

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета
на диссертацию Цыганова Никиты Игоревича на тему
«Оптимизация древовидных транспортных систем энергетических рынков»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Актуальность темы исследования. Область математического моделирования рынка энергоресурсов привлекает внимание исследователей многие годы. С развитием отрасли появляются новые модели, учитывающие особенности взаимодействия потребителей и производителей энергии. Оригинальные модели разрабатываются для оценки возможности перехода на новые возобновляемые экологические источники энергии. Для нашей страны также актуально моделирование, посвященное экономическим аспектам работы атомных электростанций. В данной работе делается упор на моделирование транспортных линий доставки энергии потребителям и соединяющих производителей, планированию транспортных систем для энергетического сектора экономики. Стоит отметить, что автор опирается на критерий общественного благосостояния, которое определяется суммарным выигрышем всех агентов сети, включая производителей энергии, её потребителей и владельцев транспорта. Такой подход может применяться на государственном уровне при моделировании новых транспортных систем для энергетического сектора РФ.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, 2 глав, заключения и приложения. Она написана на 157 страницах в русскоязычной версии. Список литературы содержит 88 наименований. Во **введении** автор подробно описывает предметную область, цели и задачи исследования, полученные им результаты и формулирует основные научные результаты, выносимые на защиту. В **первой главе**, которая написана на 67 страницах, приведены основные теоретические результаты работы. Она посвящена моделированию рынка энергоресурсов, который представлен графом, в котором узлы – производители энергии, а элементы транспортной системы – элементы графа древовидной структуры. В данной главе приводится математическая постановка задачи оптимизации, а именно, максимизации общественного благосостояния. Задача сводится к задаче поиска оптимального множества расширяемых линий и доказывается, что это задача NP-трудная. Формулируется вспомогательная задача для решения основной, приводится её решение. В первой главе также рассматриваются частные случаи конфигураций транспортных систем типа цепочка, звезда, звезда-цепочка. **Вторая глава** посвящена практической реализации представленных в первой главе моделей и алгоритмов. Автор предлагает модель российского рынка природного газа, ставит

задачу построения нового газопровода. При моделировании решается задача прогнозирования спроса на природный газ в негазифицированной области РФ. Разработанные модели и алгоритмы применяются на примере Иркутской области и учитывается возможность подключения ТЭЦ и котельных региона к магистральному газопроводу «Сила Сибири», в качестве критерия оптимальности выступает общественное благосостояние. При моделировании использовались реальные данные из официальных источников государственных служб РФ. В конце каждой главы формулируются выводы о полученных результатах и в конце работы дается общее заключение по диссертации. В приложении приведены вспомогательные таблицы и таблицы с результатами, полученными во второй главе.

Научная новизна. В диссертационной работе дана оригинальная постановка задачи оптимизации транспортной системы энергетического рынка при имеющихся ограничениях. Особенностью работы является то, что транспортная система имеет древовидную структуру, что, в целом, оправдано тем, что энергоресурсы доставляются из узлов-производителей потребителям последовательно, в зависимости от удаленности объектов от поставщиков. Автором доказана NP-трудность решаемой задачи, разработан алгоритм решения вспомогательной задачи, оценена его сложность для кусочно-линейных функций, разработаны алгоритмы решения исходной задачи при выполнении некоторых условий для транспортных систем, имеющих конфигурацию типа звезда, цепочка, звезда-цепочка. Новизной обладают предложенные автором методики оценки параметров для практического применения моделей. Все вычисления, проделанные для решения задач, подробно описаны, что может быть использовано для решения подобных задач с помощью методов, предложенных в работе.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическую значимость работы составляют разработанные автором оригинальные математические модели, направленные на решение задач оптимизации транспортной системы энергетического рынка при заданных ограничениях, алгоритмы решения поставленных задач, доказательство NP-трудности рассматриваемой задачи оптимизации. Практическую значимость работы составляют методология решения задачи построения газопровода. Автором разработана методика оценивания параметров модели, что немаловажно для практической ее реализации. В работе предложен способ задания функций транспортных и производственных затрат и нахождения оценок параметров для газовых месторождений. Анализ проведен на примере Иркутской области. Для этого региона РФ получена оценка перспектив газификации в соответствии с выбранным критерием максимизации общественного благосостояния для различных сценариев учета экологической составляющей. Все расчеты приведены в работе и могут быть использованы для различных энергетических рынков. В результате изображены полученные карты новой системы газопровода, отмечены транспортные участки, которые необходимо построить.

Степень обоснованности научных положений. Достоверность полученных теоретических результатов обусловлена строгостью доказательств сформулированных математических результатов. Результаты работы Цыганова Н.И. были доложены на многих российских и международных конференциях и научных семинарах в период с 2017 по 2024 гг. Основные результаты диссертации опубликованы в десяти печатных работах, включая три статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Замечания к диссертационной работе. Работа произвела положительное впечатление, она написана хорошим математическим языком, подробно описаны полученные результаты. Понравилась вторая глава своим комплексным подходом к решению практической задачи и тем, что решение доведено до конца и алгоритм его нахождения хорошо описан. К работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В математической формулировке задачи оптимизации (1.5) было бы правильно указать множество допустимых значений для q и v .
2. Не совсем понятно, почему автор на стр. 23 говорит о том, что «все игроки стремятся максимизировать свой выигрыш», когда на самом деле решается задача максимизации суммарного выигрыша игроков. Из дальнейшего повествования стало понятно, что говорится о перераспределении доходов между игроками, когда они выбирают стратегии, решающие задачу (1.5). Проблема перераспределения доходов строго не формулируется в работе, что можно отнести к небольшим недоработкам. Для решения этой задачи может быть использован аппарат кооперативной теории игр.
3. В работе не исследуется вопрос существования и единственности решения изначально сформулированной оптимизационной задачи. Кажется, что единственность обеспечить сложно, но интересно, исследовались ли эти вопросы в рамках данной работы? В случае неединственности решения, можно ли сформулировать критерий выбора конкретного решения из множества?
4. Непонятно, в чем результат теоремы 18 на стр. 117 и как она доказывается.

Указанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от данной работы. Хочу отметить, что преимуществом диссертации является её сильная прикладная сторона. Аккуратно проделанная практическая часть, описывающая модель и алгоритм построения новой транспортной системы на основе реальных данных, может служить образцом моделирования новых транспортных систем в РФ. Работа содержит интересные постановки в области моделирования энергетических рынков. Автор диссертационного исследования предлагает обоснованные с теоретической и практической точки зрения методы решения поставленных задач, все результаты аккуратно описаны и доказаны автором в работе. Цыганов Н.И. имеет достаточное число публикаций по теме исследования. Результаты работы были

доложены на многих российских и международных научных конференциях и семинарах научных центров РФ. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Заключение. Диссертация Цыганова Никиты Игоревича на тему: «Оптимизация древовидных транспортных систем энергетических рынков» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 №11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Цыганов Никита Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, доцент,
профессор Кафедры математической теории игр
и статистических решений,
Санкт-Петербургский государственный университет



Е.М. Парилина
25.02.2025