

На правах рукописи



ТРЕГУБОВ ПАВЕЛ ГЕННАДЬЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ  
СИСТЕМОЙ УСКОРЕННЫХ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК  
ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУЗОПОТОКОВ  
НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СЕТЕЙ**

Специальность 05.22.01 – «Транспортные и транспортно-технологические  
системы страны, ее регионов и городов,  
организация производства на транспорте»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



005570749

Москва – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» на кафедре «Менеджмент».

**Научный руководитель:** член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВПО МАДИ, г. Москва  
**Приходько Вячеслав Михайлович**

**Официальные оппоненты:** **Резер Семен Монсеевич,**  
Заслуженный деятель науки и техники РФ, почетный работник транспорта России, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом транспорта ВИНТИ РАН, г. Москва

**Исмаилов Андрей Рашидович,**  
кандидат технических наук, руководитель службы развития систем планирования и мониторинга ООО «Интеллектуальные телематические системы для транспорта»,  
г. Москва

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

Защита состоится «02» июля 2015 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.126.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» по адресу: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, аудитория 42.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)».

Автореферат разослан «28» апреля 2015 года.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенные печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета.

Телефон для справок (499) 155-93-24

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Ефименко Д.Б.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Сегодня в России, как и во всем мире, наблюдается высокий спрос на межрегиональные, международные и транзитные грузовые транспортные услуги, объемы которых постоянно растут. Потребителями этих услуг являются как физические лица, отправляющие и получающие единичные товары, так и компании, работающие с партиями товаров. Высокий и постоянно растущий спрос на транспортные услуги связан с международным разделением труда и, как следствие, бурным развитием транснациональных промышленных корпораций, торговли и грузовых перевозок по всему миру, в том числе и в России.

В связи с доступностью интернет ресурсов все более актуальным является быстрое и качественное выполнение пожеланий заказчика и потребителя по доставке товара. Для этого экономически целесообразным и наиболее эффективным инструментом доставки груза является интегрированная логистика его доставки при транспортировке несколькими видами транспорта, т. е. по системе мультимодальных грузовых перевозок на большие расстояния с использованием авиационных транспортных средств, включая пассажирские авиалайнеры, по модели «авто-авиа».

Компании-производители стремятся сократить свои издержки на складирование сырья, переходят на технологию Just in Time. Поэтому возникает необходимость постоянного совершенствования существующей системы мультимодальных перевозок, сокращая сроки обработки и консолидации грузов, доставки грузов, снижая издержки и обеспечивая режим доставки и сохранность грузов.

**Цель исследования** – повышение эффективности управления ускоренными мультимодальными перевозками за счет разработки и использования методов и моделей анализа и синтеза грузопотоков на основе теории управляемых сетей.

Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ состояния и перспектив развития мультимодальных перевозок в России с использованием автомобильных и авиационных транспортных средств. Обобщенно классифицированы экономико-математические модели, используемые при моделировании мультимодальных перевозок, в целях оптимизации их применения.

2. Выполнен статистический анализ объемов грузопотока в трех

международных пунктах пропуска по данным Ассоциации АСМАП с использованием OLAP-технологии для получения структурированных данных распределения грузопотока в транспортно-распределительной сети доставки грузов. На их основе разработаны:

- математическая модель управления распределением грузопотоков в транспортно-распределительной сети доставки грузов на базе теории управляемых сетей;

- математическая модель прогнозирования грузопотоков, которая позволяет определить возможный входящий поток грузов и оптимизировать модель управления грузопотоками для доставки грузов потребителю.

3. Разработана математическая модель оптимального заполнения транспортного средства в зависимости от условий доставки, основанная на взаимосвязи случайного входящего потока грузов, оптимальной загрузки транспортных средств и времени доставки.

4. Разработаны имитационные математические модели оптимизации логистических процессов обработки и доставки грузов на основе пятиуровневой логистической системы интеграции процессов обработки, консолидации и доставки грузов в мультимодальных перевозках.

5. Проведено исследование функционирования разработанных математических моделей на транспортно-логистических предприятиях в системе мультимодальных перевозок в целях определения величины сокращения времени обработки грузов на терминалах, сокращения времени загрузки транспортных средств и времени перевозки, а также разработана имитационная модель транспортировки грузов автомобильным транспортом и алгоритм ее оптимального диспетчирования.

**Объект исследования** – транспортно-распределительная сеть доставки грузов в системе ускоренных мультимодальных перевозок.

**Предмет исследования** – технология управления доставкой грузов в системе ускоренных мультимодальных перевозок.

**Научная новизна исследования** заключается в разработке моделей управления транспортно-распределительной сетью логистической компании для оптимизации ее деятельности в условиях неопределенности грузопотоков.

**Практическая значимость результатов исследования.** Результаты работы состоят из ряда разработанных математических моделей (алгоритмов) прогнозирования входящих грузопотоков, консолидации и обработки грузов, логистической интеграции процессов и максимального использования транспортных и информационных ресурсов логистической компании. Это

необходимо для принятия управленческого решения об оптимальных вариантах доставки грузов в мультимодальной транспортной системе.

Разработанные модели и методики их применения являются универсальными. Они ориентированы на практическую реализацию в транспортно-логистических и экспедиторских компаниях, работающих в системе внутренних и международных мультимодальных перевозок как больших, так и малых партий многономенклатурных грузов.

Модели позволяют использовать существующую транспортную сеть компании с максимальной эффективностью, то есть с максимально возможной загрузкой имеющихся транспортных средств на маршрутах доставки в порядке их приоритетности.

Разработанные модели могут быть использованы для организации межрегиональных транспортных коридоров транснациональными логистическими компаниями.

**Реализация результатов исследования.** Основные результаты исследования одобрены и используются в деятельности ООО «Внуково-Карго», ООО «Логистикс-Тех», ООО «Фест Логистик-М». Результаты работы получили одобрение и представляют непосредственный интерес для совершенствования системы управления грузовыми перевозками в ряде транспортно-логистических предприятий и экспедиторских компаний г. Москвы. Материалы исследования используются в учебном процессе кафедры «Менеджмент» и кафедры «Автоматизированные системы управления» (АСУ) «Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)» при проведении лабораторных и практических занятий.

#### **Основные полученные результаты, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель управления распределением грузопотоков в транспортно-распределительной сети доставки грузов на базе теории управляемых сетей.

2. Математическая модель прогнозирования грузопотоков, которая позволяет определить возможный входящий поток грузов для оптимизации модели управления распределением грузопотоков в транспортно-распределительной сети ускоренной доставки грузов.

3. Математическая модель оптимального заполнения транспортного средства в зависимости от условий доставки, основанная на взаимосвязи случайного входящего потока грузов, оптимальной загрузки транспортных средств и времени доставки.

4. Имитационные модели оптимизации логистических процессов

обработки и доставки грузов на основе пятиуровневой логистической системы интеграции процессов обработки, консолидации и доставки грузов в международных мультимодальных перевозках.

**Апробация работы.** Содержание отдельных разделов и диссертации в целом было доложено и получило одобрение:

- на Российских и межрегиональных научно-технических конференциях, и семинарах, в том числе на 71-й (2013 г.) и 72-й (2014 г.) научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ.
- на заседаниях кафедр «Менеджмент» и «АСУ» МАДИ (2012-2014 гг.).

**Публикации.** По материалам диссертационного исследования опубликовано 9 научных статей. В изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, опубликовано 3 статьи. В зарубежных изданиях, входящих в перечень SCOPUS, опубликована 1 статья.

**Структура и объем работы.** Последовательность изложения материала диссертации и ее структура определены целью и задачами диссертационного исследования. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, состоящего из 113 наименований отечественных и зарубежных источников, и трех приложений. Текст диссертации изложен на 159 страницах, включает 20 таблиц и 58 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки моделей управления транспортно-распределительной сетью логистического предприятия для доставки грузов в системе ускоренных мультимодальных перевозок, сформулирована цель работы, основные задачи, научная новизна, определена практическая значимость работы, объект и предмет исследования.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ моделей, технологий и методов организации мультимодальных перевозок в России. Рассмотрены вопросы моделирования транспортно-логистических систем.

Проведенный анализ моделей развития транспортно-логистической инфраструктуры и логистических технологий в системе мультимодальных перевозок показал необходимость построения организационной структуры логистической службы компании, которая основана на формальном описании бизнес-процессов, реализуемых в результате производственной деятельности.

Одним из вариантов эффективной организационной структуры транспортно-логистической компании является объектно-ориентированная децентрализованная структура.

Далее в работе выполнена классификация основных математических моделей, используемых в мультимодальных перевозках (рис. 1.).

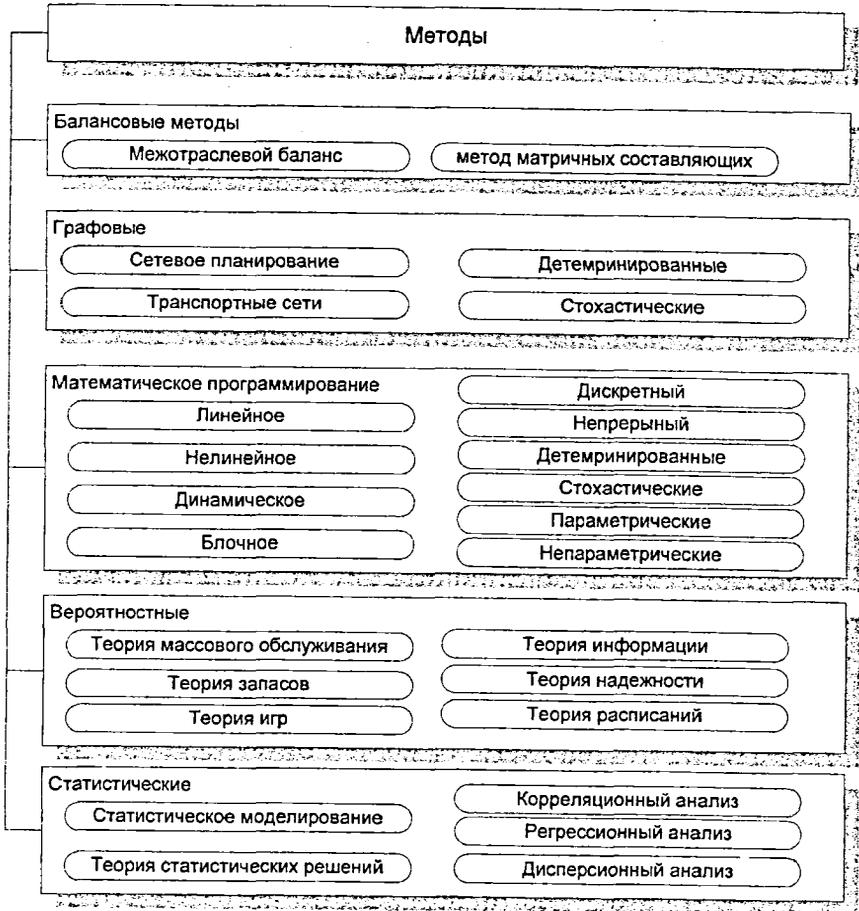


Рисунок 1. Классификация математических моделей

Приведенный спектр методов математического программирования в полном объеме может быть использован в рамках решения задач оптимизации перевозочных процессов. Практически весь набор методов имеет программную поддержку в ряде программных продуктов, которые направлены на разработку моделей и средств систем поддержки принятия решений в

системе мультимодальных перевозок. Анализ методов имитационного моделирования (ИМ) транспортных систем показал, что ИМ представляет собой численный метод и может применяться тогда, когда другие методы использовать невозможно.

Во второй главе на основе теории управляемых сетей и сетей массового обслуживания построен ряд моделей управления грузопотоками, направленных на решение задач оптимизации системы мультимодальных перевозок. Предложенные модели параметризуются статистическими данными по международным перевозкам грузов отечественными автоперевозчиками — членами АСМАП, и авиаузла «Внуково» г. Москва.

Модели управления грузопотоками в диссертации предлагается реализовать через механизмы управляемых сетей (УС) (рис. 2). При этом поток в УС определяет способ пересылки грузов (в общем случае произвольных объектов) из вершины графа (истока) в другую (сток) по его дугам в соответствии с выбранным направлением.

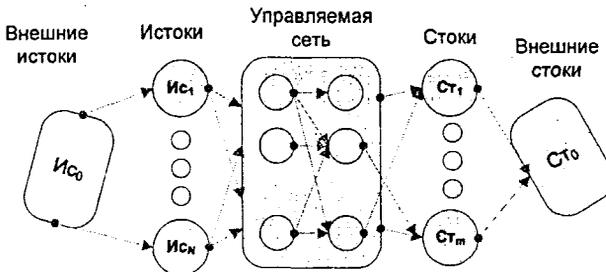


Рисунок 2. Потокосеть

Для описания узлов используются следующие показатели:

$N$  — количество узлов сети поставок;

$P = \{\pi_{ij}\}$ ,  $i, j = 1, \dots, N$  — матрица, значение  $(i, j)$ -го элемента которой равно количеству продукции  $i$ , измеренному в единицах, которое требуется для комплектации единицы продукции  $j$ ;

$T_{j,i}$  — целочисленная переменная, значение которой кратно периоду дискретизации  $\Delta t$ , обозначающая время транспортировки продукции из узла  $j$  в узел  $i$ ;

$LT_i$  — целочисленная переменная, значение которой кратно периоду дискретизации  $\Delta t$ , обозначающая время выполнения заказа в узле  $i$ ;

$Cost_i$  — стоимость единицы продукции  $i$ , измеряемая в у.е.;

$h_i$  — стоимость хранения единицы продукции  $i$  в течение периода времени

$\Delta t$ , измеряемая в у.е.;

$War_i$  — максимально допустимая вместимость склада узла  $i$ , измеряемая в единицах;

$Cap_i$  — максимальная производительность узла  $i$  в течение периода времени  $\Delta t$  и другие.

Предложенная модель позволяет воспроизвести динамику перемещения грузов в нестационарных режимах.

В целом показано, что для различных задач анализа может представлять интерес любая комбинация измерений, а их количество превышает 100<sup>7</sup>. Таким образом, использование OLAP-технологий существенным образом может повысить оперативность получения необходимых результатов анализа грузопотоков.

Для иллюстрации методов анализа, оценки объемов и законов распределений потоков выбрано три пункта на границе с республикой Беларусь (рис. Ошибка! Источник ссылки не найден.). Все они находятся в Смоленской области: Рудня (37), Клюкино (39) и Понятовка (40) (рис. 3.).

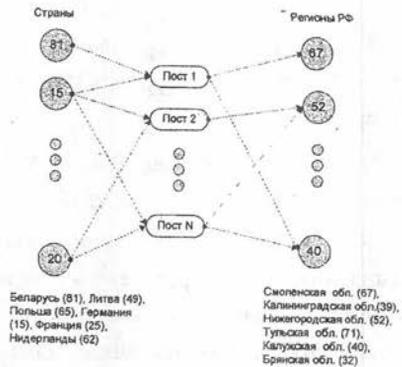
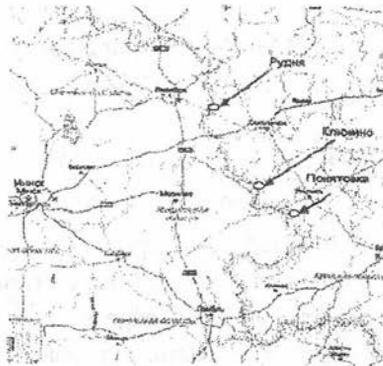
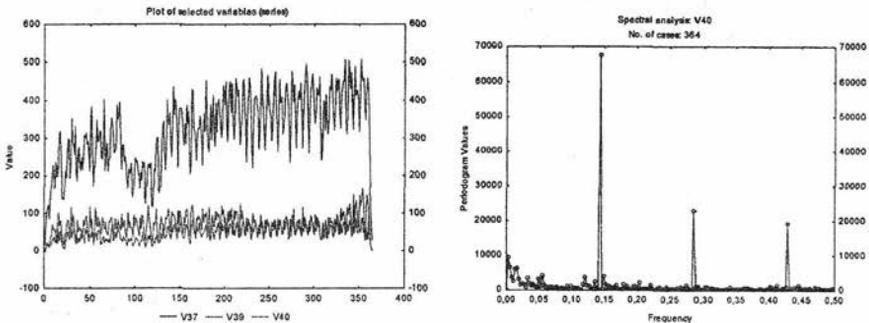


Рисунок 3. Географическая модель грузопотоков

По данным пунктам в диссертации проведен детальный статистический анализ потоков различных грузов (рис. 4.а) из различных стран Европы в различные регионы России. Так, автокорреляционные функции потоков через пункт 37 и 39 имеют достаточно большие значения, что говорит о значительной инерционности потоков. Наоборот, для пункта 40 имеет место очень слабая автокорреляция и кросскорреляция. В целях более адекватной модели прогноза грузопотоков в работе предлагается использовать спектральный анализ. Построенные периодограммы анализируемых рядов грузопотоков дали достаточно интересные результаты (рис. 4.б).

Так, для грузопотока через пункт 39 имеют место три четко выраженные составляющие сезонности. Наибольшее значение амплитуды соответствует периоду 7 дней (ровно неделя). Похожий результат получился и для грузопотока через пункт 37, у которого преобладают две частоты, а именно к 7 дням добавляется еще частота, соответствующая половине недели.



а) исходные временные ряды грузопотоков б) периодограмма грузопотока

Рисунок 4. Модели грузопотоков

В диссертации предполагается, что поток проходит через управляемую сеть и им можно управлять за счет выбора ее конфигураций с помощью вектора управления:

$$\mathbf{u} = [u_1 \dots u_M]^T, \mathbf{u} \in U = U_1 \times U_2 \times U_M, \quad (1)$$

где  $u_i \in U_i = \{0, 1, \dots, u_i^+\}$ ,  $u_i^+ \in \mathbf{Z}_+$ ,  $i = \overline{1, M}$ ,  $\mathbf{Z}_+$  - множество целых чисел.

Каждая дуга базовой сети связана с определенной компонентой вектора управления. При определенных значениях компоненты вектора управления соответствующая дуга может исключаться из базовой сети, определяя тем самым одну из конфигураций. Одна и та же компонента вектора управления может быть связана с несколькими дугами сети.

Структура графа базовой сети задается на основании матрицы смежности базовой сети:

$$\mathbf{A} = [a_{ij}], a_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = \overline{1, L}, \quad (2)$$

где  $L$  - количество узлов базовой сети.

Для описания связи компоненты вектора управления  $\mathbf{u} = [u_1 \dots u_M]^T$  с дугами базовой сети используем матрицу управлений:

$$\mathbf{C} = [c_{ij}], c_{ij} \in \{0, 1, 2, \dots, M\}, i, j = \overline{1, L}, \quad (3)$$

где  $c_{ij}$  - либо номер компоненты вектора управления, которая связана с дугой базовой сети, выходящей из узла  $i$  в узел  $j$ , либо 0, если между узлами  $i$  и  $j$  в

базовой сети отсутствует дуга, поэтому  $c_{ij} = 0$ , если  $a_{ij} = 0$ ,  $i, j = \overline{1, L}$ .

Для описания связи между множеством значений, которые принимает компонента вектора управления, и наличием соответствующей дуги в базовой сети используем матрицу разрешенных фаз:

$$\mathbf{F} = [F_{ij}], F_{ij} \subseteq U_{c_{ij}}, i, j = \overline{1, L}, \quad (4)$$

где  $F_{ij}$  - элемент матрицы  $\mathbf{F}$  разрешенных фаз представляет собой множество значений, которые может принимать компонента  $u_{c_{ij}}$  вектора управления  $\mathbf{u} = [u_1 \dots u_M]^T$ , при которых дуга, выходящая из узла  $i$  в узел  $j$  базовой сети, не исключается из графа базовой сети, поэтому  $F_{ij} = \emptyset$ , если  $a_{ij} = 0$ ,  $i, j = \overline{1, L}$ .

Матрицы  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{C}$  и  $\mathbf{F}$  позволяют формально описать конфигурацию частичной подсети базовой управляемой сети в зависимости от значения вектора управления  $\mathbf{u} = [u_1 \dots u_M]^T$ . Структура графа частичной подсети описывается матрицей смежности конфигурации.

Основным результатом представленной модели управляемой сети является оптимизация потока за заданное число тактов. Новизна модели состоит в том, что она обеспечивает выбор базовой конфигураций сети с возможностью ее динамической корректировки. Полученные результаты могут быть непосредственно адаптированы к решению задач управления грузопотоками в системе мультимодальных перевозок с целью оптимизации выбора типов транспортных средств и схемы маршрутизации для реализации производственных задач компании.

В задаче консолидации грузов одна из задач заключается в преобразовании входных потоков (малого объема) в выходные потоки (грузовой объем транспортного средства) по мере накопления грузов, принадлежащих одному получателю. В настоящее время эффективность грузовых перевозок, в том числе, определяется степенью загрузки транспортных средств. В качестве одного из вариантов моделирования процесса загрузки транспортных средств, в работе предлагается использование пороговых коэффициентов по грузоподъемности  $A_q^k$  и по вместимости  $A_v^k$ :

$$A_q^k = \begin{cases} 0 & \text{при } Z_x < Z_{\min} \\ Z_x / U_r^k & \text{при } Z_x > Z_{\min} \\ 1 & \text{при } Z_x = U_r^k \end{cases} \quad A_v^k = \begin{cases} Z_x / U_r^k & \text{при } Z_x \neq U_r^k \\ 1 & \text{при } Z_x = U_r^k \end{cases}$$

где  $A_q^k$ ,  $A_v^k$  - соответственно коэффициенты адаптации по грузоподъемности и

вместимости,  $Z_x$  – объемная масса грузов с упаковкой ( $\text{т/м}^3$ ),  $U_r^k$  – удельная грузоподъемность (геометрическая) контейнера ( $\text{т/м}^3$ ).

В диссертации разработана имитационная модель заполнения транспортного средства (рис. 5), основная особенность которой состоит в том, что в ней возможно задание входного грузопотока большой интенсивности с заказами на перевозку малых объемов грузов. На основании характеристик этого потока в совокупности с известными характеристиками транспортного средства определяются вероятностные характеристики выходного грузопотока.

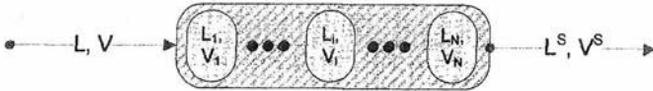
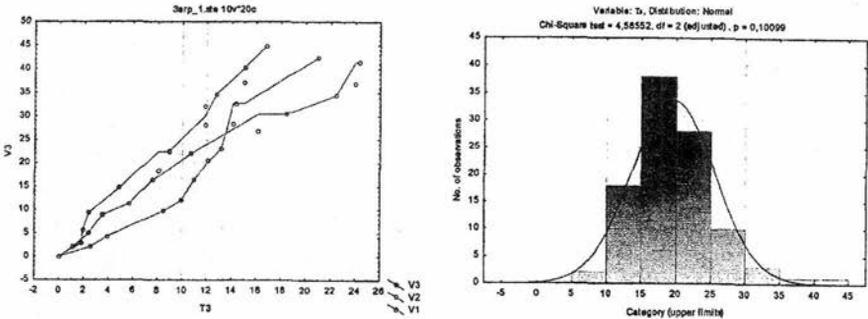


Рисунок 5. Модель преобразования потока при заполнении транспортного средства



а) динамика объемов загрузки

б) гистограмма времени заполнения

Рисунок 6. Характеристики заполнения транспортного средства

В данной модели входной поток определяется величиной  $\xi$ , которая задает случайный интервал времени между событиями прихода мелких партий случайного объема  $v$ . При этом времена событий определяются как  $t_0 := 0$ ,  $t_{i+1} := t_i + \xi_i$ , а объем транспортного средства в момент времени  $t_i$ :  $V_0 := 0$ ,  $V_{i+1} := V_i + v_i$ . Разработанная имитационная модель позволяет генерировать выборочные траектории случайного процесса загрузки (рис. 6.а) и дать оценку результирующего распределения времени и объема (или веса) заполнения транспортного средства с учетом его недогрузки. Показано, что время заполнения хорошо аппроксимируется нормальным распределением (рис. 6.б).

Новизна модели оптимальной загрузки транспортных средств заключается во введении пороговых коэффициентов по грузоподъемности и по вместимости, а также в разработке имитационной модели заполнения

транспортного средства. На основании характеристик входного потока большой интенсивности с заказами на перевозку малых объемов грузов в совокупности с известными характеристиками транспортного средства определяются вероятностные характеристики выходного грузопотока.

Таким образом, разработан комплекс моделей, позволяющий дать формализованное описание возможной логистической топологии сети грузопотоков, задать финансовые и временные затраты для каждого звена транспортно-логистической цепи системы мультимодальных перевозок.

В третьей главе на основе разработанных моделей прогнозирования грузопотоков решаются задачи оптимизации управления мультимодальными перевозками при использовании авиационных транспортных средств. Формирование рассматриваемой концепции базируется на методологии управления интегрированными транспортно-логистическими системами (ИТЛС) с использованием существующих и предложенных методов интеграции. Методология и принципы основаны на ИТЛС нового поколения, которая объединяет подсистемы транспортно-логистического обслуживания, логистического взаимодействия организаций-участников ТЛС и обеспечения устойчивости информационных систем (рис. 7).

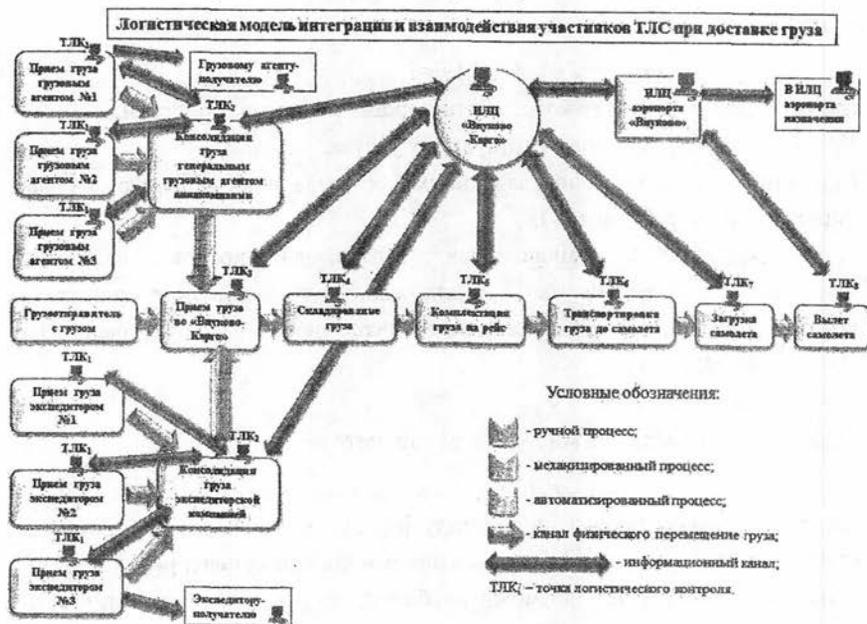


Рисунок 7. Логистическая модель интеграции участников ТЛС

Для решения проблемы повышения эффективности управления системой ускоренных мультимодальных перевозок в работе использовался системный подход, основанный на пятиуровневой модели логистического расширения.

Основной из основных проблем моделирования процессов управления системой ускоренных мультимодальных перевозок является определение оптимального порядка обслуживания заявок транспортными средствами (ТС). Заявки случайным образом возникают от клиентов. При этом необходимо обеспечение эффективности вместе с высокой гибкостью и надежностью, под которыми понимается возможность достаточно легкой и оперативной адаптации к динамике изменений грузопотока. Соответственно, при этом еще стоит и задача рационального использования всех задействованных в логистическом процессе транспортных средств. Таким образом, в общем виде транспортный путь в распределительной сети системы мультимодальных перевозок определяется граф  $L=(N,A)$ , где  $N$  - множество узлов графа, которые соответствуют местам перегрузки, а  $A$  - множество дуг, определяющих возможные варианты перемещения грузов, представляющие собой отрезки транспортного пути, не содержащие узлов.

Для модели транспортной сети узел  $n_i \in N$  формально задается множеством параметров;

$$\{x, y, F_a, U_n, M, C_n\}, i=1,2,\dots,q_n, \quad (5)$$

где  $x, y$  – географические координаты вершин логистической сети;

$F_a$  – совокупность дуг, соответствующих узлу  $a$ ;

$U_n$  – множество типов узлов, задающих и описывающих параметры склада поставщика (0) и потребителя (1);

$M$  – совокупность транспортных средств, для которых возможна транспортировка в заданный узел, т.е. для каждого транспортного средства в соответствии с его весом и габаритами вводятся некоторые ограничения на маршруты транспортировки;

$C_n$  – множество состояний узла.

Дуги  $a_i \in A$  сети задаются множеством параметров:

$$\{l, F_n, e, C_a\}, l=1,2,\dots,q_a. \quad (6)$$

Т.е. должна быть определена длина дуги ( $l$ ), совокупность узлов, которые прилегают к дуге ( $F_n$ ), тип дуги (неориентированная или ориентированная) ( $e$ ); состояние дуги определяет возможную блокировку оператором, занятость некоторым транспортным средством или возможной аварией, а также другие возможности ( $C_a$ ).

Для каждого маршрута  $w$  значение длины  $r$  от узла  $n_{i1}$  к узлу  $n_{ir}$  задается упорядоченной последовательностью узлов  $w_i = \{n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{ir}\}$ .

Считается, что в транспортной сети системы мультимодальных перевозок имеется множество транспортных средств ( $v_i \in V$ ) с параметрами

$$\{N_p, N_s, N_l, s, t_n, t_b, C_v\}, i=1, 2, \dots, q_n=|V|, \quad (7)$$

где  $V$  - совокупность ТС;

$N_p$  – максимально возможное количество грузов в одном ярусе;

$N_s$  - высота штабеля, определяющая максимально возможное количество ярусов;

$N_l$  - максимальный вес грузов для данного ТС;

$s$  – возможный диапазон скоростей ТС;

$t_n$  – заданное время погрузки;

$t_b$  – заданное время выгрузки;

$C_v$  – текущее состояние транспортного средства.

Также в модели учитывается ряд дополнительных параметров, которые приведены в диссертации.

Основные задачи моделирования и планирования экспериментов в разработанной имитационной модели связаны с расчетом количества транспортных средств, необходимых для обеспечения бесперебойной работы логистической цепи, и оценкой работоспособности процедур диспетчирования, маршрутизации и других управленческих решений.

Следующим является уровень взаимодействия простейших операций при доставке груза. Т.е. рассматривается две смежных операции: транспортировка груза до терминала и организация его разгрузки на терминале без потери времени. В диссертации для решения данной задачи предлагается использовать модель в виде сети Петри (рис. 8.), которая может способствовать более рациональному выбору решений для конкретных условий выполнения операций межоперационного складирования и вспомогательных перегрузочных работ в общей транспортно-распределительной сети.

Предложенная модель вместе с включенными процедурами планирования эксперимента позволяет более рационально выбирать очередность грузов для реализации процедур погрузки/разгрузки и складирования.

На уровне автономного управления процессами предприятия с простыми связями рассматривается организация работы внутри одного предприятия и предоставление информации следующему участнику. Все ресурсы предприятия должны быть направлены на быстрое и качественное удовлетворение

потребностей клиентов. На этом уровне каждая фирма-участник цепи доставки грузов может быстро и качественно выполнить только «свою» работу, но возможности контроля всего процесса от начала до конца ни у кого нет. Нет возможности оперативно обмениваться информацией. Для формирования таких предложений в диссертации предлагается использовать формальное описание бизнес-процессов.

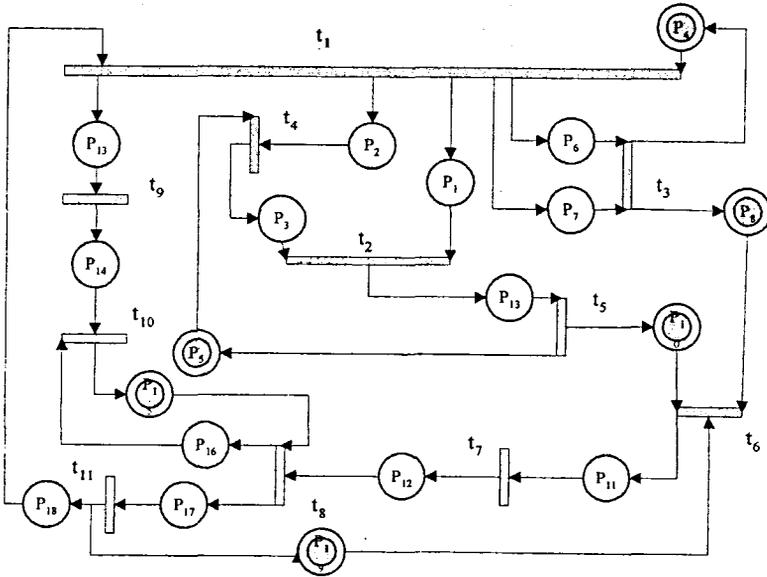


Рисунок 8. Модель погрузочно-разгрузочных работ.

Выполнение перевозки по распределительной сети осуществляется в соответствии с одной из схем транспортировки грузов. В любой момент в существующую сеть может быть добавлена новая схема или изменена существующая.

На уровне взаимодействия предприятий-участников цепи доставки грузов с оперативным обменом информацией рассматривается управление транспортно-логистической системой ускоренной доставки грузов пассажирскими авиарейсами на базе информационно-логистического центра (ИЛЦ). В информационно-логистическом центре есть вся актуальная информация обо всех авиакомпаниях, авиарейсах, грузовых терминалах, экспедиторах и других участниках. При доставке груза ИЛЦ оперативно получает информацию от всех участников цепи доставки груза и контролирует весь процесс доставки. Клиент может оперативно получить информацию в

интернете о месте нахождения груза и его состоянии.

В настоящее время в мировой практике международных авиаперевозок достаточно широко используется стандарт E-Freight, преимущества которого по оценке IATA состоят в: снижении расходов (суммарная экономия в мировой отрасли до 4.9 миллиардов долларов ежегодно); оперативности обслуживания грузов (решение по выпуску груза в течение 10 мин); высокой надежности и точности (однократный ввод исходных данных в пункте отправки груза); прозрачности процессов (электронная документация позволяет отслеживать статус перевозки в режиме реального времени).

Для данного уровня в диссертации предлагается аппарат моделирования сложных динамических систем, который представляет собой динамическую производственную систему. База данных системы представляет совокупность ресурсов  $R$ , а база знаний - совокупность операций. Адаптация к динамической системе состоит в формализации описания ресурсов и операций с использованием формального языка. При управлении динамической системой, моделирующей мультимодальные перевозки в реальном масштабе времени, система управления будет последовательно задавать моменты начала действий, необходимых для реализации событий в сложной динамической системе (СДС), а также моменты завершения действий. Для каждого события имеет место некоторая процедура преобразования  $C^- \xrightarrow{F} C^+$ , которая задает ряд закономерностей функционирования системы. В результате действие определяется на основании:  $a = \langle F_H(C_K^-(R^a)), F_K(C_K^-(R^a)), t_H, t_K \rangle$ , где  $F_H, F_K$  - процедуры изменения параметров, которые определяют состояние ресурсов для определенного ряда событий  $e_H$  и  $e_K$ . При этом  $C_{H,K}^-(R^a)$  - состояние ресурсов, которые соответствуют определенным действиям  $a$ , до событий начала и завершения действия.

Вместе с динамической производственной системой, введенный аппарат их реализации дает возможность сформировать имитационную модель управления заданной логистической системой, представленной в формализации СДС.

Далее в диссертации разрабатывается технология ускоренной обработки грузов, которая включает алгоритм контроля транспортных и информационных потоков. В целях удобства применения предлагается встроить механизм, который бы параллельно существующим потокам отражал информационный поток, связанный с осуществлением контрольных функций. Это позволило бы в режиме реального времени сопоставлять ключевые фактические показатели с расчетными и идентифицировать причины отклонений, выявленных

средствами контроля. Разработанная система контроля предоставляет возможность настройки технологии под потребности каждого клиента и каждой конкретной сделки с минимальными доработками. Предложенный механизм контроля транспортно-экспедиционной деятельности направлен на повышение эффективности управления системой мультимодальных перевозок и состоит из последовательности шагов: определение планируемых для контроля бизнес-процессов; выбор уровня контроля; определение ключевых показателей и т.д.

В четвертой главе выполнена апробация предложенных логистических подходов к организации работы авиатерминала и разработанных методов управления ускоренными мультимодальными перевозками.

В диссертации проведен анализ российского рынка грузовых авиаперевозок и выявлены основные направления его развития, а именно: перевозка почты и груза в пределах страны пассажирскими воздушными судами в качестве дозагрузки; перевозка грузовыми воздушными судами специальных грузов (крупногабаритных или сверхтяжелых) внутри России и чартерными рейсами в более чем 30 стран мира, преимущественно в ОАЭ и страны Юго-Восточной Азии. Анализ динамики грузопотоков по Московскому авиационному узлу (МАУ) за период с 2011 по 2014 г. позволил получить прогнозные значения грузопотоков до 2016 г. (рис. 9).

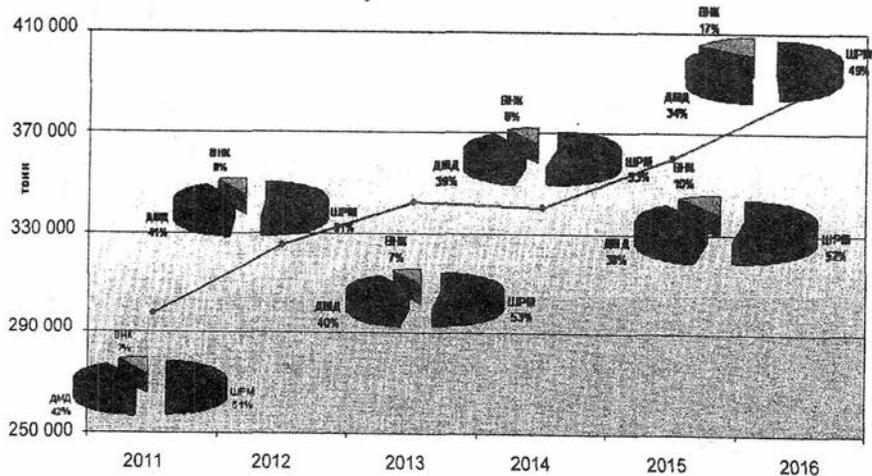


Рисунок 9. Динамика грузопотока по МАУ

Показано, что закрытие региональных хабов приведёт к частичной

переориентации грузовых потоков на другие виды транспорта (ж/д, авто) и централизации грузовых потоков в Москве и Санкт-Петербурге. «Шереметьево» и «Домодедово» снизит свою долю на рынке по причине оттока части груза во «Внуково» в связи с ростом количества рейсов и новых направлений полетов авиакомпании Росавиа.

С участием автора разработаны основные логистические решения и методики их применения при создании и организации работы грузового терминала аэропорта «Внуково».

В диссертации на примере аэровокзала «Внуково-Карго» разработана имитационная модель управления транспортно-логистической системой авиаузла. В модели предполагается наличие некоторой территории, на которой имеются различные объекты и выделены пути перемещения автотранспортных средств. Среди объектов модели выделяются несколько типов, а именно: пункты приема грузов, обработки и консолидации грузов, временного хранения, отгрузки на транспортировку, загрузки в авто- или авиатранспортные средства. При моделировании функционирования системы, предполагается, что требования на перемещение грузов имеют случайный характер и задаются на основании произвольного вида распределения с известными параметрами, оценки которых получены на основе предварительно проведенного статистического анализа.

Показано, что показатели эффективности функционирования транспортно-распределительной сети терминала можно повысить за счет рационального подхода к выбору очередной партии груза для перемещения из общей очереди ожидающих перевозки. В диссертации предлагается использование трех приоритетных правил выбора очередности перемещения грузов. Предложенные правила основываются на следующих положениях: выбирается груз, для которого суммарное время перемещения ТС от пункта местонахождения к пункту погрузки и от пункта погрузки к месту разгрузки минимально; для всех грузов из очереди рассчитывается время перемещения ТС от пункта местонахождения к пункту погрузки и выбирается груз с минимальным временем; приоритетным является груз, для которого срок доставки минимален. Результаты моделирования для предложенных правил выбора очередности перевозок грузов приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, почти по всем показателям лучшие результаты остаются за вторым правилом. Единственным исключением является показатель, определяющий максимальное число заявок в транспортной сети. Он минимален для первого правила, а среднее время опоздания минимально

для третьего правила.

Таблица 1. - Результаты моделирования транспортной системы

Показатель	Пр.1	Пр.2	Пр.3
Загрузка ТС 1	0.81	0.80	0.86
Пройденный путь на один груз для ТС 1, км	3.72	3.65	4.1
Загрузка ТС 2	0.80	0.78	0.85
Пройденный путь на один груз для ТС 2, км	3.71	3.68	3.98
Средняя продолжительность обслуживания, час	0.49	0.48	0.71
Среднее число заявок в транспортной сети	2.55	2.51	3.65
Максимальная продолжительность обслуживания	3.48	2.81	3.15
Максимальное число заявок в транспортной системе	11	12	15
Величина среднее времени опоздания, час	0.43	0.22	0.17
Число опоздавших грузов	34	14	28

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе получены следующие основные результаты, совокупность которых подтверждает достижение поставленной цели исследования и решение сформулированных задач:

1. Решена важная научно-практическая задача повышения эффективности управления транспортно-логистической системой ускоренных мультимодальных перевозок путем моделирования грузопотоков на основе управляемых сетей, имеющая значение для развития транспортной системы страны.

2. Существующие экономико-математические модели управления мультимодальными перевозками не рассматривают поступающий нерегулируемый грузопоток и имеющиеся транспортно-распределительные ресурсы предприятия как одну взаимосвязанную транспортно-логистическую систему.

3. Применение OLAP-технологии позволило получить структурированные данные объемов проходящих грузопотоков, необходимые для моделирования их распределения и доставки с учетом имеющихся транспортно-распределительных ресурсов логистической компании.

4. Разработанная математическая модель управления распределением грузопотоков на базе теории управляемых сетей позволяет сократить время

доставки грузов до 5-7%, и до 6% сократить издержки при доставке грузов за счет оптимизации параметров распределения грузопотоков.

5. Разработанная математическая модель прогнозирования поступающего грузопотока позволяет дополнительно сократить время доставки грузов до 2-4%, а издержки – до 3% за счет оптимизации использования транспортных и информационных ресурсов логистического предприятия.

6. Разработанная математическая модель оптимального заполнения транспортных средств позволяет до 10% повысить их заполняемость, до 6% сократить время их загрузки и до 4% сократить издержки при доставке грузов.

7. Разработанные имитационные модели оптимизации логистических процессов обработки и доставки грузов до 5-7% сокращают время обработки грузов на терминале, а также до 4-6% сокращают издержки при обработке грузов.

8. Разработанная математическая модель логистической системы транспортировки грузов автомобильным транспортом и алгоритм ее оптимального диспетчирования позволяет до 7% сократить издержки, связанные с их простоем.

9. Применение всего разработанного математического аппарата на транспортно-логистическом предприятии и системном интеграторе в логистике мультимодальных перевозок - ООО «Логистикс-тех» в г. Москве показало, что сокращение времени доставки грузов возможно до 18-20%, а совокупное сокращение издержек при этом возможно до 15%.

10. Наибольший положительный эффект от применения разработанного математического аппарата будет достигнут на предприятиях с большими объемами поступающего грузопотока.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**1. Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций:**

1. Миротин Л.Б. Повышение эффективности грузовых перевозок на основе создания устойчивой транспортно-логистической системы модульного типа для высокоскоростной обработки и доставки грузов / Л.Б. Миротин, А.Г. Некрасов, П.В. Степанов, П.Г. Трегубов // Вестник МАДИ. –2013. –№3(34), – С.61-65.

2. Приходько В.М. Методика прогнозирования объемов международных

автомобильных перевозок грузов по главным компонентам / В.М.Приходько, П.Г.Трегубов, С.Н.Сатышев, А.В. Лазаренко // Автотранспортное предприятие. –2014. –№ 7, –С. 48-51.

3. Приходько В.М. Моделирование интермодальных перевозок грузов на основе управляемых сетей / В.М. Приходько, С.Н. Сатышев, П.Г. Трегубов // Вестник МАДИ. –2014. –№3(38), –С. 45-50.

## **II. Научные публикации в прочих изданиях:**

4. Nikolaev A.B. Tools of production and logistics support life cycle of high-tech products /A.B. Nikolaev, V.M. Prikhodko, V.U. Stroganov, P.G.Tregubov // Life Science Journal. –2014; 11(10s), pp. 238-242 (SCOPUS).

5. Трегубов П.Г. Основные принципы формирования микрологистических систем управления автотранспортным предприятием / П.Г.Трегубов, С.Н.Сатышев // Логистические методы управления автотранспортным предприятием: сб. науч. тр. МАДИ.- М., 2012. –С.14-19.

6. Трегубов П.Г. Модульный подход к формированию интегрированных транспортно-логистических систем / П.Г.Трегубов, С.Н. Сатышев // Логистические методы управления автотранспортным предприятием: сб. науч. тр. МАДИ.- М., 2012. –С.20-27.

7. Трегубов П.Г. Статистика перевозок грузов на автомобильном транспорте / П.Г. Трегубов // Модели и методы управления процессами на транспорте, в промышленности и образовании: сб. науч. тр. МАДИ.- М., 2013. –С. 5-11.

8. Трегубов П.Г. Организация движения автомобилей-тягачей со сменными прицепами и полуприцепами / П.Г. Трегубов // Модели и методы управления процессами на транспорте, в промышленности и образовании: сб. науч. тр. МАДИ.- М., 2013. –С.57-64.

9. Трегубов П.Г. О концепции создания транспортной системы высокоскоростной доставки грузов пассажирскими авиарейсами на базе московского авиаузла / П.Г. Трегубов // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2, –С. 75-83.

Подписано в печать 28 апреля 2015 г.  
Формат 60x84x16  
Усл.печ.л. 1,0  
Тираж 100 экз.      Заказ № 5  
ТЕХПОЛИГРАФЦЕНТР  
Россия, 125319, г. Москва, ул. Усиевича, д. 8 а.  
Тел. : 8-916-191-08-51  
Тел./факс (499) 152-17-71  
E-mail: 7tpc7@mail.ru