

ОТЗЫВ

председателя 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)

Многие важные с точки зрения практики социально-экономические процессы можно представлять в виде моделей распределения ресурсов среди возможных альтернатив с заданными ограничениями. При этом в качестве предельных состояний, которых должны достигать рассматриваемые процессы согласно принятым предположениям и допущениям, зачастую выступают определенным образом заданные ситуации равновесия. В связи с этим, получаемые так задачи называют задачами равновесного распределения ресурсов. Настоящая диссертационная работа посвящена одной из крайне актуальных на сегодняшний день задач равновесного распределения ресурсов – а именно, задаче равновесного распределения потоков в сетях. В качестве возможных альтернатив в данном случае выступают маршруты движения между заданными парами районов отправления-прибытия.

Загруженные улично-дорожные сети представляют собой конкурентные среды, где водители личных автомобилей стремятся минимизировать собственное время движения. С учетом растущей автомобилизации спрос на перемещение только возрастает, а возможности на увеличение пропускных способностей дорог внутри городов только сокращаются. Таким образом **актуальность** и практическая значимость исследований в области управления и оптимизации транспортных потоков не вызывает сомнений. Более того, крайне важным с исследовательской точки зрения является оценка маршрутов движения, равновесно распределенных транспортных средств. Действительно, применение комплексного подхода при планировании работ по реорганизации сети требует знания востребованных маршрутов движения, а не информации о трафике на отдельных дугах сети, пригодной только в рамках локальных преобразований.

В настоящее время растет понимание сложности анализа реальных транспортных сетей в сравнении с сетями энергетическими или телекоммуникационными. Масштаб улично-дорожных сетей крупных городов мира, выражаемый в количестве узлов и дуг соответствующего графа, зачастую превышает масштаб любого крупного регионального телекоммуникационного хаба, не говоря уже о хабах энергетических. При этом по своей структуре транспортные сети являются гораздо более запутанными, чем прочие встречающиеся на практике сети. Так, в электрических сетях определяющую роль играют значения нагрузок на дугах, в телекоммуникационных сетях речь идет о маршрутах распределения пакетов данных, в то время как в транспортных сетях важным содержательным и прикладным значением обладают как потоки по дугам, так и потоки по маршрутам.

Важнейшая особенность транспортных сетей заключается в невозможности директивного влияния на пользователей сети. Каждый участник движения стремится доехать максимально быстро, что – в условиях ограниченных инфраструктурных мощностей – в пиковые нагрузки на сеть приводит к распределениям потоков далеких от оптимального с точки зрения функционирования сети в целом. Оказывать влияние на распределение транспортных потоков можно только посредством введения специализированных транзитных сетей, ограничивающих движение части потока (например, платные участки дорог). Таким образом, управление транспортными потоками возможно опосредовано, путем воздействия на топологию сети. Безусловно, любые подобные изменения требуют применения соответствующих моделей, методов и программных комплексов, способных обрабатывать большие данные, отражающие процессы в улично-дорожных сетях.

В диссертационной работе получен целый ряд новых и важных результатов с точки зрения решения возникающих в описанной выше области задач. Задачу распределения потоков по маршрутам и дугам транспортной сети удалось свести к задачам поиска неподвижной точки с полученными в явном виде операторами. Найдены условия граничных переходов между состоянием конкурентного равновесия Вардропа, равновесия по Нэшу группового поведения на сети и системным оптимумом Вардропа, отражающим оптимальное распределение потоков в сети с минимальным средним временем движения. Представлена новая модель распределения потоков с разными утилитарными целями, которые преследуют участники движения при выборе маршрута. Модель также может

быть применена при исследовании вопросов мультимодальности потоков в реальных транспортных сетях.

Разработаны новые проекционные методы распределения транспортных потоков по маршрутам и дугам транспортной сети. Квадратичная сходимость полученных проекционных методов доказана в приведенных в работе теоремах. Эффективность имплементации данных методов повышается благодаря предложенной в диссертации процедуре сведения задачи равновесного распределения потоков по маршрутам транспортной сети, формируемой в виде задачи условной оптимизации, к системе уравнений относительно переменных потоков по маршрутам. Разработаны специальные методы параллельной декомпозиции транспортной сети для поиска равновесного распределения транспортных потоков по маршрутам сети.

Исследованы вопросы оптимизации пропускной способности улично-дорожной сети, сделаны методологически содержательные практические выводы. Разработана методология построения оптимальных транзитных транспортных сетей, ориентированных на обеспечение заданной части транспортного потока особыми условиями движения между районами отправления-прибытия. Полученные результаты позволяют влиять на общее распределение транспортных потоков в сети посредством реализации определенных топологических изменений. Важно, что результаты получены в терминах распределения потоков по маршрутам сети. Данное обстоятельство подчеркивает важность исследования транспортных потоков именно на маршрутах с точки зрения комплексного подхода к высоко затратным работам по поддержанию функционирования и/или реорганизации улично-дорожных сетей.

Практическая значимость работы подтверждается многочисленными практически значимыми проблемами, которым посвящена немалая часть работы. Исследуются проблемы оптимизации режимов работы светофоров, оценки матриц корреспонденций, минимизации уровня выбросов загрязняющих веществ потоками автомобильного транспорта, задача динамической маршрутизации в загруженной транспортной сети и, более того, рассмотрены проблемы работы умных сетей электроснабжения. Востребованность результатов также подтверждается реализацией под руководством соискателя проектов по оптимизации реальных маршрутных сетей.

Полученные в работе результаты являются новыми и указывают на **научную новизну и теоретическую значимость** диссертационного

исследования. Следует особо отметить следующее: разработаны новые проекционные методы распределения потоков в сетях, доказаны теоремы квадратичной сходимости; формализован новый класс сетевых игр, устанавливающий связь между индивидуальной и групповой конкуренцией на сети; разработана новая методология декомпозиции сети; сформулирована и решена задача распределения потоков в сети со специализированной транзитной подсетью. О **достоверности** полученных результатов позволяют судить строгие доказательства всех сформулированных математических утверждений. Более того, проведены численные исследования представленных методов и вычислительных алгоритмов.

Стоит, однако, обратить внимание на некоторые **замечания** к диссертационной работе:

1. При постановке и описании задач распределения потоков согласно принципам Вардропа следовало показать их формальную связь с задачей о потоке минимальной стоимости.
2. Задача конкурентной маршрутизации потоков впервые была сформулирована применительно к телекоммуникационным сетям, к сожалению, сравнительный анализ особенностей задачи на разных видах сетей не нашел отражения в работе.
3. Термин «транзитные сети», прежде всего, используется для обозначения маршрутных сетей общественного транспорта. Разработанные автором модели расширяют применимость данного термина, что стоило бы явно прописать в работе.
4. В научных работах понятие «умная сеть электроснабжения» используется в разных исследовательских аспектах. Следовало четче указать на имеющиеся здесь различия.
5. В работе имеются опечатки и некоторое количество пунктуационных ошибок.

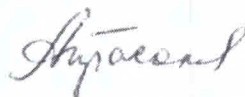
Тем не менее, сделанные замечания не снижают научной и практической ценности представленной работы. Совокупность полученных результатов можно классифицировать как научное достижение, в связи с чем, диссертационной работе Крылатова Александра Юрьевича, представляющей собой завершённое научное исследование, можно заслуженно дать высокую положительную оценку. Считаю, что тематика работы, используемые методы исследования, равно как и полученные результаты полностью соответствуют заявленной специальности.

Помимо прочего, Крылатов А.Ю. принимает активное участие в научных мероприятиях различного уровня, регулярно представляет результаты своей работы на всероссийских и международных конференциях, является членом международного общества кооперативных сетей (SOCOLNET). За время работы над заявленной темой соискателем было опубликовано 29 научных статей, содержащих результаты его исследовательской деятельности.

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).

Председатель диссертационного совета

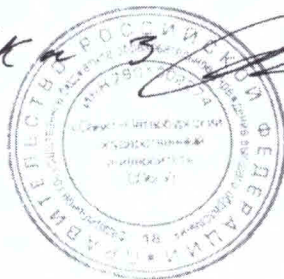
Доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры моделирования экономических систем
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет»



Прасолов А.В.

26.06.2018

Юрием режиссера Прасолова А.В. заверено.
Взг. спис. Ок



С.З. Кудряшова
26.06.2018