

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Крылатова Александра Юрьевича на тему: «Оптимизационные модели и методы равновесного распределения потоков в транспортных сетях», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (по прикладной математике и процессам управления)

Диссертационная работа посвящена актуальной проблематике – развитию методологических инструментов распределения транспортных потоков на основе равновесных и оптимизационных моделей индивидуальной и групповой конкуренции участников движения в линейных и нелинейных транспортных сетях. Научные работы в данной области имеют также непосредственное прикладное значение, так как с ними связано решение задач повышения эффективности, качества, надежности, экономичности, безопасности функционирования транспортных сетей городов и регионов, расширением возможностей автоматизации систем управления дорожным движением. При этом важная роль отводится развитию равновесных моделей, что связано с необходимостью моделирования процессов конкуренции большого количества независимых субъектов (участников движения), использующих общий ограниченный ресурс (транспортную сеть). При решении прикладных задач очень существенной является возможность построения методов, позволяющих достаточно быстро находить приемлемые для применения варианты, в том числе в режиме реального времени, для возникающих задач оптимизации и равновесия. Данное обстоятельство определяет актуальность разработки новых вычислительных методов и алгоритмов равновесного распределения транспортных потоков в условиях большой размерности.

В современной теории транспортных потоков существуют различные подходы к их моделированию. Среди них особую роль занимают модели равновесного распределения потоков. Их значимость определяется тем, что они оказались наиболее удобными при моделировании сложных транспортных процессов на реальных сетях большой размерности по сравнению с прочими, использующими, например, уравнения в частных производных. В связи с этим, несомненно, актуальными являются

09/2 - 128 от 04.07.2018

исследования, направленные на выделение классов прикладных задач равновесия, которые допускают построение простых и быстро сходящихся методов, в частности, моделей оптимизационного типа. Один из таких классов традиционно представляют задачи с диагональными функциями стоимости по дугам, когда стоимость по дуге зависит только от потока по этой дуге. В этом случае задача равновесия является потенциальной, т.е. допускает эквивалентную формулировку в виде задачи оптимизации. Эффективные методы в данной области могут существенно повысить качество анализа и принятия решений по организации транспортных процессов на загруженных улично-дорожных сетях крупных городов.

В то же время эффективное решение подобных задач невозможно только за счет технических решений, без исследования и выявления базовых свойств возникающих задач, а также без применения численных методов, опирающихся на современные достижения в областях нелинейной оптимизации, теории игр и общего равновесия. При решении задач оптимизации структуры транспортных систем возникают двухуровневые задачи оптимизации. Множество вопросов, связанных с решением таких задач, остаются на сегодняшний день открытыми и представляют собой актуальные направления исследований, в частности, к ним относятся задачи проектирования транспортных сетей с оптимальной топологией, оценки матриц корреспонденций, оптимального светофорного регулирования.

В связи с отмеченными обстоятельствами **актуальность** диссертационной работы Крылатова А.Ю. обусловлена важностью развития оптимизационных моделей и методов равновесного распределения потоков и исследования соответствующего круга прикладных задач.

Отметим наиболее важные результаты диссертационной работы.

В первой главе диссертации вводятся основные понятия и модели равновесного распределения транспортных потоков индивидуальных пользователей, формулируются прямая и двойственная задачи распределения транспортных потоков. Задачи распределения потоков по маршрутам и дугам транспортной сети заданной топологии при параллельных каналах сводятся к задачам поиска неподвижной точки со специально построенными операторами.

Вторая глава посвящена модели равновесного распределения транспортных потоков в условиях конкурентного поведения групп пользователей. Доказаны теоремы связи между системным оптимумом

Вардропа, равновесием по Нэшу конкурирующих групп пользователей и конкурентным равновесием Вардропа для заданного класса сетевых игр в условиях диагональности функций стоимости по дугам. Разработана поведенческая модель распределения потоков в случае одновременно индивидуальной и групповой конкуренции на транспортной сети.

В третьей и четвертой главах диссертации рассматриваются методы решения потенциальной задачи равновесного распределения потоков в транспортных сетях. В третьей главе обсуждаются варианты широко используемого метода условного градиента поиска равновесного распределения потоков по дугам больших транспортных сетей. Доказывается квадратичная сходимости проекционных методов, базирующихся на полученных в первой главе в явном виде проектирующих операторах для сети параллельных каналов. Также в этих условиях предлагается и обосновывается метод сведения задачи равновесного распределения потоков в линейной транспортной сети, формулируемой в виде задачи условной нелинейной оптимизации, к системе линейных уравнений. В четвертой главе предлагаются специальные подходы к параллельной декомпозиции транспортной сети при поиске равновесного распределения транспортных потоков. Указаны способы представления транспортной сети в виде множества подсетей специального вида и сведения задачи распределения потоков на сети произвольной топологии к набору задач распределения потоков в сетях с одной парой исток-сток.

В пятой и шестой главах диссертации рассматриваются задачи построения оптимальной топологии транспортной сети, а также транзитных подсетей специализированного типа. В пятой главе формулируются двухуровневые задачи оптимизации пропускной способности маршрутов транспортной сети. Получены условия оптимальности для задачи выбора пропускных способностей линий в условиях индивидуальной конкуренции участников движения, а также в условиях мультимодальности транспортных потоков. В шестой главе разрабатывается модель распределения потоков при наличии на транспортной сети специализированных транзитных подсетей. Получены условия оптимальности для различных видов топологии, как в случае индивидуальной конкуренции, так и в случае конкуренции групп участников движения. Разработанный подход позволяет дополнительно учитывать интересы конкурирующих на сети специализированных объектов, обладающих особыми правами.

Седьмая и восьмая главы посвящены различным приложениям моделей и методов, рассмотренных в первых шести главах. В седьмой главе они применяются к транспортным процессам в загруженных транспортных сетях. На основе постановок в виде задач оптимизации формулируются задачи выбора режимов работы светофоров, оценки матриц корреспонденций, минимизации уровня выбросов загрязняющих веществ вдоль трасс автомобильного транспорта, а также задача динамической маршрутизации в загруженной транспортной сети. Восьмая глава посвящена разработке модели сети электроснабжения с множеством поставщиков и потребителей электроэнергии. Задача поиска распределения нагрузок на линиях передачи электроэнергии формулируется в виде нелинейного обобщения транспортной задачи, для нее получены условия оптимальности. Предложены модели игрового и оптимизационного типа для нескольких видов конкуренции и кооперации участников рынка электроэнергии на общей сети электроснабжения.

В работе приведены примеры, подтверждающие работоспособность разработанных подходов и вычислительных алгоритмов.

Научная новизна и теоретическая значимость диссертации определяется построением в ней оптимизационных моделей и методов для широкого класса задач равновесного распределения транспортных потоков по маршрутам и дугам транспортной сети в случаях индивидуальной и групповой конкуренций, предоставляющих новые возможности для анализа и управления транспортными процессами в загруженных транспортных сетях. Особое внимание в работе уделяется развитию методологических основ решения задач в области транспортного планирования на основе достаточно простых условий оптимальности и явного выделения классов задач, допускающих простую форму этих условий. Разработаны новые декомпозиционные подходы решения задачи распределения потоков. Сформулированы новые методы построения оптимальных транзитных подсетей.

Практическая значимость диссертации заключается в ее исходной ориентации на эффективное применение моделей и методов равновесного распределения транспортных потоков с целью обеспечения поддержки принятия решений при разработке различных систем управления потоками транспорта в условиях высокой загруженности улично-дорожных сетей крупных городов. Практическая значимость подтверждается рядом прикладных научно-исследовательских работ в рамках грантов и контрактов,

в которых успешно используются результаты диссертации. В тексте диссертации приведено достаточное количество примеров, иллюстрирующих эффективность и применимость разработанных автором методов к широкому кругу прикладных задач.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов диссертации определяется строгими математическими доказательствами всех представленных в работе утверждений, апробацией результатов, полученных в диссертации, на всероссийских и международных научных конференциях, публикациями в рецензируемых отечественных и зарубежных научных изданиях, а также успешным применением результатов диссертации к задачам анализа, управления и проектирования для реальных транспортных сетей.

Диссертация аккуратно оформлена, текст диссертации тщательно отредактирован, все полученные результаты обоснованы и выполнены на высоком научном уровне. В то же время работа не лишена некоторых недостатков.

Основные **замечания** по диссертационной работе состоят в следующем.

1. Поскольку теоремы 1.1.1 и 1.1.3 не оригинальны и даны ссылки, то их доказательства излишни.
2. На с.67, совпадение целочисленных решений при разных принципах неочевидно и требует пояснения.
3. На с.77, линейные функции задержки слишком просты, они сводят задачу равновесия к обычной задаче квадратичного программирования. Следовало бы рассмотреть и другие типы функций.
4. С.90, л.2-4: речь идет не о направлении спуска, а о правиле линейного поиска; с.90, л.8-9: на самом деле скорость сходимости метода условного градиента на многограннике сублинейная, а не линейная.
5. С.99. Размерность тестовых примеров слишком мала. Следовало бы взять большую размерность, использовать известные тестовые примеры задач транспортного равновесия, провести сравнение и с другими численными методами, например, проективного типа.
6. В работе рассмотрены задачи транспортного равновесия с постоянным спросом. Однако во многих случаях более удобно использовать модели с эластичным спросом. В особенности это

относится к задачам главы VI, поскольку число находящихся на линиях участников может зависеть от дорожной ситуации и его достаточно трудно зафиксировать. Такие модели существенно повысили бы эффективность анализа движения.

7. В разделе 8.1 описана нелинейная транспортная задача на сети, она достаточно хорошо изучена. Надо было указать соответствующую литературу по этой теме.
8. Замечено небольшое число опечаток. Например, с.90, л.2-4: «Липшецевой», «по правило»; с.142: определения первого и второго случаев одинаковы; с.169, л.4: «В веденных»; с.201, л.2-5 снизу: фраза не содержит утверждения.

Указанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы.

Представленная работа «Оптимизационные модели и методы равновесного распределения потоков в транспортных сетях» является завершенным научным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Совокупность полученных в работе результатов можно квалифицировать как крупное научное достижение в области развития моделей и методов равновесного распределения транспортных потоков.

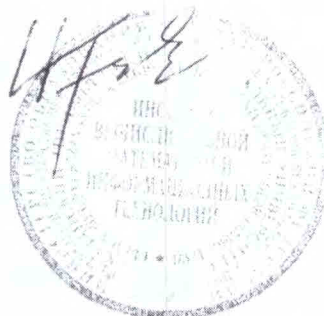
Основные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в отечественных и зарубежных научных изданиях, включая рецензируемые журналы, входящие в Перечень ВАК, и в системы цитирования Scopus и Web of Science. Результаты работы апробированы на всероссийских и международных научных конференциях, в том числе на конференциях, проводимых сообществами IFAC и IEEE.

Диссертация Крылатова Александра Юрьевича на тему: «Оптимизационные модели и методы равновесного распределения потоков в транспортных сетях» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Крылатов Александр Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.01 –

системный анализ, управление и обработка информации (по прикладной математике и процессам управления).

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук, профессор,
Главный научный сотрудник
НИЦ «Фундаментальная и прикладная информатика»
Института вычислительной математики и
информационных технологий
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский)
федеральный университет»



Коннов И.В.

Дата 18.06.2018

