

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института математики и  
механики УрО РАН  
академик РАН



В. И. Бердышев

«\_01\_» апреля\_2014 г.

### **Отзыв ведущей организации**

на диссертационную работу Дорогуш Елены Геннадьевны «Математический анализ модели транспортных потоков на автостраде и управления ее состоянием», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.02 «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление».

### **Актуальность темы диссертации**

Рост количества автотранспортных средств и порожденный этим ростом круг проблем приводят к необходимости изучения транспортных потоков и созданию математических моделей, призванных адекватно описывать ситуации на дорогах. Исследование математических моделей транспортных потоков позволяет формировать сценарии для регулирования и управления движением. Нельзя не отметить сложность рассматриваемой задачи, которая обусловлена, в частности, значительным количеством параметров, определяющих транспортные потоки и сети.

Существуют различные подходы к изучению задачи, при этом они укладываются в рамки двух направлений исследования — вероятностного и детерминированного.

Многие процессы, характеризующие поток транспорта имеют вероятностный характер. Случайной величиной является, например, интенсивность входящего потока автомобилей. Немало случайного привносится на микроуровне человеком — тем, кто управляет автотранспортным средством. Наличие субъективного фактора (среди прочих) делает изучаемые транспортные потоки трудно формализуемыми. Здесь существенную помощь при анализе могут оказать методы статистики и теории массового обслуживания.

Детерминированный подход к изучению транспортных задач традиционно опирается на раздел физики, изучающий движение жидкостей и газов. При математическом анализе идеализация заключается в переходе от реальной среды, состоящей из большого числа отдельных атомов или молекул (в рассматриваемой проблеме «молекулами» выступают автомобили), к абстрактной сплошной среде, для которой записывается уравнение движения — дифференциальное уравнение в частных производных.

Автором исследования избран детерминированный подход к изучению транспортных потоков. В условиях нарастающей загруженности реальных транспортных сетей **актуальность** диссертации Дорогуш Е. Г. не вызывает сомнений.

### **Оценка содержания диссертации и ее завершенность**

**Диссертация** состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы. Объем работы составляет 90 страниц, 23 иллюстрации. Список литературы включает 49 наименований. Автореферат и 3 печатные работы адекватно отражают основные результаты диссертационной работы.

**Во Введении** приводится подробный анализ научных исследований по проблематике, диссертационной работы, дается обзор специальной литературы, указывается цель исследования, перечисляются основные результаты.

**В первой главе** описывается модель транспортных потоков на автомагистрали в виде сетевой модели на графах специального вида. Излагается основной понятийный аппарат теории транспортных сетевых моделей. Исследуется модифицированная диссертантом модель автомагистрали, предложенная в работах Gomes G., Horowitz R., Kurzhanskiy A. A.. Изучаемая модель является дискретной как по времени, так и по пространственным переменным. Исследуются свойства незамкнутой автомагистрали, а также кольцевой магистрали. При этом решение задачи о пропускной способности для незамкнутой автомагистрали находится автором в явной форме. В заключение главы представлены расчеты карт уровней загруженности кольцевой и незамкнутой автомагистралей для частного случая двух основных ячеек.

**Вторая глава** посвящена изучению проблемы существования равновесных состояний в моделях автомагистралей при постоянных входных потоках. Приводится с обоснованием алгоритм определения равновесных потоков в модели незамкнутой автомагистрали (теорема 2.3.). Излагается алгоритм построения равновесных потоков в модели кольцевой автомагистрали. Изучается проблема устойчивости равновесных состояний. Обоснование устойчивости в обеих сетевых моделях сводится в ряде случаев к анализу спектральных свойств матрицы и применению классических результатов Фробениуса — Перрона. Доказывается, что в модели незамкнутой автострады положение равновесия является устойчивым, однако, оно не всегда асимптотически устойчиво. В модели кольцевой автострады диссертантом получены критерий неустойчивости равновесия и достаточные условия асимптотической устойчивости. В заключение приводятся результаты численных симуляций параметров для обеих рассматриваемых сетевых моделей.

Материал **третьей главы** базируется на результатах двух предыдущих глав. Автор вводит фактор цены за услуги и в модели автомагистрали расщепляет полосы движения на обыч-

ные (бесплатные) и выделенные (платные). Управление состоянием автострады осуществляется через изменение цены за использование платными полосами. Цель управления состоит в том, чтобы привести выделенные полосы в состояние свободного движения и поддерживать их в этом состоянии, насколько это возможно при условии максимального использования пропускной способности выделенных полос. Управляющий фактор определяет выпуклые весовые коэффициенты расщепления для потоков со въездов. Излагается алгоритм управления. Приводятся результаты моделирования автомагистралей с различным количеством въездов, иллюстрирующие эффективность алгоритма.

**В заключении** приведен перечень основных результатов диссертационной работы.

### **Теоретическая и практическая ценность**

Теоретическая значимость работы состоит в том, что она является дальнейшим развитием исследований в области теории транспортных потоков. Предложены и исследованы новые модели автомагистралей различной конфигурации.

Практическая значимость работы определяется очевидной практической направленностью работы. Полученные в диссертации результаты могут найти применение при создании сценариев управления реальными транспортными потоками. Надо заметить, что использование на практике полученных в работе результатов требует проведения «полевых» исследований, необходимых для создания информационной основы математического моделирования состояния реальных автострад.

### **Достоверность и научная новизна**

Основные результаты, помещенные в диссертацию, оригинальны. Все утверждения снабжены подробными доказательствами.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения. Работа прошла широкую апробацию. По материалам диссертации опубликованы 3 печатные работы, включая 2 статьи в рецензируемых научных журналах из списка ВАК, результаты диссертации докладывались на представительных международных и Всероссийских конференциях.

В работе получены следующие **новые научные результаты**, выносимые автором на защиту:

- предложены понятия пропускной способности и уровня загруженности автострады для дискретной модели кольцевой и незамкнутой автострад, предъявлен способ вычисления пропускной способности автострад,
- изучены положения равновесия в моделях незамкнутой и кольцевой автострад и получены критерии устойчивости равновесий,

- предложен алгоритм управления состоянием незамкнутой автострады с помощью выделенных платных полос.

Работа написана ясно, хорошо структурирована, результаты иллюстрируются примерами и расчетами, поясняющими теоретические выводы.

Все представленные результаты являются новыми, их достоверность подтверждается публикациями по материалам диссертации, в том числе в рецензируемых ВАК журналах.

### **Критический анализ диссертации**

1. В диссертации и автореферате отмечено, что изучаемая в работе дискретная модель транспортных потоков базируется на непрерывной гидродинамической модели, основу которой составляет уравнение в частных производных первого порядка. В диссертации следовало бы, на наш взгляд, несколько подробнее описать связь дискретных конструкций с непрерывными конструкциями. Быть может, следовало бы для полноты описания моделей прописать формальные предельные переходы для некоторых дискретных соотношений, чтобы связь дискретных конструкций и их непрерывных аналогов проступала более зримо.
2. Утверждение 1.8, согласно которому автомагистраль разгружается быстрее всего, когда въезды перекрыты, кажется нам очевидным утверждением. Приведенное в диссертации его доказательство объясняется, по всей видимости, стремлением автора обосновать корректность исследуемой модели.
3. Список литературы по теме диссертации можно было бы пополнить известными монографиями, к которым относится, в частности, книга Ф. Хейта «Математическая теория транспортных потоков», Москва. Мир, 1966, 286 с.

### **Выводы**

Диссертация посвящена актуальным задачам теории управления транспортными потоками. Основные результаты диссертации оформлены в виде теорем и снабжены полными доказательствами. Утверждения иллюстрируются на модельных примерах. Диссертация хорошо оформлена. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Диссертация Дорогуш Елены Геннадьевны является законченным исследованием, содержащим ряд новых важных результатов по теории транспортных потоков, допускающих их приложения на практике.

Приведенные выше замечания не являются существенными и не влияют на общую положительную оценку результатов диссертационной работы.

На основании анализа диссертации, автореферата и опубликованных работ по теме диссертации можно сделать следующий вывод: Дорогуш Елена Геннадьевна является сложившимся научным сотрудником, способным самостоятельно ставить и решать важные задачи теории транспортных потоков.

Считаем, что диссертационная работа «Математический анализ модели транспортных потоков на автостраде и управления ее состоянием» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.01.02 «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление», а ее автор Дорогуш Елена Геннадьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

### Рекомендации к внедрению

Результаты работы могут быть использованы в научных исследованиях, проводимых на факультете вычислительной математики и кибернетики (ВМК) Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, в Московском физико-техническом университете, в Независимом Московском университете, где занимаются изучением транспортных потоков. Результаты работы могут быть положены в основу специальных курсов, читаемых для магистрантов по направлению «Прикладная математика и информатика».

*Отзыв утвержден на заседании отдела динамических систем Института математики и механики УрО РАН (протокол № 1).*

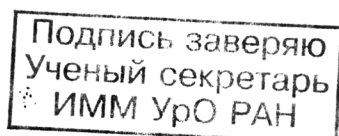
« 19 » марта 2014 г.

Заведующий отделом динамических систем  
Института математики и механики УрО РАН  
член-корреспондент РАН

/В. Н. Ушаков/

Старший научный сотрудник  
отдела динамических систем  
Института математики и механики УрО РАН,  
кандидат физ.-мат. наук

/А. А. Успенский/



Ульянов О.Н.