

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)

Актуальность темы диссертации. Исследования, представленные в работе, направлены на развитие математических моделей и методов решения важных социально-экономических задач в сфере управления транспортными потоками и инфраструктурой улично-дорожных сетей крупных городов. В настоящее время необходимость применения методов математического моделирования для поддержки процесса принятия решений в транспортной сфере, характеризующейся большим объемом данных, принята на всех уровнях управленческой инфраструктуры. Это определяет необходимость разработки математических моделей, методов и программных комплексов, способных обрабатывать большие объемы данных и находить оптимальные решения. С учетом конкурентной природы взаимодействия участников движения в загруженных транспортных сетях, на передний план выходят равновесные и теоретико-игровые модели распределения транспортных потоков.

Важнейшей особенностью транспортных потоков является невозможность директивного управления участниками движения. При этом каждое топологическое изменение транспортной сети влечет за собой изменение в общей структуре распределения потоков. Таким образом, управление транспортными потоками может происходить опосредовано, путем изменения топологии сети в целом, а также топологии транзитных подсетей. В представленной работе исследуются варианты таких изменений топологии, базирующиеся на моделях двухуровневой оптимизации. Характерной особенностью такого подхода является возможность, в определенном смысле, влиять на поведение участников движения и, соответственно, распределение транспортных потоков.

Достижение эффективного функционирования загруженных транспортных сетей подразумевает учет влияния транспортных потоков на все транспортные процессы. Учет влияния такого значимого фактора позволит более эффективно настраивать режимы работы светофоров, оценивать оказываемую транспортной сетью нагрузку на экологию, составлять графики работы логистических служб и т.д. Более того, моделирование сетей электроснабжения с множеством поставщиков и потребителей электроэнергии в виде загруженных транспортных сетей, при необходимых уточнениях, представляется разумным и вполне перспективным направлением исследований в силу ряда возникающих здесь естественных аналогий.

В настоящее время существенное внимание уделяется вопросам нахождения равновесного распределения потоков по маршрутам транспортной сети. Большинство алгоритмов определяют распределение транспортных потоков по дугам транспортной сети. При этом в общем случае по известным значениям загрузки дуг транспортной сети

bx 09/2 - 127 oim 04.07 2018

невозможно восстановить потоки по маршрутам. Однако именно значения потоков на маршрутах транспортной сети являются параметрами управления. С учетом этого особый интерес представляют методы и алгоритмы равновесного распределения транспортных потоков по маршрутам сети.

Рассматриваемая диссертация направлена на развитие современных методов поддержки принятия решений в одной из важнейших социально-экономических сфер, разработку соответствующих математических моделей, специальных методов условной нелинейной оптимизации и является, несомненно, **актуальной**.

Теоретическая значимость диссертационной работы определяется предложенными автором новыми моделями и методами равновесного распределения транспортных потоков по маршрутам и дугам транспортной сети. Полученные результаты расширяют возможности использования декомпозиционного подхода для распределения потоков по маршрутам и дугам линейных и нелинейных транспортных сетей, а также методов анализа транзитных подсетей. Особая значимость полученных теоретических результатов состоит в развитии проекционных алгоритмов, в которых проектирующий оператор для соответствующих задач условной нелинейной оптимизации получен в явном виде.

К основным научным результатам диссертации следует отнести следующие.

1. Разработаны новые проекционные алгоритмы нахождения равновесного распределения транспортных потоков по маршрутам и дугам в условиях параллельной декомпозиции транспортной сети, основанные на полученных в явном виде проектирующих операторах. Доказано, что операторы являются сжимающими и при достаточно естественных условиях обеспечивают квадратичную сходимость последовательностей допустимых решений, получаемых благодаря определенным процедурам простой итерации.

2. Разработан новый подход к декомпозиции транспортной сети на параллелизованные подсети для нахождения равновесного распределения потоков по маршрутам. Предложена методика сведения задачи распределения транспортных потоков по маршрутам сети к системе уравнений.

3. Сформулирована и решена задача распределения потоков в транспортной сети со специализированной транзитной подсетью. Предполагается, что какому-то классу транспортных средств предлагаются наилучшие условия движения (например, минимальное время движения). В качестве специализированного класса транспортных средств могут выступать, например, транспортные средства готовые пользоваться платными дорогами. Разработан метод построения оптимальной топологии транзитной подсети, улучшающей условия движения специализированных транспортных потоков.

4. Формализован класс сетевых игр, исследование которого позволяет установить связь между индивидуальной и групповой конкуренцией пользователей транспортной сети. Установлены отношения между системным оптимумом Вардропа, равновесием по Нэшу и конкурентным равновесием Вардропа для указанного класса сетевых игр. Создана поведенческая модель распределения транспортных потоков. Полученные результаты позволяют устанавливать граничные состояния транспортных потоков в загруженных дорожных сетях.

5. Сформулирована и решена двойственная задача распределения транспортных потоков в условиях параллельной декомпозиции транспортной сети, позволяющая находить равновесное время движения потоков между парами районов отправления-прибытия. Решение задачи распределения потоков относительно равновесного времени движения позволяет эффективно использовать информацию on-line сервисов мониторинга трафика при решении двухуровневой оптимизационной задачи оценки матриц корреспонденций.

Научная новизна диссертации определяется новыми разработанными и обоснованными автором оптимизационными моделями и методами в области равновесного распределения потоков в транспортных сетях, в частности, перечисленными выше основными результатами.

Результаты исследований получены А.Ю. Крылатовым на строгом формализованном уровне с использованием современных математических подходов. Основные утверждения сформулированы в виде теорем, доказательства которых позволяют говорить о высокой степени **обоснованности** разработанных методов и алгоритмов, а также научных положений и общих выводов работы.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что автором разработаны методы и вычислительные алгоритмы, которые могут быть непосредственно использованы в прикладных задачах управления потоками в сетях, в частности – в транспортных сетях. В каждой главе диссертации приведены примеры, демонстрирующие эффективность предложенных методов. Многие разработанные автором подходы после соответствующей адаптации могут применяться к различным типам сетей. В целом полученные в работе результаты имеют несомненную практическую направленность и служат повышению эффективности функционирования транспортных сетей.

Достоверность результатов работы определяется строгостью математических доказательств, сформулированных в работе утверждений, апробацией основных положений диссертации на международных и всероссийских конференциях, использованием разработанных подходов в реальных исследованиях, выполняемых автором в рамках грантов и контрактов, а также приведенными в работе примерами, согласующимися с аналитическими выводами и не противоречащими результатам, полученным другими авторами.

По материалам диссертации имеются следующие **замечания**.

1. В работе предполагается, что время движения по дуге транспортной сети зависит только от потока по данной дуге. Это не всегда так, т.к. поток по дуге зависит также от загруженности конечной вершины дуги.
2. При формулировке математических постановок в разных разделах повторяются обозначения, целые предложения и даже абзацы. Из-за этого, в частности, большой объем диссертации.
3. Основные результаты получены для сетей, состоящих из параллельных маршрутов. Это, конечно, существенное упрощение реальных транспортных сетей.
4. На стр. 55 впервые без расшифровки встречается «BPR-функция задержки»

5. Некоторые фамилии написаны на русском. Было бы не лишним указать, например, в скобках, их написание в оригинале. Например, Розенталь на 59 стр.
6. Многие теоремы справедливы при гладких функциях задержки на дугах. На самом деле эти функции не обязательно гладкие и, более того, задержка по дуге зависит от состояния всей сети.
7. «NP-сложна» лучше заменить на «NP-трудная»
8. Нужна ли глава 8 о передаче э/э. Она мне кажется излишней, т.к. возникают некоторые вопросы. На практике характеристики электро-энергетических сетей часто находятся с помощью имитационных моделей – стендов. Почему подход автора диссертации лучше? Во многих сетях, в частности электро-энергетических, используются законы Кирхгофа. В 8 же главе об этом ничего не сказано.

Приведённые замечания не умаляют общего впечатления о диссертационной работе А.Ю. Крылатова. Диссертация является законченным научным исследованием, выполненным на высоком математическом уровне, и несомненно представляет теоретический и практический интерес. Полученные автором результаты, выводы и рекомендации являются новыми, достоверными и обоснованными. Работоспособность и эффективность разработанных методов и алгоритмов подтверждается приведенными в диссертации содержательными примерами. Совокупность полученных автором результатов можно квалифицировать как значимое научное достижение в области моделирования и оптимизации транспортных потоков и сетей.

Диссертация Крылатова Александра Юрьевича на тему: «Оптимизационные модели и методы равновесного распределения потоков в транспортных сетях» соответствует требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Крылатов Александр Юрьевич заслуживает присуждения ему 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,

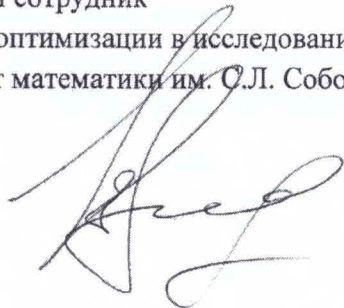
Главный научный сотрудник

Лаб. дискретной оптимизации в исследовании операций

ФГБУН Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

Ерзин А.И.

30 мая 2018




Подпись *А.И. Ерзина*
 удостоверяю
 Зав. орготделом Н.З. Киндалева
 ИМ СО РАН
 30.05.2018 г.