

*Л.Г. Афанасьева, Е.В. Булинская*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

### **Математические модели транспортных систем, основанные на теории очередей**

Цель работы — получение условий эргодичности для ряда транспортных систем, учитывающих наличие светофоров. Поступление автомобилей описывается пуассоновскими процессами. Интервалы между последовательными переключениями светофора могут иметь произвольное распределение. Рассматривается также оптимизация функционирования светофора. Существование стационарного режима в системе с двумя последовательными светофорами установлено с учетом размера автомобилей. Изучено влияние светофоров и различия в скоростях автомобилей на плотность их потока. Методы теории очередей оказались полезными для исследования.

**Ключевые слова:** транспортные потоки, светофоры, нерегулируемый перекресток, эргодичность, оптимизация, плотность потока, высокая загрузка.

*М.Л. Бланк*

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

### **Синхронно обновляемые процессы с запретами в моделях транспортных потоков**

Изучено несколько простых моделей транспортных потоков в виде процессов с запретами (как решеточных, так и с непрерывным пространством) и получены явные формулы для некоторых связанных с ними статистик. В частности, получена так называемая фундаментальная диаграмма, выражающая зависимость средней скорости движения от плотности частиц.

**Ключевые слова:** процессы с запретами, транспортные потоки, системы взаимодействующих частиц, каплинг.

*П.П. Бобрин*

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН

### **Обоснование гравитационной модели транспортных корреспонденций при помощи закона убывающей предельной полезности**

В статье исследуется связь между поведенческими реакциями экономического типа и часто возникающими на практике примерами пространственного распределения транспортных корреспонденций.

**Ключевые слова:** транспорт, гравитационная модель, закон убывающей предельной полезности, полезность поездки.

*А.С. Бугаев<sup>1</sup>, А.П. Буслаев<sup>2,3</sup>, А.Г. Таташев<sup>3,2</sup>, М.В. Яшина<sup>3,2</sup>*

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup> Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет)

<sup>3</sup> Московский технический университет связи и информатики

### **Оптимизация частично-связных потоков в детерминированно-стохастической модели**

Рассматривается модель многополосного частично связанного движения, в которой скорость движения частиц представляет собой сумму детерминированной и стохастической составляющей. Решается задача максимизации средней скорости и интенсивности движения по параметрам, определяющим модель.

**Ключевые слова:** стохастические модели, случайное блуждание, автотранспортные потоки, многополосное движение, оптимизация.

*А.В. Гасников, Е.В. Гасникова*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

**О возможной динамике в модели расчета матрицы корреспонденций (А.Дж. Вильсона)**

Приводится основной аппарат, необходимый для исследования динамики *макросистем* при больших значениях времени. В основе динамики лежит *эргодическая марковская цепь* с огромным числом состояний. При больших значениях времени распределение макросистемы по *макросостояниям* будет близко к *стационарному*. С ростом размерности макросистемы (количества состояний марковской цепи) стационарное распределение будет *концентрироваться* в окрестности *наиболее вероятного макросостояния*, которое и принимается за *равновесное* для данной макросистемы. В качестве примера применения описанного формализма приводится вывод статической *гравитационной модели* расчета матрицы корреспонденций (одной из наиболее популярных в приложениях), исходя из «разумной» (индивидуально выгодной) динамики обменов местами жительства.

**Ключевые слова:** эргодическая теорема, функция Ляпунова, энтропия, гравитационная модель расчета матрицы корреспонденций, концентрация инвариантной (стационарной) меры, канонический скейлинг, динамика квазисредних, условие динамического равновесия, принцип детального равновесия.

*Е.В. Гасникова, Ю.В. Дорн*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

**О стохастической марковской динамике, приводящей к равновесию Нэша–Вардропа в модели распределения потоков**

Описывается возможная динамика, приводящая к равновесию Нэша–Вардропа в модели распределения потоков. Следует заметить, что сделанные выводы базируются в основном на результатах численных экспериментов, которые показали в ряде игр очень быструю сходимость предложенной стохастической (гиббсовской) марковской динамики наилучших ответов в соответствующей эволюционной игре к равновесию Нэша.

**Ключевые слова:** эволюционные игры, равновесие Нэша, парадокс Брайеса, принципы Дж. Г. Вардропа, эффективность по Парето, алгоритм Григориадиса–Хачияна.

*А.А. Замятин, В.А. Мальшев*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Транспортные автомобильные потоки — введение в вероятностный подход**

Вероятностные модели транспортных потоков, отражающие качественные явления на автомагистрали, весьма разнообразны: от массового обслуживания середины прошлого века до статистической физики и процессов с локальным взаимодействием. В статье перечислены возможные постановки задач и подробно разобраны некоторые примеры.

**Ключевые слова:** точечные случайные процессы, сети массового обслуживания, транспортные потоки, случайные грамматики.

*С.Л. Кленов*

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Теория Кернера трех фаз в транспортном потоке — новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий**

Кратко рассматриваются основные положения и результаты предложенной Кернером теории трех фаз в транспортном потоке. Эта теория позволяет объяснить и предсказать эмпирические пространственно-временные свойства перехода к плотному потоку и результирующих структур в плотном транспортном потоке. Приводятся результаты измерения пространственно-временные структур в транспортном потоке на скоростных автомагистралях в Германии, Англии и США. Эти результаты являются эмпирическим базисом как для определения фаз транспортного потока, так и для остальных положений теории Кернера. Показывается, что в теории Кернера возникновение плотного транспортного потока (traffic breakdown) объясняется как фазовый переход первого рода от фазы свободного потока к фазе синхронизованного потока. Такой переход с некоторой вероятностью может происходить в широком диапазоне значений транспортного потока, что отвечает бесконечному числу значений пропускной способности автодороги. Анализируются характерные свойства процесса образования фазы движущихся кластеров машин (движущихся заторов) в синхронизованном потоке, дается классификация пространственно-временных структур транспортного потока в теории Кернера. Приводятся примеры новых интеллектуальных транспортных технологий, основанные на теории трех фаз Кернера.

**Ключевые слова:** транспортные потоки, теория трех фаз Кернера в транспортном потоке, интеллектуальные транспортные технологии, переход от свободного к плотному транспортному потоку, бесконечное число значений пропускной способности скоростных автомагистралей.

*А.В. Колесников*

Московский государственный университет печати  
Государственный университет — Высшая школа экономики  
**Транспортировка масс и сжимающие отображения**

Согласно известному результату Л. Каффарелли, оптимальная транспортировка стандартной гауссовской меры в логарифмически вогнутую меру  $e^{-Wdx}$ , удовлетворяющую условию  $D^2W \leq Id$ , является 1-липшицевым отображением. Настоящая работа представляет собой краткий обзор различных результатов и приложений, полученных в этом направлении.

**Ключевые слова:** оптимальная транспортировка, уравнение Монжа–Ампера, логарифмически вогнутые меры, гауссовы меры, изопериметрические неравенства, неравенства Соболева.

*А.Б. Куржанский<sup>1,2</sup>, А.А. Куржанский<sup>2</sup>, П. Варайя<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

<sup>2</sup> University of California at Berkeley, USA

### **Роль макро моделирования в активном управлении транспортной сетью**

Система активного управления транспортной сетью (АУТС) нацелена на динамическое регулирование автомобильных потоков на дорогах в режимах регулярно повторяющихся и внезапно возникающих перегрузок. Её работа основана на измерении и оценивании текущей ситуации на дороге и направлена на повышение эффективности использования сети дорог в условиях перегрузок. Она представляет собой непрерывный процесс выполнения следующих операций: (1) получения и анализа данных измерений потоков транспорта; (2) оперативного планирования и компьютерной симуляции различных сценариев и управляющих стратегий; (3) внедрения наиболее подходящих управленческих решений; (4) обеспечения в реальном времени работы системы поддержки принятия решений, отфильтровывающей текущие измерения; это делается с целью предсказания ожидаемого состояния транспортной сети на ближайшее время и подготовки к внедрению соответствующих наилучших управленческих решений к моменту возможного возникновения ожидаемой критической ситуации. АУТС опирается на работу быстрого и надёжного симулятора дорожного движения, который способен в течение нескольких минут протестировать множество сценариев и управленческих стратегий для наблюдаемой дорожной сети и выбрать адекватные для использования. Для реализации подобной схемы действий возможно использовать бесплатный программный пакет для макросимуляций — систему Aurora Road Network Modeler. В настоящей статье изложено описание следующих элементов АУТС: динамической модели транспортных потоков, лежащей в её основе; приспособления и подготовки модели к процессу симуляции; критериев эффективности транспортной сети и оценки сценариев как части оперативного планирования; указания рамок, в пределах которых оцениваются управленческие решения, и их моделирование; предлагаемых алгоритмов оценивания состояния транспортной сети и предсказания её будущего поведения на ближайших коротких отрезках времени.

**Ключевые слова:** активное управление, транспортная сеть, макроскопическая транспортная модель, калибровка, автоматизированная система, геоинформационная система, фундаментальная диаграмма, коммуникационная сеть, быстрый и надёжный симулятор, оперативное планирование, динамическая фильтрация, оперативная стратегия, оценивание состояния, гарантированное прогнозирование.

*Е.А. Нурминский<sup>1,2</sup>, Н.Б. Шамрай<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет

### **Прогнозное моделирование автомобильного трафика Владивостока**

В ходе реализации масштабных федеральных программ развития Дальнего Востока России значительные средства вкладываются в инфраструктурные проекты совершенствования транспортных сетей г. Владивостока и его непосредственного окружения. В настоящей работе на основе генерального плана развития города разработаны прогнозные модели изменений транспортной ситуации и перераспределения транспортных потоков в результате реализации этих проектов. Описаны результаты вычислительных экспериментов по расчету транспортных потоков в существующей и создаваемой сетях с использованием теории экономического равновесия и модели стационарной динамики.

**Ключевые слова:** конкурентное равновесие, моделирование транспортных потоков, вариационные неравенства, матрица корреспонденций, проективные методы.

*А.М. Райгородский*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Московский физико-технический институт (государственный университет)  
ООО «Яндекс»

### **Модели случайных графов и их применения**

В статье дается обзор основных современных направлений в теории случайных графов. Делается акцент на связь моделей случайного графа с транспортной проблематикой.

**Ключевые слова:** случайный граф, Интернет, транспортные сети.

*Н.Н. Смирнов, А.Б. Киселев, В.Ф. Никитин, А.В. Кокорева*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

### **Математическое моделирование движения автотранспортных потоков методами механики сплошной среды. Двухполосный транспортный поток: модель Т-образного перекрестка, исследование влияния перестроений транспортных средств на пропускную способность участка магистрали**

Представлено дальнейшее развитие модели движения автотранспортных потоков методами механики сплошной среды. Построена новая модель двухполосного транспортного потока, учитывающая перестроения транспортных средств и основанная на подходе механики многофазных сред. В качестве примера использования модели двухполосного движения проведено численное моделирование Т-образного перекрестка, образованного примыканием второстепенной двухполосной дороги к основной также двухполосной трассе. Движение на этом перекрестке регулируется светофором с тремя фазами работы.

**Ключевые слова:** математическое моделирование движения автотранспортных потоков, светофор, Т-образный перекресток, перестроение транспортных средств, пропускная способность, механика сплошной среды, многофазные потоки.

*Я.А. Холодов, А.С. Холодов, А.В. Гасников, И.И. Морозов, В.Н. Тарасов*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

### **Моделирование транспортных потоков — актуальные проблемы и перспективы их решения**

Работа посвящена математическому моделированию транспортных потоков, описанию проблем, которые при этом возникают, и возможностей их решения. Предложена оригинальная макроскопическая модель для описания автомобильного движения на сложном графе транспортной сети. Макроскопическая модель основана на гидродинамическом подходе, где транспортный поток описывается уравнениями течения сжимаемой многокомпонентной жидкости с мотивацией. В качестве компоненты рассматриваются автомобили, объединённые общими характеристиками. Разработан также оригинальный алгоритм построения систем уравнений в узлах графа транспортной сети — перекрестках. Результаты численных расчётов при сравнении с экспериментальными данными показывают работоспособность предлагаемой модели.

**Ключевые слова:** автомобильное движение, гидродинамический подход, граф транспортной сети, многокомпонентные транспортные потоки.

*Б.Н. Четверушкин, М.А. Трапезникова, И.Р. Фурманов, Н.Г. Чурбанова*

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

**Макро- и микроскопические модели для описания движения автотранспорта на многополосных магистралях**

Работа посвящена математическому моделированию автотранспортных потоков на улицах больших городов и магистралях. Разработаны оригинальные двумерные макроскопическая и микроскопическая модели для описания автомобильного движения на многополосных трассах с учётом их реальной геометрии. Макроскопическая модель синхронизованных потоков основана на кинетическом подходе по аналогии с квазигазодинамической системой уравнений. Микроскопическая модель использует теорию клеточных автоматов. Обе модели обобщены на случай «многофазного» движения для описания неоднородных потоков транспорта. Под фазой понимается группа автомобилей, объединённых общими характеристиками. Тестовые расчёты демонстрируют адекватность предложенных моделей различным дорожным ситуациям.

**Ключевые слова:** автотранспортные потоки, микроскопические и макроскопические модели, многополосное движение, многофазные потоки транспорта.

*В.И. Швецов*

Институт системного анализа РАН

**Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях**

В работе дается краткий обзор последних направлений развития в области расчета корреспонденций. Эти направления связаны с переходом от матриц корреспонденций к рассмотрению цепочек передвижений, а также цепочек «дневной активности» (activity-based models) и применением методов Монте-Карло для моделирования корреспонденций. В работе также описана проблема, связанная с получением оценки межрайонной дальности, усредненной по способам передвижения их решения. Описан способ корректного усреднения. Далее обсуждаются различные алгоритмы поиска равновесия в транспортной сети. Принцип равновесия однозначно определяет значения потоков на дугах сети, однако оставляет большой произвол в выборе распределения корреспонденций по путям. Для устранения этой неопределенности может быть использован принцип максимизации энтропии.

**Ключевые слова:** транспортные потоки, межрайонные корреспонденции, модели активности, расщепление корреспонденций, равновесное распределение.