

На правах рукописи

ЕФРЕМОВ Алексей Владимирович

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МЕТОД СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА
ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
РЕГИОНА**

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара 2005

Работа выполнена на кафедре “Прикладная математика и информатика”
Государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования
Самарский государственный технический университет

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

доктор физико-математических наук, профессор Радченко
Владимир Павлович

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук, профессор Кузнецов
Павел Константинович

кандидат технических наук, доцент Михеева
Татьяна Ивановна

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:

Научный центр комплексных транспортных проблем (г. Москва)

Защита диссертации состоится 11 ноября 2005 года в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.217.03 в аудитории № 28 корпуса № 6 Самарского государственного технического университета (ул. Галактионовская, 141).

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская 244, Самарский государственный технический университет, Главный корпус, на имя ученого секретаря диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Самарского государственного технического университета по адресу: ул. Первомайская, 18.

Автореферат разослан « ____ » октября 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

В. Г. ЖИРОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие международного рынка производства продукции идет по пути специализации и одновременной интеграции, когда сырье добывается в одних странах, а изготовление комплектующих и сборка осуществляется в других. Это стимулирует развитие национальных транспортных систем, формирование межнационального рынка транспортных услуг.

На региональном уровне создаются крупные складские и грузоперерабатывающие комплексы для обслуживания промышленных предприятий: доставки сырья и комплектующих, распределения готовой продукции. Транспортные издержки составляют значительную часть в себестоимости продукции промышленного сектора экономики, и предприятия стремятся снизить эти издержки за счет оптимизации перевозочного процесса.

Как показывает практика промышленно развитых стран, эффективная организация и управление товародвижением возможны только на основе логистического подхода, формирования и развития транспортно-логистических систем (ТЛС), которые способствуют оптимальному использованию имеющихся экономических и других видов ресурсов.

На современном этапе развития логистических технологий большое внимание уделяется решению частных задач оптимизации транспортных, складских и распределительных процессов в промышленных, транспортных и торговых предприятиях. Однако создание ТЛС на уровне региона требует комплексного рассмотрения всех аспектов указанных процессов. В настоящей диссертационной работе полученные научные и практические результаты при решениях частных задач логистики обобщены на основе методологии системного анализа в единую методику структурного синтеза ТЛС региона. Данная методика апробирована на полигоне Самарской области, в первую очередь в интересах предприятий развитой региональной промышленности: ОАО “АвтоВАЗ”, АО “Самеко”, АО “Авиакор”, фабрика “Россия”, ЗАО “КуйбышевАзот” и др.

ТЛС позволит обеспечить растущие потребности промышленных предприятий в транспортно-экспедиционном обслуживании, а также снизить транспортные и складские издержки, входящие в себестоимость продукции.

Цель работы. Основной целью данной работы является разработка математического, информационного и методического обеспечения проектирования транспортно-логистической системы региона, позволяющей обеспечить потребности промышленных и транспортных предприятий в контейнероперерабатывающей инфраструктуре, оптимизировать грузопотоки внутри региона и предоставить широкий спектр транспортно-логистического обслуживания.

Методы исследования. Для решения указанных задач использовалась методология системного анализа, методы оптимизации, теория графов, теория вероятностей и теория случайных процессов, теория систем массового обслуживания, теория нечётких множеств, многокритериальные модели принятия решений, экспертные методы.

Научная новизна настоящей диссертационной работы определяется предложенными комплексными методами анализа и синтеза структуры ТЛС. К результатам, обладающим научной новизной, можно отнести следующие:

- разработана поэтапная методика синтеза структуры ТЛС региона;
- предложена и реализована методика анализа транспортно-логистического комплекса региона, позволяющая определить узлы с наибольшей концентрацией грузопотоков региона и выделить зоны эффективного логистического обслуживания потребителей, тяготеющих к этим узлам;
- предложена и обоснована сетевая модель оптимального размещения мультимодальных контейнерных терминалов как базовых объектов в составе транспортно-логистической системы региона;
- предложена и обоснована модель мультимодального контейнерного терминала как открытой многоканальной системы массового обслуживания с ожиданием;
- сформулирована многокритериальная целевая функция формирования и эксплуатации мультимодального контейнерного терминала как базового объекта транспортно-логистической системы региона и предложен обоснованный алгоритм выбора его оптимальных технико-экономических параметров;
- предложен и реализован метод определения наиболее эффективного варианта реализации структуры ТЛС региона.

Практическая значимость результатов настоящей диссертационной работы заключается в следующем:

- впервые рассмотрена задача структурного синтеза ТЛС региона как сложной системы со слабо формализуемыми внутренними связями и получены практические результаты, прошедшие апробацию;
- разработана методика синтеза эффективной структуры транспортно-логистической системы региона, системообразующими элементами которой являются мультимодальные контейнерные терминалы, ориентированные на обслуживание грузопотоков промышленных предприятий региона, внешнеторговых и транзитных грузопотоков.

Достоверность полученных результатов исследований подтверждается:

- адекватностью имеющихся модельных представлений природе исследуемых процессов;
- корректностью использования математического аппарата, вычислительных программных комплексов и вводимых при проведении расчётов и моделировании процессов упрощающих допущений;
- удовлетворительным совпадением результатов расчётов по предложенным методикам с оценками экспертов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- метод синтеза структуры ТЛС региона, основанный на методологии системного подхода;

- методика анализа транспортно-логистического комплекса региона, включающая определение узлов с наибольшей концентрацией грузопотоков с использованием сетевых методов и метод идентификации и сегментации зон эффективного логистического обслуживания потребителей, тяготеющих к точкам сгущения грузопотоков, основанный на теории нечётких множеств;
- сетевая модель определения оптимального по критерию минимума грузооборота месторасположения базовых объектов транспортно-логистической системы региона;
- методика определения оптимальных технико-экономических параметров базовых объектов транспортно-логистической системы, включающая модель функционирования мультимодального контейнерного терминала как открытой многоканальной системы массового обслуживания с ожиданием, формирование многокритериальной целевой функции задачи создания и эксплуатации мультимодального контейнерного терминала и алгоритм определения его оптимальных технико-экономических параметров;
- методика определения наиболее эффективного варианта реализации структуры ТЛС региона, основанная на методе анализа иерархий;
- новые качественные и количественные результаты, полученные при апробации метода структурного синтеза ТЛС региона.

Реализация результатов работы. Предложенная методика структурного синтеза транспортно-логистической системы региона была апробирована на примере Самарской области. Результаты настоящей диссертационной работы были использованы при выполнении научно-исследовательских работ НПЦ ИНФОТРАНС по теме “Разработка проекта создания Самарского транспортно-консолидирующего центра” по заказу Правительства Самарской области и по теме “Программа повышения эффективности работы и развития Куйбышевской железной дороги на период 2003-2005 гг. и на перспективу до 2010 г.”, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Апробация работы. Основные положения и результаты научных исследований докладывались на 12-й межвузовской конференции “Математическое моделирование и краевые задачи” (г. Самара, 2002 г.); на 1-й и 2-й Всероссийских конференциях “Математическое моделирование и краевые задачи” (г. Самара, 2004, 2005 гг.); на 3-й, 4-й Международных научно-практических конференциях “Безопасность транспортных систем” (г. Самара, 2002, 2004 гг.); на 3-й, 4-й, 5-й Международных конференциях молодых ученых “Актуальные проблемы современной науки” (г. Самара, 2002, 2003, 2004 гг.); на 2-й Международной научно-практической конференции “Системная логистика и центр консолидации грузопотоков на международных трассах” (г. Самара, 2003 г.); на Международном форуме по проблемам науки, техники и образования (г. Москва, 2003 г.); на 1-й Всероссийской научно-практической конференции “Информационный менеджмент: наука, практика, обучение” (г. Самара, 2004 г.); на 4-й Всероссийской научно-технической конференции “Экономика Поволжья” (г. Самара, 2005 г.), на Между-

народной научно-технической конференции “Информационные, измерительные и управляющие системы” (г. Самара, 2005 г.); на 6-м Всероссийском симпозиуме по прикладной и промышленной математике (Весенняя сессия) (г. Санкт-Петербург, 2005 г.); на Международной научно-практической конференции “Моделирование. Теория, методы и средства” (г. Новочеркасск, 2005 г.); на 7-й Международной научно-практической конференции “Экономика, экология и общество в 21-м столетии” (г. Санкт-Петербург, 2005 г.); на Международной научно-практической конференции “Системный анализ в проектировании и управлении” (г. Санкт-Петербург, 2005 г.); на Международном форуме молодых ученых “Актуальные проблемы современной науки” (г. Самара, 2005 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 25 печатных работ и одна коллективная монография. Список работ приведён в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников из 203 названий и пяти приложений. Работа содержит 168 страниц основного текста, включая 36 рисунков, 31 таблицу и 53 страницы приложений, включая акты внедрения.

Работа выполнялась в рамках плана НИР Самарского государственного технического университета по теме “Разработка методов математического моделирования динамики и деградации процессов в механике сплошных сред, технических, экономических, биологических и социальных системах”, а также в рамках НИР НПЦ ИНФОТРАНС по теме “Разработка проекта создания Самарского транспортно-консолидирующего центра” по заказу Правительства Самарской области и по теме “Программа повышения эффективности работы и развития Куйбышевской железной дороги на период 2003-2005 гг. и на перспективу до 2010 г.”

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность настоящей диссертационной работы, сформулирована её цель; приведены результаты, обладающие научной новизной; сформулирована практическая ценность результатов настоящей диссертационной работы; изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе формируются основные понятия, используемые в диссертации, проводится аналитический обзор существующей научной литературы по теме исследований.

В начале проводится краткий обзор становления понятия логистической системы (ЛС), отмечается определяющее значение в развитии логистики как науки трудов ученых Д. Бауэрсокса, Д. Клосса, Дж. Койла, С. Лэнгли, Дж. Кавинато и др. Указывается, что в настоящее время развитие транспортного комплекса страны тесно связано с исследованиями в области логистических систем, о чем свидетельствуют труды ученых Н.Ф. Афанасьевой, А.М. Гаджинского, Л.Б. Миротина, В.М. Николашина, А.И. Семеновко, В.И. Сергеева, А.А. Смехова, А.А. Чеботаева и др.

Далее обосновывается представление ЛС как сложных систем, вследствие чего для их анализа и синтеза целесообразно применять методологию системного подхода.

Здесь же проводится анализ элементов ЛС, указываются их отличительные черты и приводится классификация ЛС в зависимости от масштаба и области функционирования. Отмечается определяющая роль региональных ЛС в развитии экономики и транспортного комплекса страны.

На основе проведенного анализа формируется понятие транспортно-логистической системы как региональной ЛС, представляющей собой совокупность интегрированных элементов товаропроводящей сети региона, состоящей из многочисленных взаимодействующих и взаимосвязанных объектов логистической инфраструктуры общетранспортного узла, обеспечивающих реализацию общей цели функционирования системы и получение синергетического эффекта на основе интеграции материальных, финансовых и информационных потоков. Проводится анализ функций ТЛС и определяется элементный состав ТЛС. В качестве системообразующих (базовых) элементов ТЛС выбраны мультимодальные контейнерные терминалы (КТ), обрабатывающие контейнеропригодные внешнеторговые и транзитные грузопотоки, а также выполняющие распределительные и консолидирующие функции. Делается вывод, что структура ТЛС определяется топологией размещения базовых объектов, и в дальнейшем решается задача структурного синтеза ТЛС в составе базовых объектов.

Указывается, что ТЛС, также как и ЛС, представляют собой сложные стохастические системы, основным инструментом исследования которых является методология системного подхода. На основе анализа возможностей системного подхода предлагается схема построения ТЛС, включающая этап синтеза структуры ТЛС. Обосновывается, что формализация задачи синтеза оптимальной структуры ТЛС региона представляет собой достаточно сложную задачу вследствие нечеткости отношений между элементами системы и отсутствием формализованных критериев эффективности функционирования системы.

На примере Самарской области показывается, что в регионах сложились все предпосылки для создания ТЛС.

В целом выполненный в первой главе анализ показал, что вопросы целенаправленного развития региональных транспортно-логистических систем исследованы недостаточно. Незавершенными остаются проблемы методологии создания контейнероперерабатывающих терминальных систем как основы структуры ТЛС, особенно актуальных в настоящее время в связи с вступлением России в систему МТК. Нет достаточно обоснованных методик синтеза ТЛС в целях обеспечения эффективной обработки грузопотоков с учетом имеющихся транспортно-логистических объектов региона. На основе данных выводов были определены задачи настоящего диссертационного исследования.

Во **второй главе** определяются цели и задачи функционирования ТЛС, разрабатывается поэтапная методика структурного синтеза ТЛС.

В начале строится дерево целей и задач функционирования ТЛС, на основе которого выделяются наиболее значимые элементы ТЛС – базовые объекты и территориальные распределительные центры (ТРЦ). Формируется организационно-функциональная структура ТЛС региона как основа структурного синтеза.

Далее проводится описание предлагаемой методики структурного синтеза ТЛС, состоящей из пяти этапов (рис. 1). Преимуществом такого подхода является возможность промоделировать построение ТЛС на основе статистических данных по грузопотокам региона и основным грузоотправителям и получателям.

Каждый следующий этап предложенной методики является логическим продолжением предыдущего и все вместе они реализуют синтез структуры проектируемой ТЛС. Этапы 1-3, 5 представляют собой системные задачи, рассматри-



Рис. 1. Методика синтеза структуры ТЛС

вающие региональные грузопотоки, грузоотправителей и грузополучателей, имеющуюся транспортную инфраструктуру как единый полигон для создания транспортно-логистической системы. Четвертый этап представляет комплекс частных задач, исследующих функционирование базовых объектов ТЛС как самостоятельных хозяйствующих субъектов.

Для исследования транспортно-логистический комплекс региона моделируется в виде сети $\mathbf{G}(\mathbf{X}, \mathbf{U})$, вершинами $x_i, i = \overline{1, z}$ которой являются объекты транспортно-логистического комплекса, дугами $u_j, j = \overline{1, q}$ – транспортные коммуникации региона. Веса вершин p_i – суммарный объем грузопереработки за период i -го объекта. Базовые объекты ТЛС должны быть ориентированы на значительные объемы грузопереработки, поэтому целесообразнее всего планировать их размещение в узлах наибольшего сосредоточения региональных грузопотоков

(точках сгущения грузопотоков). За пропускную способность r_{ij} дуг сети принимается вес вершины, из которой дуга выходит:

$$r_{ij} = p_i \quad \forall j, i = \overline{1, z}. \quad (1)$$

Дуги ориентируются в направлении от источника к стоку. За источник принимаются вершины, соответствующие точкам зарождения грузопотоков, за стоки – соответственно точки погашения грузопотоков.

Методика определения узлов с наибольшей концентрацией грузопотоков основана на теореме о максимальном потоке на сети.

В настоящей диссертационной работе используется симплекс-метод для нахождения максимального потока в сети. Для этого задача о максимальном потоке была поставлена в терминах линейного программирования.

В рассматриваемом методе за точки сгущения грузопотоков принимаются точки с выходящими из них ненасыщенными дугами с пропускной способностью большей или равной минимально необходимому для создания базового объекта ТЛС объёму грузопереработки.

После построения максимального потока f_{\max} в сети проводится анализ результата на предмет поиска наиболее ненасыщенных дуг, что соответствует точкам сгущения грузопотоков (ТСГ) \mathbf{D}_m :

$$\mathbf{D}_m = \{x_i : p_i \geq P \forall r_{ij} : r_{ij} > x_{ij}\}, \quad (2)$$

где P – критерий минимального объёма грузопереработки.

Полученные ТСГ анализируются по определенному в этом же разделе правилу и в случае необходимости консолидируются.

Следующим рассматривается второй этап предложенной методики структурного синтеза ТЛС – определение зон эффективного логистического обслуживания потребителей, тяготеющих к выделенным ТСГ. В качестве потребителей выступают ТРЦ крупных городов и районных центров, складские и грузоперерабатывающие объекты транспортно-логистического комплекса региона, основные грузоотправители и грузополучатели. В основе метода идентификации и сегментации зон логистического обслуживания лежит теория нечетких множеств. При этом принимаются следующие допущения:

- определено m точек сгущения грузопотоков;
- продукция одного качества (транспортные и складские услуги);
- точки сгущения грузопотоков характеризуются p признаками;
- степени важности признаков варьируются между потребителями;
- одна ТСГ предпочитается другой, если её признаки по своей степени важности более близки к оценке потребителя.

Пусть $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество потребителей, $\mathbf{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ – множество признаков ТСГ и $\mathbf{Z} = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ – множество ТСГ.

Пусть $\Phi_R : \mathbf{X} \times \mathbf{Y} \rightarrow [0, 1]$ есть функция принадлежности нечёткого бинарного отношения \mathbf{R} . Для всех $x \in \mathbf{X}$ и $y \in \mathbf{Y}$ функция $\Phi_R(x, y)$ – степень важности признака y по оценке потребителя x при определении им предпочтения ТСГ.

Отношение \mathbf{R} можно представить в матричной форме

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \Phi_R(x_1, y_1) & \Phi_R(x_1, y_2) & \dots & \Phi_R(x_1, y_p) \\ \Phi_R(x_2, y_1) & \Phi_R(x_2, y_2) & \dots & \Phi_R(x_2, y_p) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Phi_R(x_n, y_1) & \Phi_R(x_n, y_2) & \dots & \Phi_R(x_n, y_p) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Пусть $p_S : \mathbf{Y} \times \mathbf{Z} \rightarrow [0, 1]$ есть функция принадлежности нечёткого бинарного отношения \mathbf{S} . Для всех $y \in \mathbf{Y}$ и $z \in \mathbf{Z}$ функция $p_S(y, z)$ – степень принадлежности или совместимости ТСГ z с признаком y . В матричной форме отношение имеет вид:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} p_S(y_1, z_1) & p_S(y_1, z_2) & \dots & p_S(y_1, z_m) \\ p_S(y_2, z_1) & p_S(y_2, z_2) & \dots & p_S(y_2, z_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_S(y_p, z_1) & p_S(y_p, z_2) & \dots & p_S(y_p, z_m) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Теперь можно получить матрицу \mathbf{T} :

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} m_{A_1}(x_1, z_1) & m_{A_2}(x_1, z_2) & \dots & m_{A_m}(x_1, z_m) \\ m_{A_1}(x_2, z_1) & m_{A_2}(x_2, z_2) & \dots & m_{A_m}(x_2, z_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{A_1}(x_n, z_1) & m_{A_2}(x_n, z_2) & \dots & m_{A_m}(x_n, z_m) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

элементы которой определяются функцией принадлежности

$$m_{A_i}(x, z_i) = \frac{\sum_y \Phi_R(x, y) \cdot p_S(y, z_i)}{\sum_y \Phi_R(x, y)} \quad \forall x \in \mathbf{X}, y \in \mathbf{Y}, z \in \mathbf{Z}, i = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Сумма $\sum_y \Phi_R(x, y)$ равна степени нечёткого множества, указывающей число важнейших признаков y , которое потребитель x использует для оценки ТСГ, а $m_{A_i}(x, z_i)$ можно интерпретировать как взвешенную степень предпочтения ТСГ z_i потребителем x . Функция предпочтения, описываемая уравнением (6), удовлетворяет определению выпуклого нечёткого подмножества.

Для перекрытия зон обслуживания точек сгущения грузопотоков z_i и z_j используется “порог разделимости”. В данной модели порог разделения l может быть ограничен условием

$$l < \min_{ij} \max_x \min [m_{A_i}(x, z_i), m_{A_j}(x, z_j)]. \quad (7)$$

Таким образом, для выбранного порога l зона обслуживания M_i точки сгущения z_i определяется нечётким множеством уровня l

$$M_i = \{x : m_{A_i}(x) \geq \min_{ij} \max_x \min [m_{A_i}(x, z_i), m_{A_j}(x, z_j)]\} \quad \forall x \in \mathbf{X}. \quad (8)$$

В качестве признаков ТСГ используются: транспортная доступность (наличие железнодорожных и автомобильных дорог, речных портов, аэропортов), мощность ТСГ, фактор близости потребителя к ТСГ.

Следующий этап методики структурного синтеза ТЛС предполагает определение месторасположения базового объекта в каждой из идентифицированных зон логистического обслуживания. На основе анализа существующих подходов к решению данной задачи проводится обоснование выбора метода определения оптимального месторасположения по критерию минимума грузооборота. Этот метод представляет собой сетевую модель, позволяющую определить оптимальное месторасположение базового объекта с учётом существующей сети транспортных коммуникаций. Для каждой зоны эффективного логистического обслуживания строится сеть \mathbf{G}_i , $i = \overline{1, m}$, аналогичная уже рассмотренной $\mathbf{G}(\mathbf{X}, \mathbf{U})$. Здесь m – количество идентифицированных зон логистического обслуживания. В качестве вершин выбираются ТРЦ крупных городов и районных центров, складские и грузоперерабатывающие объекты транспортно-логистического комплекса региона, расположенные на территории зоны логистического обслуживания. Оптимальное месторасположение базового объекта будет соответствовать общей медиане такого графа.

Далее описывается пятый этап предложенной методики синтеза структуры ТЛС. Приводится методика определения эффективной структуры региона, основанная на методе анализа иерархий. Суть этой методики состоит в декомпозиции проблемы на более простые части (элементы) и последующем построении иерархий взаимодействий полученных элементов. Анализ иерархий основывается на определении приоритетов элементов по отношению к выбранным критериям оценки. Согласно методу анализа иерархий, декомпозиция проблемы в иерархию выглядит следующим образом (рис. 2).

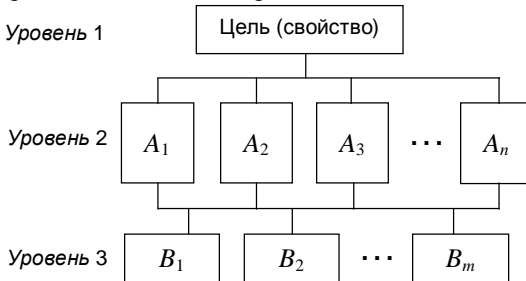


Рис. 2. Декомпозиция проблемы в иерархию

Для рассматриваемой задачи целью является получение эффективной структуры ТЛС, элементы A_i – критерии оценки различных вариантов структур ТЛС, элементы B_j – варианты реализации структуры ТЛС. Различные

иерархий взаимодействий полученных элементов. Анализ иерархий основывается на определении приоритетов элементов по отношению к выбранным критериям оценки. Согласно методу анализа иерархий, декомпозиция проблемы в иерархию выглядит следующим образом (рис. 2).

Для рассматриваемой задачи целью является получение эффективной структуры ТЛС, элементы A_i – критерии оценки различных вариантов структур ТЛС, элементы B_j – варианты реализации структуры ТЛС. Различные

варианты реализации структуры ТЛС получаются в результате варьирования количества ТСГ. В рассматриваемом методе определение приоритетов (важности) критериев A_i и оценка различных вариантов B_j по этим критериям происходит путём построения матриц парных сравнений по отношению к их воздействию на общую для них характеристику. Такой подход позволяет выбрать наиболее эффективный вариант реализации структуры ТЛС на основе выбранных критериев.

Третья глава посвящена исследованию функционирования КТ, выбранных в качестве базовых объектов ТЛС, что соответствует четвёртому этапу общей методики структурного синтеза ТЛС.

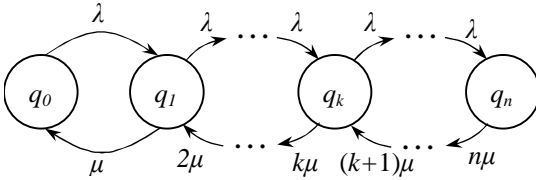


Рис. 3. Граф состояний открытой СМО:

q_0 – зона хранения терминала пуста;

q_1 – в зоне хранения находится один контейнер;

q_2 – в зоне хранения находится два контейнера;

...

q_n – в зоне хранения находятся n контейнеров
(свободных мест нет)

Основными параметрами КТ являются объём грузопереработки и вместимость площадки для хранения контейнеров. Объём грузопереработки определяется на основе существующих и прогнозируемых грузопотоков, а для определения потребной вместимости КТ рассматривается как открытая многоканальная система массового обслуживания (СМО) с ожиданием, граф состояний которой приведён на рис. 3.

Функционирование данной

СМО описывается процессом “гибели и рождения”.

Значение вместимости базового объекта ТЛС определяется при доверительной вероятности $[P]=0,95$ из соотношения:

$$E = \{k : F(q_k) \geq 0,95 \forall k = \overline{1, n}\}, \quad (9)$$

где $F(q_k)$ – интегральная функция распределения количеств фактически хранящихся контейнеров на площадке.

Затем формируется многокритериальная целевая функция задачи создания и эксплуатации базового объекта ТЛС для определения оптимальных технико-экономических параметров. Модель определения этих параметров может быть представлена в виде:

$$A_{\text{КТ}} = (a_{\text{КТ}_1}, \dots, a_{\text{КТ}_n}) \in F_{\text{КТ}}, \quad F_{\text{КТ}} = \{F_{\text{КТ}_1}, F_{\text{КТ}_2}, \dots, F_{\text{КТ}_k}\} \quad (10)$$

где $A_{\text{КТ}}$ – вектор оптимизируемых параметров мультимодального контейнерного терминала; $F_{\text{КТ}_i}$ – i -й критерий оптимальности; k – количество критериев оптимальности. В настоящей диссертационной работе в качестве оптимизируемых технико-технологических параметров КТ выбраны: число погрузо-разгрузочных механизмов (ПРМ) (Z); число подач вагонов на грузовой фронт (m); срок хранения

контейнеров на площадке по прибытию и до отправления (t_{xp}); число ярусов складирования контейнеров на площадке (H).

К неоптимизируемым параметрам относятся: технические параметры ПРМ и подвижного состава, стоимостные показатели, экономические нормативы и др.

В качестве критериев оптимальности выбран критерий, выражающий приведенные затраты, связанные с созданием и функционированием КТ, и критерий, выражающий эксплуатационную надёжность.

Под эксплуатационной надёжностью понимается вероятность обработки всего суточного грузопотока с учетом неравномерности последнего. Коэффициент резерва – параметр, характеризующий неравномерность суточного грузопотока – задается соотношением:

$$K_{pez} = 1 + K_d \frac{s(X)}{M(X)}, \quad (11)$$

где $M(X)$ – математическое ожидание размера контейнеропотока; $s(X)$ – среднеквадратичное отклонение величины X ; K_d – число, задающее интервал отклонения от математического ожидания, при $K_d = 3$ (для случая нормального распределения) обеспечивается эксплуатационная надёжность, близкая к 100 %.

Критерий оптимальности, связанный с экономическими затратами, выглядит следующим образом:

$$F_{кт_1} = f(Z, m, t_{xp}, H, K_{pez}) = \sum_1^6 C_i, \quad (12)$$

где $C_1(Z)$ – приведённые затраты на средства механизации и вспомогательное оборудование, руб./год; $C_2(t_{xp}, H, K_{pez})$ – приведённые затраты на строительные сооружения, руб./год; $C_3(Z, t_{xp}, H, K_{pez})$ – затраты на электроэнергию, руб./год; $C_4(Z, H, m, K_{pez})$ – расходы за использование вагонов, руб./год; $C_5(t_{xp}, H, K_{pez})$ – расходы за использование автомобилей, руб./год; $C_6(m)$ – расходы на подачу-уборку вагонов.

Критерий $F_{кт_2}$, характеризующий эксплуатационную надёжность, определяется как эмпирическая функция распределения коэффициента резерва K_{pez} .

Таким образом, постановка задачи определения оптимальных параметров может быть представлена в виде:

$$F_{кт_1} = \sum_{i=1}^6 C_i \rightarrow \min, \quad F_{кт_2} = F(K_{pez}) \rightarrow \max, \quad (13)$$

при ограничениях

$$P_{кт}(A_{кт}) \geq U_{сут}^{km}, \quad (14)$$

$$A_{\text{КТ min}} \leq A_{\text{КТ}} \leq A_{\text{КТ max}} . \quad (15)$$

Здесь $P_{\text{КТ}}(A_{\text{КТ}})$ – перерабатывающая способность терминала; $U_{\text{сут}}^{\text{км}}$ – суточный контейнеропоток терминала; $A_{\text{КТ min}}$ и $A_{\text{КТ max}}$ соответственно минимальные и максимальные значения из множества допустимых значений варьируемых параметров $A_{\text{КТ}} = \{Z, t_{\text{хр}}, H, m, K_{\text{рез}}\}$. Соотношение (14) представляет собой функциональное ограничение, означающее, что весь проходящий через терминал суточный грузопоток должен быть обработан.

На основе анализа существующих методов решения многокритериальной задачи (13) – (15) был выбран метод определения оптимальных технико-экономических параметров, основанный на систематическом просмотре многомерных областей в пространстве параметров с использованием равномерно распределенных последовательностей. Метод даёт возможность получить все множество Парето-оптимальных решений задачи (13) – (15), из которого проектировщик сможет выбрать удовлетворяющее его решение в зависимости от имеющихся ограничений на ресурсы или технологических ограничений.

Эффективность КТ как самостоятельных хозяйствующих субъектов определяется на основе двух показателей – себестоимости обработки одного контейнера и рентабельности терминала.

Себестоимость переработки грузов является обобщающим показателем качества работы КТ. В нём отражены конкретные условия работы терминала, техническое оснащение, технология и организация погрузо-разгрузочных работ.

Рентабельность предприятия отражает степень прибыльности его деятельности. В настоящем диссертационном исследовании рассматривается рентабельность продукции – коэффициент, показывающий, сколько прибыли приходится на единицу продукции.

Эффективность функционирования КТ в качестве системообразующих элементов определяет эффективность всей проектируемой ТЛС. На основе приведённых показателей экономической эффективности и критериев оптимальности задачи создания и эксплуатации базовых объектов ТЛС были определены пять критериев оценки для методики выбора наиболее эффективного варианта реализации структуры ТЛС: критерий суммарных приведённых издержек на создание и функционирование ТЛС; критерий общего объёма необходимых инвестиций; критерий затрат на переработку грузопотока; критерий транспортных издержек; критерий общей рентабельности системы. Выделенные критерии оценки эффективности структуры ТЛС охватывают все доступные на этапе проектирования показатели функционирования ТЛС и позволяют на основе объективных данных выбрать наиболее эффективный вариант реализации структуры ТЛС.

В **четвертой главе** описывается апробация предложенной методики структурного синтеза ТЛС на примере Самарской области.

Согласно методологии системного подхода проводится анализ предметной области исследований – транспортно-логистического комплекса Самарской области, включающий в себя анализ грузоперерабатывающей инфраструктуры, направления и объёмов грузоперевозок на территории Самарской области.

Далее на основе исходных данных по грузопотокам Самарской области согласно первому этапу предложенной методики синтеза структуры ТЛС формируется сеть $G(X, U)$, включающая 36 объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта региона, городов и районных центров области. Для полученного графа G решается задача максимального потока с помощью симплекс-метода.

Согласно правилу определения узлов сгущения грузопотоков на основе исходных данных для Самарской области было выделено три консолидированных ТСГ – Сызрань (суммарный объём грузопереработки 4846 т в год), Тольятти (суммарный объём грузопереработки 64324 т в год) и Самара (суммарный объём грузопереработки 51712 т в год).

На следующем этапе общей методики синтеза структуры ТЛС была проведена идентификация и сегментация зон логистического обслуживания потребителей, тяготеющих к найденным ТСГ. Далее для каждой из идентифицированных зон был произведен расчёт оптимального месторасположения базового объекта. Согласно результатам, оптимальное месторасположение базового объекта для каждой из зон логистического обслуживания совпало с ТСГ, что однако не является правилом. Например, для варианта реализации структуры ТЛС, включающего только одну ТСГ Сызрань, оптимальное месторасположение для базового объекта было определено в г. Тольятти.

В результате анализа существующих и прогнозируемых грузопотоков на территории области были определены объёмы грузопереработки мультимодальных контейнерных терминалов, а также определена система ограничений на оптимизируемые параметры и произведены расчеты для базовых объектов в ТСГ Тольятти, Самара, Сызрань. Анализ результатов показывает, что наиболее существенное влияние на $F_{кт_1}$ оказывают приведённые затраты на строительные сооружения (C_2) – ~70 % от суммарных затрат. Далее идут расходы за использование автомобилей (C_5) – ~10 % и вагонов (C_4) – ~8 %. Затраты на электроэнергию (C_3) составляют ~5 % от всей суммы. На оставшиеся позиции приходится около 2 %.

Показатели эффективности базовых объектов ТЛС Самарской области приведены в табл. 1.

Значения себестоимости переработки крупнотоннажных контейнеров сравнимы с существующими на сегодняшний день тарифами на железнодорожных терминалах, а высокие значения рентабельности свидетельствуют об экономической эффективности проектируемых базовых объектов ТЛС.

Таблица 1

Показатели эффективности базовых объектов ТЛС Самарской области

| Показатели | Базовые объекты | | |
|--|-----------------|---------------|----------------|
| | ТСГ Тольятти | ТСГ Самара | ТСГ Сызрань |
| Приведённые затраты ($F_{\text{ёд}_1}$), тыс. руб. | 55585 | 110187 | 49474 |
| Себестоимость переработки 1 TEU (S), руб. | 155 | 139 | 118 |
| Рентабельность базового объекта ТЛС (R) | 0,724 | 0,752 | 0,789 |

Далее проводился заключительный этап методики синтеза структуры ТЛС, на котором определялась наиболее эффективная реализация структуры ТЛС. Для этого была составлена в соответствии с методом анализа иерархий матрица парных сравнений для критериев оценки эффективности ТЛС и определены элементы третьего уровня иерархии (табл. 2).

Таблица 2

Элементы третьего уровня иерархии

| Реализация структуры | ТСГ Тольятти Самара Сызрань | ТСГ Тольятти Самара | ТСГ Тольятти Сызрань | ТСГ Самара Сызрань | ТСГ Тольятти | ТСГ Самара | ТСГ Сызрань |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|---------------|----------------|
| Соответствующий элемент | B_1 | B_2 | B_3 | B_4 | B_5 | B_6 | B_7 |

Для каждого критерия оценки формировалась матрица парных сравнений элементов третьего уровня и на основании полученных локальных приоритетов была сформирована матрица глобальных приоритетов.

Наибольший приоритет получился у варианта реализации структуры ТЛС, включающего все три идентифицированные ТСГ. Согласно методу анализа иерархий, B_1 является наиболее эффективным вариантом структуры ТЛС Самарской области.

В заключительном разделе четвертой главы приводится описание разработанного программного обеспечения для реализации предложенной методики структурного синтеза ТЛС региона.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведенный анализ логистических систем и различных подходов к их построению позволил выделить основной класс логистических систем – ТЛС – предоставляющих транспортно-логистические услуги в рамках всего региона, и определить элементный состав этих систем.

2. Разработана поэтапная методика синтеза структуры ТЛС, позволяющая на основе реально доступных данных о грузопотоках региона получить эффективную структуру и функциональную организацию ТЛС.

3. Разработан метод определения точек сгущения грузопотоков на основе метода максимального потока в сети, который позволяет выделить на территории региона узлы с наибольшей концентрацией грузопотоков как наиболее перспективные для дальнейшего анализа.

4. Разработана методика идентификации и сегментации зон логистического обслуживания потребителей, тяготеющих к ТСГ, основанная на теории нечётких множеств и позволяющая провести разделение потребителей на группы с целью минимизации транспортных издержек и обеспечения потребности в транспортно-логистических услугах.

5. Разработана методика определения месторасположения базовых объектов ТЛС в каждой из идентифицированных зон логистического обслуживания потребителей с использованием сетевой модели.

6. Сформирована многокритериальная целевая функция формирования и эксплуатации базового объекта ТЛС, включающая в себя наиболее значимые составляющие затрат на создание и содержание объектов терминальной инфраструктуры, а также учитывающая эксплуатационную надёжность проектируемых базовых объектов.

7. Предложен алгоритм выбора оптимальных технико-экономических параметров базовых объектов ТЛС, основанный на систематическом просмотре многомерных областей с использованием равномерно распределённых последовательностей и позволяющий получить множество Парето-оптимальных решений, из которых проектировщик может выбирать окончательное решение в зависимости от имеющихся ограничений на ресурсы.

8. Разработана методика выбора наиболее эффективного варианта реализации структуры ТЛС на основе метода анализа иерархий, позволяющая учитывать синергетический эффект синтезируемой ТЛС. Такая возможность появляется в результате выбора критериев оценки, учитывающих не только экономические параметры функционирования базовых объектов, но и эффект интеграции этих объектов в систему.

9. Выполнена апробация предложенной методики структурного синтеза ТЛС на примере Самарской области. Полученные результаты были одобрены экспертами в области логистического консалтинга и в правительстве Самарской области, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Региональные транспортные консолидирующие центры - опорные узлы системы международных транспортных коридоров. Архангельский С.В., Хасаев Г.Р., Ефремов В.А., Ефремов А.В. и др. / Под ред. С.В. Архангельского, Г.Р. Хасаева. Самара: Самарский научный центр РАН, 2004. 338 с.

2. Ефремов А.В. Проблема определения месторасположения транспортно-логистических центров в зоне обслуживания железной дороги // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки, 2003. Вып. 20. С. 199-200.

3. Ефремов А.В., Лубенцова В.С. Экономико-математическая модель региональной логистической системы // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер.: Эконом. науки, 2004. Вып. 17. С. 134-138.

4. Ефремов А.В. Экспертные методы в задаче идентификации и сегментации зон логистического обслуживания // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки, 2005. Вып. 34. С. 149-153.

5. Ефремов А.В. Задача синтеза структуры транспортно-логистической системы региона // Вестник транспорта, 2005. №6. С. 38-42.

6. Ефремов А.В., Лубенцова В.С. Решение задачи определения вместимости контейнерного терминала с использованием модели "гибели и рождения" // Вестник Сам. гос. тех. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки, 2005. Вып. 38. С. 121-124.

7. Ефремов А.В. Алгоритм синтеза структуры транспортно-логистической системы // Обзорение промышленной и прикладной математики. Т. 12. Вып. 2., 2005. С. 365.

8. Ефремов А.В., Лубенцова В.С. Разделение зон логистического обслуживания на основе теории нечётких множеств // Математическое моделирование и краевые задачи. Труды XII-й межвузовской конференции. Самара: СамГТУ, 2002. С. 78-83.

9. Ефремов А.В. Мультимодальный контейнерный терминал как одна из основных составляющих логистической системы Самарской области // Системная логистика и центр консолидации грузопотоков на международных трассах. Труды II-ой Международной научно-практ. конференции. Самара, 2003. С. 109-114.

10. Ефремов А.В., Васин Н.Н., Балыкова Л.Н., Балыков Н.В. Использование логико-лингвистического моделирования для оценки эффективности транспортной системы Самарской области // Системная логистика и центр консолидации грузопотоков на международных трассах. Труды II-ой Международной научно-практической конференции. Самара, 2003. С. 73-77.

11. Ефремов А.В. Задача моделирования при создании территориальной транспортно-логистической инфраструктуры // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. Москва, 2003. С. 74-75.

12. Ефремов А.В. Определение точек сгущения грузопотоков на основе сетевых методов // Математическое моделирование и краевые задачи. Труды первой всероссийской научной конференции. Самара: СамГТУ, 2004. С. 82-86.

13. Ефремов А.В. Математические методы построения и исследования логистической инфраструктуры региона // Безопасность транспортных систем. Труды 4-й Международной научно-практ. конференции. Самара, 2004. С. 105-107.

14. Ефремов А.В. Математические методы определения месторасположения терминала в зоне эффективной обработки грузопотоков // Актуальные проблемы современной науки. Труды 5-ой Международной конференции молодых ученых. Самара: СамГТУ, 2004. С. 167-169.

15. Ефремов А.В. Структурный синтез региональной транспортно-логистической системы // Математическое моделирование и краевые задачи. Труды 2-й Всероссийской науч. конференции. Самара: СамГТУ, 2005. С. 96-99.

16. Ефремов А.В., Радченко В.П. Моделирование процесса создания транспортно-логистических систем // Моделирование. Теория, методы и средства. Материалы V Международной научно-практической конференции. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2005. С. 17-20.

17. Ефремов А.В. Проблема структурного синтеза транспортно-логистических систем // Актуальные проблемы современной науки. Труды первого Международного форума молодых ученых. Самара: СамГТУ, 2005. С. 108-111.

18. Ефремов А.В. Математические методы построения эффективных систем транспортно-экспедиционного обслуживания // Безопасность транспортных систем. Труды Третьей Международной научно-практической конференции. Самара, 2002. С. 246-247.

19. Ефремов А.В. Стохастическая модель распределения грузопотоков в региональной логистической системе // Актуальные проблемы современной науки. Труды 3-й Международной конференции молодых ученых. Самара: СамГТУ, 2002. С. 15-16.

20. Ефремов А.В. Распределение грузопотоков региона на основе методов стохастического программирования // Актуальные проблемы современной науки. Труды 4-ой Международной конференции молодых ученых. Самара: СамГТУ, 2003. С. 37.

21. Ефремов А.В. Использование математического моделирования при построении терминальной инфраструктуры для обработки контейнерного грузопотока // Информационный менеджмент: наука, практика, обучение. Труды первой Всероссийской научно-практической. Самара: СамГТУ, 2004. С. 268.

22. Ефремов А.В. Экспертные методы в задаче построения транспортно-логистических систем // Экономика Поволжья. Материалы четвертой Всероссийской научно-технической конференции. Самара: СамГТУ, 2005. С. 260-263.

23. Ефремов А.В. Экономико-математическое моделирование процесса создания транспортно-логистических систем // Материалы заочных всероссийских научно-технических конференций. Н. Новгород: МВВО АТН РФ, 2005. С. 9.

24. Ефремов А.В. Методологический подход к созданию транспортно-логистических систем // Информационные, измерительные и управляющие системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Самара: СамГТУ, 2005. С. 250-251.

25. Ефремов А.В., Радченко В.П. Экономико-математическая модель определения оптимальных технико-экономических параметров контейнерного терминала // Экономика, экология и общество России в 21-м столетии. Труды 7-й Международной научно-практ. конференции. СПб.: СПбГПУ, 2005. С. 32-33.

26. Ефремов А.В. Использование системного подхода в управлении региональными грузопотоками // Системный анализ в проектировании и управлении. Труды Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГПУ, 2005. С. 16-17.

Автореферат отпечатан с разрешения диссертационного совета
Д 212.217.03 (протокол № 8 от 3 октября 2005 года)

Заказа № 394. Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 1,06
Отпечатано на ризографе.
Самарский государственный технический университет
Отдел типографии и оперативной печати
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244