.2) отсутствует доказательство того, что все кластеры преобразуются в лидирующий.

2. Не везде четко обозначены акценты по поводу полученных результатов: результат получен на основании аналитического исследования или на основе компьютерных экспериментов.

3. В работе мало внимания уделено практическому применению разработанных моделей с использованием реальных данных.

4. Текст диссертации содержит опiski и опечатки:

1) на странице 51, в последней строке стоит знак «?», предположительно пропущена ссылка на литературу;

2) на странице 66 пропущена ссылка на рисунок;

3) на странице 88 не пронумерован первый пункт результатов.

Сделанные замечания не оказывают существенного 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».

**Официальный оппонент:**

доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией ИПУ РАН.

Вишневский Владимир Миронович

« 9 » января 2017

Подпись

ЗАВЕРЯЮ

Вед. инст.  
Жуковский



Справочные данные:

Вишневский Владимир Миронович

Адрес: 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65.

Тел.: 8 (495) 334-75-91

E-mail: vishn@inbox.ru