

## **АННОТАЦИЯ**

**диссертационной работы Ахмедияровой А.Т. «Математическое моделирование транспортных систем мегаполиса с применением теории S-гиперсетей», представленной на соискание степени доктора философии PhD по специальности 6D070300 Информационные системы**

**Актуальность темы исследования.** Одним из основных условий существования и функционирования крупного города является эффективная работа транспортной системы, которая предназначена обеспечить своевременную доставку людей и товаро-потоков в любую точку города. Для современных городов характерны такие необратимые тенденции, как увеличение численности населения и повышение уровня его автомобилизации. При этом динамика роста суммарной протяженности автодорог существенно отстает от динамики роста автопарка.

Одним из задач Государственной программы РК инфраструктурного развития «Нұрлы жол» является формирование современной транспортной инфраструктуры Казахстана, а также обеспечение ее интеграции в международную транспортную систему. По определению Главы государства Нурсултана Назарбаева, "транспортная инфраструктура – это кровеносная система нашей индустриальной экономики и общества".

Казахстан является безусловным лидером Центральной Азии по уровню автомобилизации. В начале XXI века в нашей стране был миллион легковых машин, а сейчас это число увеличилось в четыре раза. А ведь количество автомобилей, с точки зрения экономистов, напрямую связано с уровнем благосостояния людей. По состоянию на 1 января 2018 года в Республике Казахстан количество зарегистрированных легковых автомобилей составило 3851,6 тыс. единиц (stat.gov.kz). Темпы роста количества автомобилей опережают темпы роста населения. Сейчас в Казахстане на 100 человек населения приходится 21,4 автомобиля (для сравнения: на 100 граждан Узбекистана - всего 6,7 легковых машин). По этому показателю Казахстан находится между Бразилией и Оманом. А мировыми лидерами являются Монако и США, где у каждого гражданина есть автомобиль.

По данным Техасского института транспорта загруженность транспортных магистралей приближается к пиковому докризисному уровню. По оценкам исследователей, в 2017 году жители США проведут в дорожных пробках 5,5 млрд часов, при этом временные затраты и оплата лишнего топлива обойдутся им в 121 млрд долларов (0,85% ВВП страны). Каждый американский водитель из-за автомобильных заторов в среднем тратит 38 часов личного времени и 86 литров бензина в год, что обходится ему в 818 долларов. В эту сумму не входят затраты на излишнюю амортизацию автомобилей, а также вред для здоровья (физического и психического) и экологический ущерб, которые выразить в денежном эквиваленте весьма непросто.

В городе Алматы зарегистрировано 467 тысяч единиц транспорта, кроме того, 300 тысяч зарегистрированных авто в Алматинской области перемещаются по городу. Ежедневно в Алматы передвигаются порядка

700 тыс. автомобилей со средней скоростью в час пик 19 км в час. К примеру, в сопоставимых с Алматы городах по населению и другим параметрам Будапеште и Варшаве в час пик автомобили передвигаются по городу в 1,5 раза быстрее. Согласно экспертным оценкам, ежедневные потери экономики Алматы от пробок составляет более 600 млн тенге.

Официально в Алматы проживает 1801713 человек (на 1 января 2018 года). Две трети из них ежедневно совершают поездки на работу, учебу и обратно – на автобусах, на своих машинах, на такси. Все вместе мы теряем уже 90 миллиардов тенге. Или больше полумиллиарда долларов..

По данным акимата Алматы, качество атмосферного воздуха города Алматы остаётся недопустимо низким. Индекс загрязнения воздуха на протяжении многих лет стабильно превышает 10 единиц, что соответствует критерию относительно напряжённой ситуации. Смог покрывает большую часть города, и 90% этого смога вносит именно транспорт.

Ежегодно автопарк Алматы увеличивается в среднем на 40–60 тысяч автомобилей. Через 3–4 года водителям придется проводить в пробках не 1, а 2–3 часа в сутки.

Изучению и моделирование современного мегаполиса представляет весьма актуальную проблему. Несколько академических журналов посвящены исключительно динамике автомобильного движения – это Transportation Research, Transportation Science, Mathematical Computer Simulation, Operation Research, Automatica, Physical Review E, Physical Reports и др.

Вопросам разработки и исследования эффективности различных методов управления транспортными потоками (ТП) посвящены работы Д. Дрю, Т. Хамада, В. Сильянова, Ф. Хейта, В.А.Черепанова, М.С. Фишельсона, В.В.Зырянова, Г. И. Клинковштейна, И.Н.Пугачев, В.Т.Капитанова, М.П.Печерского, М.В.Яшиной, Л.С.Абрамова и др.

Результаты многочисленных исследований (Сильянов В.В., Дрю Д., Лобанов Е.М., Фишельсон М.С., Черепанов В.А., Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б., Трибунский В.М., Буслаев А.П., Приходько В.М., Таташев А.Г., Новиков А.В., Яшина М.В., В.В.Яворский, А.Н.Хамитов и др.) показали, что для решения задач оптимального управления транспортной инфраструктурой решающее значение приобретают исследования в области системных связей.

Многофакторность транспортной инфраструктуры, как объекта системного анализа, является определяющей характеристикой ее сложности. Решение проблемы функциональной, институциональной и информационной интеграции гетерогенных подсистем интеллектуальной транспортной системы сдерживается из-за дефицита методов и инструментов построения адекватных моделей и решения на их основе задач управления транспортной инфраструктурой.

Математические модели связности, модели и методы структурирования сложных систем, некоторые аспекты теории S-гиперсетей и моделирование городских транспортных систем гиперсетями рассмотрены в работах В.К.Попкова.

Компания ТОО «Галамдык Технологиялар» образованная на территории Республики Казахстан 15 ноября 2002 года, представляет собой пример успешной, стабильно развивающейся отечественной компании, ведущей собственные разработки в области ИТ, анализ в сфере информационных систем, обслуживания и внедрения новых высокотехнологичных продуктов. Программный продукт компании «Автоматизированная система контроля транспортных потоков» предназначен:

- для формирования в автоматизированном режиме базы данных по учету транспортных средств, проезжающих через дорожные посты;
- для управления в автоматизированном режиме дорожными постами;
- для формирования отчетности и анализа данных, касающихся транспортных средств, пересекающих дорожные посты.

Одним из инструментов обработки информации может служить методологическое и инструментальное оснащение объектно-ориентированного анализа и проектирования (ООП) транспортных систем на основе паттернов. ООП обеспечивает вариабельность процесса обработки информации и органичную поддержку автоматизированных эволюционных технологий исследований на моделях с коррекцией и пополнением знаний об объекте исследования за счет новых данных, получаемых в процессе эксперимента. Новые возможности открываются благодаря современным технологиям обработки информации, использующим теории S-гиперсетей.

Таким образом, математическое моделирование транспортных систем города с применением теории S-гиперсетей является востребованной и актуальной научной задачей.

**Цель исследования.** Целью работы является математическое моделирование транспортных систем города с применением теории S-гиперсетей.

Основным результатом исследования является возможность оптимального управления транспортными потоками города на основе разработки комплексных решений с использованием кибер-физических систем мониторинга, моделирования, прогнозирования и оптимизации с применением теории S-гиперсети.

**Задачи исследования:**

Для достижения цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Анализ структурных особенностей транспортной сети мегаполиса с целью совершенствования моделей и алгоритмов для эффективного управления транспортным потоком в сети.
2. Разработать методику планирования транспортного потока и маршрутов, адаптированных на существующие инфраструктуры транспортной развязки и перекресток на основе теории S-гиперсетей.
3. Разработать предметно-ориентированную среду анализа, моделирования и поддержки принятия решений для эффективной организации дорожного движения.
4. Провести вычислительный эксперимент и имитационное моделирование на основе обработки разнородных информационных потоков и

разработать методику эффективного управления транспортным потоком через транспортные сети мегаполиса.

**Объект исследования.** Объектом исследования в диссертационной работе являются системы управления транспортной инфраструктурой города, включающей улично-дорожную сеть, технические средства организации дорожного движения и транспортные потоки.

**Предмет и методы исследования.** В качестве методологической основы работы использовались методы системного анализа, управления транспортными потоками, теории графов, теории S-гиперсетей.

### **Научная новизна**

1 Разработан унифицированный подход к моделированию и управлению движением транспорта на основе современной теории S-гиперсетей и усовершенствованного метода Попкова В.К., обеспечивающий комплексное решение вопросов структурно-функциональной организации транспортной инфраструктуры с учетом разнородности ее компонентов.

2 Разработаны алгоритм и программа, минимизирующие количество точек размещения видеокамер на заданной территории при условии полного её прослеживания.

3 Предложен подход с использованием разгонных светофоров, увеличивающий пропускную способность перекрестков, эффективность которого доказана имитационным моделированием, основанном на нечеткой логике.

### **Положения, выносимые на защиту**

Предложенные математические и информационные модели и алгоритмы управления уличным движением через перекрестные участки транспортной сети на основе S-гиперсетей позволяют повысить транспортные потоки и эффективность загрузки транспортных сетей в крупных городах.

### **Научные результаты в рамках требований к диссертациям**

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, определены объекты и предметы исследования, сформулирована цель диссертации; перечислены задачи, которые ставятся и решаются в работе для достижения поставленной цели, раскрыта практическая ценность работы и элементы её новизны.

В первом разделе проведен анализ инфраструктуры мегаполиса, ее математическое моделирование в виде S-гиперсети для основных видов транспорта. Выявлено и показано, что теория S-гиперсетей применима для анализа и синтеза многих систем сетевой структуры, в том числе для задач анализа межсетевых структурных взаимодействий сложных систем различной природы. Дана математическая формулировка маршрутов и метрик в S-гиперсетях, позволяющая вычислить отдаленность и расстояния с помощью известных методов на специально построенных графах, орграфах, гиперграфах и ультраграфах.

Во втором разделе рассмотрено моделирование перекрестка и блока перекрестков с использованием нечеткой логики в управлении светофором. Рассмотрены способы управления транспортными потоками на светофорных

объектах с помощью разгонных светофоров. На основе проведенного анализа выявлены положительные особенности применения разгонных светофоров. Построена математическая модель для каждого типа развязок. Предложен алгоритм построения оптимальной транспортной развязки, при котором существенно уменьшается время прохождения данного узла автотранспортом, и снижаются затраты.

В третьем разделе разработана концепция имитационной модели транспортных потоков и управляющих транспортных систем. В рамках имитационной модели проведено моделирование потоков на участке дорожно-транспортной сети и выявлено, в целом, положительное влияние внедрения одностороннего движения. Приведены примеры расчета пропускной способности участка дорожно-транспортной сети. Разработан алгоритм устранения пробок путем изменения режимов работы светофоров устранившие дополнительные пробки на боковых, к этому маршруту, дорогах. Разработан алгоритм маршрутизации и составлена таблица маршрутизации и сформулирован принцип оптимальности. Математическая задача маршрутизации сводится к нахождению кратчайшего пути в неориентированном графе. Построена математическая модель наиболее полно отражающий реальную электротранспортную сеть и алгоритм нахождения кратчайшего пути между двумя станциями в заданный момент времени.

В заключении отражены основные результаты диссертационной работы и информация о практическом применении результатов исследования.

#### **Апробация результатов исследования**

Основные положения и результаты исследования докладывались на: Восьмой международной азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем», (г.Омск, 2012); II Международной научно-практической конференции «Информационно-инновационные технологии, интеграция науки, образование и бизнеса», посвященной 20-летию Независимости Республики Казахстан (КазНТУ, 2012); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики» (Новосибирск, 2014); V Международная научно-практическая конференция «Инновационная наука и современное общество» (г.Уфа, 2015), XXVII международная научно-практическая конференция «Естественные и математические науки в современном мире» (г.Новосибирск, 2015), II Международной научно-практической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика» (Алматы, КазНТУ имени К.Сатпаева, 3-4 декабря, 2015), «International Conference on Information Science and Management Engineering» (Пхукет, Таиланд, 20-21 декабря, 2015), Международной научно-практической конференции «Казахстанский путь – 2050: единая цель, единые интересы, единое будущее» (г. Алматы, Каспийский университет, 17-18 марта 2016)

Диссертация выполнена в лаборатории математической кибернетики и вычислительных технологий Института информационных и вычислительных технологий КН МОН РК.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 30 работ, из которых 8 опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 1 статья опубликована в издании, входящем в базу данных Scopus, 1 статья опубликована журнале, входящем в базу Thomson Reuters, 15 статей опубликованы в сборниках международных научно-практических конференциях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников и приложений, содержит 114 страниц основного текста. Список использованных источников содержит 76 наименований источников.