

УДК 504.1: 519.05

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МНОГОПРОДУКТОВЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ С МЕЛКОПАРТИОННЫМИ ДИСКРЕТНЫМИ ПОТОКАМИ

*В.А. Васянин, канд. техн. наук
(Институт телекоммуникаций и глобального
информационного пространства НАН Украины)
А.Н. Трофимчук, д-р техн. наук, проф.
(Институт телекоммуникаций и глобального
информационного пространства НАН Украины)*

В работе рассматриваются вопросы проектирования автоматизированной системы поддержки принятия решений для многопродуктовых коммуникационных сетей с мелкопартионными дискретными потоками с использованием технологий инфраструктуры пространственных данных (Spatial Data Infrastructure — SDI, Storage Area Network — SAN) и геоинформационных систем (geoinformational systems — GIS). Сетевая структура представлена тремя уровнями иерархии и включает четыре типа узлов. Приводятся принципы функционирования иерархической структуры и комплекс взаимосвязанных задач перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления на всех уровнях сети. Особенностью рассматриваемых задач является дискретность передаваемых по сети потоков, а также дискретность параметров элементов сети, что требует разработки специального математического обеспечения для решения таких задач. Предложена примерная структурная схема системы управления распределением потоков в иерархической сети и показана последовательность решения первоочередных задач текущего планирования, нацеленных на оптимизацию использования имеющихся ресурсов сети, и иллюстрирующая их взаимосвязь с задачами перспективного развития и оперативного управления, возникающими как на магистральном, так и на зональном уровнях. В заключении приведены типовые задания по разработке информационного обеспечения и автоматизации процессов поддержки принятия решений при проектировании многопродуктовых сетей с мелкопартионными дискретными потоками.

© В.А. Васянин, А.Н. Трофимчук, 2010

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

У роботі розглядаються питання проектування автоматизованої системи підтримки прийняття рішень для багатопродуктових комунікаційних мереж із дрібнопартійними дискретними потоками з використанням технологій інфраструктури просторових даних (Spatial Data Infrastructure — SDI, Storage Area Network — SAN) і геоінформаційних систем (geoinformational systems — GIS) . Мережна структура представлена трьома рівнями ієрархії і включає чотири типи вузлів. Приводяться принципи функціонування ієрархічної структури й комплекс взаємозалежних задач перспективного розвитку, поточного планування й оперативного керування на всіх рівнях мережі. Особливістю розглянутих задач є дискретність переданих по мережі потоків, а також дискретність параметрів елементів мережі, що вимагає розробки спеціального математичного забезпечення для рішення таких задач. Запропоновано зразкову структурну схему системи керування розподілом потоків в ієрархічній мережі і показана послідовність рішення першочергових задач поточного планування, націлених на оптимізацію використання наявних ресурсів мережі, що ілюструє їхній взаємозв'язок із задачами перспективного розвитку й оперативного керування, що виникають як на магістральному, так і на зональному рівнях. У висновку приведені типові завдання по розробці інформаційного забезпечення й автоматизації процесів підтримки прийняття рішень при проектуванні багатопродуктових мереж із дрібнопартійними дискретними потоками.

In work the questions of designing of the automated decision support system for multicommodity communication networks with small packages of discrete flows with use of technologies of an Spatial Data Infrastructure — SDI (Storage Area Network — SAN) and geoinformational systems (GIS) are considered. The network structure is submitted by three levels of hierarchy and includes four types of nodes. Principles of functioning of hierarchical structure and a complex of the interconnected problems of perspective development, tactical planning and operative management at all levels of a network are given. Feature of considered problems are discrete flows, transmitted on a network and also discrete parameters of elements of a network, that demands development of a special software for the decision of such problems. The provisional block diagram of the control system by distribution of flows in a hierarchical network is offered and the sequence of the decision the priority of problems of tactical planning, aimed on optimization of use available resources of network, and illustrate their interrelation with problems of perspective development and the operative management, arising both on main, and on zone levels is shown. In the conclusion typical problems on development of a information maintenance and automation of processes of support of acceptance of decisions are given at designing of multicommodity networks with small packages of discrete flows.

1. Общие положения

Современный период развития социально-экономических процессов в Украине характеризуется их динамикой и сложностью, совершенствованием структуры управления органов государственной власти, трансформацией сложившихся традиционных и появлением новых информационных общественных отношений, обуславливающих переход общества от индустриального к информационному. Это создает необходимость повышения роли информации и новых информационных технологий, формирования единого информационного пространства страны, совершенствования информационного обеспечения деятельности органов государственной власти и хозяйствующих субъектов.

В соответствии с Законом Украины «О Концепции Национальной программы информатизации» (от 4 февраля 1998 года № 75/98-ВР с изменениями, внесенными согласно Закону № 3421-IV от 09 февраля 2006 года) информационные технологии определены как составные части национальной информационной инфраструктуры и призваны обеспечить экономический подъем страны. Осуществление процесса информатизации в период становления Украины как независимого государства в условиях кризисного состояния экономики и ограниченности ресурсов возможно лишь путем определения приоритетных сфер и направлений с концентрацией на них финансовых, материальных и трудовых ресурсов. В Национальной программе информатизации одной из приоритетных областей экономики определен транспорт, повышение эффективности функционирования которого требует создания комплекса автоматизированных систем обработки данных и управления разного уровня и назначения. Поэтому автоматизация информационных процессов в управлении транспортными потоками в корпоративных и государственных транспортных сетях, является перспективным направлением в достижении качественно нового уровня управления транспортом и интеграции Украины в Европейское Сообщество. В связи с важностью транспортного комплекса для интенсификации рыночных преобразований в Украине, предлагаемые в статье методические подходы к анализу и проектированию коммуникационных сетей в основном направлены на решение задач обеспечения нор-

мального функционирования транспортных систем в инфраструктурных комплексах крупных городов, регионов и страны в целом. Однако они (предложенная методология) могут (может) с успехом применяться и к другим сетевым структурам — сетям передачи данных, сетям сотовой связи и др.

В большинстве случаев существующие и проектируемые территориально-распределенные коммуникационные сети (системы) — транспортные, информационно-вычислительные, топливно-энергетические, почтовые, телеграфные, телефонные и пр. являются многоуровневыми и состоят из децентрализованной распределенной сети (магистральной) и низовых фрагментарных сетей (зональных и внутренних) на нижних уровнях иерархии.

В данной работе мы будем рассматривать в основном транспортные многопродуктовые коммуникационные сети, для которых характерно наличие множества источников и стоков потоков мелкопартионных грузов — продуктов или требований. Под продуктом или требованием понимается пара различных узлов сети, между которыми имеется направленный (адресный) дискретный поток элементов (например, неделимых грузов унифицированного размера, бит или символов) заданного объема. В многопродуктовой сети все потоки продуктов подлежат единовременной передаче из источников в стоки. В общем случае на сети может быть задано некоторое множество видов (категорий) продуктов, отличающихся весом, габаритами и другими характеристиками, но имеющих общие источники и стоки. Эффективность работы коммуникационных сетей во многом определяет экономические и социальные показатели функционирования инфраструктуры большинства хозяйствующих субъектов. Стабилизация и совершенствование экономики страны, особенно в условиях мирового экономического кризиса, требуют дальнейшего развития и модернизации сетевых структур. Для того, чтобы возможные инвестиции, выделенные на развитие инфраструктур, были использованы наиболее эффективно, нужен строгий технико-экономический расчет, охватывающий основные альтернативные схемы их развития и функционирования. Необходимо выполнить оценку и отбор различных вариантов совершенствования инфраструктур на основе процедур оптимизации и системного анализа эффектов, возникающих внутри связей инфраструктур, а также вне их, опосредованно влияющих

на развитие и состояние экономики отдельных территориальных регионов страны. В настоящее время для существующих сетевых инфраструктур в различных отраслях хозяйства, характерно то, что на всех уровнях управления уже введены различные автоматизированные и информационные системы. Предусматривается дальнейшее их развитие с использованием новейших информационных технологий; современного методического, технического, и математического обеспечений; систем поддержки принятия решений, рационально сочетающих формальные и неформальные методы принятия решений и интерактивный режим анализа и выбора оптимальных решений. Сложилась и структура информационных и вычислительных сетей ЭВМ, обеспечивающих функционирование коммуникационных систем, включающая глобальные, корпоративные и локальные сети передачи данных, аппаратуру коммутации и передачи данных и т. д.

Поскольку физическая пространственная структура большинства существующих сетей уже сложилась, в первую очередь, наибольший интерес представляет решение задач текущего планирования и оперативного управления, нацеленных главным образом на оптимизацию их функционирования при имеющихся ресурсах.

В рамках проектов автоматизации процессов принятия решений по оптимальному развитию и функционированию иерархических коммуникационных сетей должны быть рассмотрены:

- математические модели, методы и алгоритмы решения задач оптимизации многоэтапного управления развитием инфраструктуры таких сетей с учетом всех возможностей их качественного организационно-технического совершенствования;
- математические модели, методы и алгоритмы решения задач оптимального функционирования сетевых структур на уровнях текущего планирования и оперативного управления;
- методы анализа решений с использованием баз знаний и привлечением профессиональных экспертов, позволяющие принимать решения в интерактивном режиме для указанных выше задач;
- информационное обеспечение, базирующееся на самых последних новациях в области создания баз данных и систем управления базами данных.

На современном этапе развития информационного обеспечения во многих сферах государственной, производственной и на-

учной деятельности наибольшее распространение стали получать перспективные технологии создания и внедрения инфраструктуры пространственных данных (ИПД) и геоинформационных систем (ГИС). По официальному определению, ИПД это система базовых пространственных данных и метаданных, организационных структур, механизмов правового регулирования, методической базы, технологий и технических средств, обеспечивающая широкий доступ и эффективное использование пространственных данных гражданами, организациями и органами власти [1]. Так, например, Правительством РФ уже одобрена «Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации» (<http://www.gisa.ru/31553.html>), которая предусматривает переход к цифровым технологиям получения и использования пространственных данных. Согласно «Концепции», в стране должна быть создана иерархическая территориально-распределенная система сбора, обработки, хранения и предоставления базовых пространственных данных и метаданных, включающая подсистемы уровней государственной власти и местного самоуправления и предоставляющая пользователям удаленный доступ к цифровым базам пространственных данных и метаданным. Задачами ближайшего будущего являются апробация системы в рамках пилотных проектов на уровне субъектов РФ, создание организационной структуры ИПД РФ и массива базовых пространственных данных. К сожалению, в Украине технология ИПД начинает только развиваться и нашла свою реализацию в немногочисленных силовых ведомствах и министерствах.

Признанным лидером в создании и продвижении технологий ИПД и ГИС является компания ESRI, которая недавно выпустила семейство программных продуктов нового поколения — ArcGIS 9 (<http://www.dataplus.ru/Soft/ESRI/ArcGIS/>). Платформа ArcGIS 9 является оптимальным решением для построения корпоративной ГИС, фундамента информационной системы эффективного управления крупными государственными и коммерческими организациями. ArcGIS 9 построена на основе стандартов компьютерной отрасли, включая объектную архитектуру COM, NET, Java, XML, SOAP, что обеспечивает поддержку общепринятых стандартов, гибкость предлагаемых решений, широкие возможности взаимодействия. Архитектура ArcGIS 9

обеспечивает ее использование во многих прикладных сферах и на разных уровнях организации работы: на персональных компьютерах, на серверах, через Web, или в «полевых» условиях.

Новые информационные технологии нашли применение и в транспортных системах. Так, например, для оптимизации маршрутов грузовых и пассажирских перевозок появилась новая версия программного продукта ArcLogistics 9.3 (вышла в начале осени 2008 года, вскоре после выхода ArcGIS 9.3) — инструмента для планирования и оптимизации работы парка транспортных средств: импорта заказов, расчета оптимальных маршрутов, создания маршрутных листов, построения отчетов, анализа эффективности работы (<http://www.dataplus.ru/Soft/ESRI/ArcGis/ArcLogistics/>). В версии 9.3 реализован новый алгоритм сетевого анализа VRP (vehicle routing problem), появившийся в последней версии модуля ArcGIS Network Analyst. ArcLogistics построен на базе общего ядра с продуктами семейства ArcGIS. При оптимизации маршрутов движения достигается снижение затрат, связанных с транспортировкой (затраты на горючее, стоимость рабочего времени водителей). По оценкам, полученным на основе опыта внедрения программного продукта ArcLogistics (около одной тысячи лицензий за время существования продукта), ежегодное снижение затрат составляет от 10 до 25%. Кроме уменьшения пробега и количества транспортных средств уменьшается и время планирования. При этом достигается повышение производительности до 10—15% за счет увеличения числа клиентов, обслуживаемых тем же парком транспортных средств и уменьшения времени реагирования на поступающие заказы.

В настоящей статье рассматриваются некоторые аспекты создания и внедрения инфраструктуры пространственных данных, геоинформационной системы и специального математического обеспечения в основном для транспортных сетей (ТС) и сетей передачи данных (СПД), а также приведены основные задания проекта по разработке комплекса мер информационного обеспечения и автоматизации процессов принятия решений для сетевых структур подобного класса.

Известно достаточно большое число работ, посвященных вопросам оптимизации развития и функционирования сетевых

структур с непрерывными многопродуктовыми потоками, среди них, в первую очередь, следует выделить работы Л. Клейн-рока, А. Ассада, Д. Кеннингтона, Ю.П. Зайченко, Ю.Е. Малащенко, Н.М.Новиковой [2, 3, 21, 22, 23]. Тем не менее, актуальной остается проблема разработки методологии проектирования многопродуктовых коммуникационных сетей, обобщающей полученные ранее результаты и позволяющей на всех уровнях иерархии успешно решать практические задачи перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления для сетей большой размерности с дискретными потоками и дискретными параметрами элементов сети.

Одним из главных факторов роста эффективности функционирования транспортных сетей с мелкопартионными дискретными потоками грузов (МДПГ) является внедрение контейнерной технологии перевозок (КТП), при которой мелкопартионные дискретные потоки перед отправкой получателю подлежат упаковке в транспортные блоки или контейнеры. При этом в один транспортный блок или контейнер могут попасть элементы с разными адресами получателей. К очевидным преимуществам контейнерной технологии можно отнести: повышение уровня механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ; сокращение времени на выгрузку и погрузку грузов в транзитных узлах на маршрутах следования транспортных средств; снижение объемов ручного труда и уменьшение числа неквалифицированных работников; повышение сохранности грузов и сопроводительных документов; возможность хранения контейнеров на открытых площадках. При этом в качестве «контейнера» может использоваться разовая пленочная упаковка, в которую запаковывается заданное количество единичных грузов. Объем (размер) «контейнера» может варьироваться в определенных пределах в зависимости от различных характеристик единичных грузов — размеров, стоимости, приоритета и пр. Размеры таких «контейнеров» должны быть кратными вместимости (грузоподъемности) транспортных средств. Предполагается, что имеется множество транспортных средств с различной грузоподъемностью, например, 10, 15, 20 условных «контейнеров» и т. д.

Применение дешевой, но достаточно прочной пленочной упаковки исключает необходимость содержания парка специ-

ализированных дорогих контейнеров и решения задачи оптимизации развозки порожних контейнеров на уровнях текущего планирования и оперативного управления при управлении парком контейнеров. Кроме того, значительно возрастает полезная загрузка транспортных средств. Очевидно, что объединение потоков с различными адресами назначения в единые контейнеры приводит к увеличению времени доставки некоторых единичных потоков, находящихся в контейнере, конечному адресату. Поэтому в математической модели задачи формирования потоков контейнеров должны учитываться ограничения на время доставки единичных потоков и (или) ограничения на число дополнительных обработок (сортировок) единичных потоков в транзитных узлах следования.

Здесь уместно отметить, что контейнерная технология перевозок в какой-то мере близка к организации протоколов в сетях передачи данных, в которых сообщения разбиваются на пакеты или ячейки заданного размера. Для конкретной реализации транспортного механизма контейнерных перевозок мелкопартионных грузов (потокораспределения) можно провести соответствующую аналогию с любой из существующих технологий передачи данных: TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), ATM (Asynchronous Transfer Mode), MPLS (MultiProtocol Label Switching) с различными классами обслуживания потоков (Class of Service — CoS) и категориями и показателями качества обслуживания (Quality of Service — QoS). Применение контейнерной технологии к сетям передачи данных означает, что буферизация пакетов сообщений в транспортные блоки или контейнеры должна осуществляться на транспортном уровне модели OSI (Open System Interconnection reference model), а маршрутизаторы на сетевом уровне уже будут работать не с пакетами, а транспортными блоками (контейнерами). При этом в конкретных моделях распределения потоков контейнеров можно стремиться к концентрации потоков на главных магистралях с целью максимального уменьшения каналов связи или к распылению потоков с целью минимизации среднего времени задержки в передаче сообщений.

Учитывая сказанное, еще раз подчеркнем, что проведение работ в области контейнеризации перевозок — важнейшее направление повышения качества производственных процес-

сов обработки и перевозки мелкопартионных грузов (МГ), позволяющее создать благоприятные условия для сокращения трудовых затрат в транспортных системах при дальнейшей механизации и автоматизации производства.

Тем не менее, на протяжении последних лет объемы контейнерных перевозок мелкопартионных грузов (КПМГ) в Украине увеличиваются недостаточно интенсивно (для примера, в США в 1998 году было перевезено более 15 миллиардов тонн мелкопартионных грузов на общую сумму более 9 триллионов долларов, а в 2000 году доходы от транспортировки мелкопартионных грузов составили около 11% от валовой национальной продукции США. Для перевозки таких грузов в США ежедневно используются десятки тысяч автомашин и сотен реактивных самолетов [29]). Основными причинами этого являются организационно — техническая неподготовленность транспортных предприятий к внедрению контейнерной технологии и отсутствие научно обоснованных методов проектирования КПМГ.

Важное место в проектировании перевозок МГ занимает задача разработки схемы перевозок по транспортным магистралям, соединяющим крупные узловые предприятия транспортной сети. Ее решение позволяет определить основные технико — эксплуатационные и экономические показатели функционирования сети перевозок. Существующие практические методы разработки схемы магистральных перевозок предполагают использование в основном субъективной оценки качества перевозки грузов диспетчерами. Поэтому эффективность схемы перевозок сильно зависит от квалификации, опыта и интуиции работников, занятых ее разработкой. Ограниченность возможностей практических методов отрицательно влияет на важнейшие показатели качества транспортных сообщений на магистралях: устойчивость, регулярность, отсутствие необменов и провозов, соблюдение контрольных сроков продвижения (доставки) грузов.

В работах [2—6] впервые предложено использовать экономико-математические методы и ЭВМ для проектирования перевозок грузов в многопродуктовых сетях. При этом задача составления схемы перевозок была сформулирована в виде задачи линейного программирования [5].

В известных работах [2—6], непосредственно посвященных проектированию распределения многопродуктовых потоков мелкопартионных грузов и смежных работах в области проектирования сетей передачи данных [2—6], так или иначе связанных с задачами анализа и синтеза многопродуктовых сетей предлагаются линейные и нелинейные модели и соответствующие методы решения для непрерывных переменных и параметров (например, пропускных способностей дуг) элементов сети. Большинство из рассматриваемых моделей являются довольно грубыми математическими описаниями функционирования сложной сетевой структуры и не учитывают целый ряд физических характеристик и параметров, присущих реальным системам. Некоторые вопросы автоматизированного составления схемы перевозок и задачи распределения многопродуктовых потоков партионных грузов рассматривались в работах [7—9]. Для решения поставленных задач был предложен ряд алгоритмов, базирующихся на методах построения кратчайших путей и симплекс-методе линейного программирования. Дальнейшее развитие методов и подходов к решению задач проектирования перевозок мелкопартионных грузов нашло отражение в работах [10, 11], где задача распределения потоков была сформулирована в виде задачи целочисленного линейного программирования с блочно-диагональной структурой и связывающими ограничениями. Для решения задач использованы модификации методов декомпозиции Данцига-Вулфа и Розена. Из приближенных методов использовались методы исключения узлов и прокатных оценок. Некоторые результаты применения этих методов обобщены в [12].

В большинстве приведенных работ задача проектирования схемы перевозок МГ рассматривалась в рамках линейного программирования. Это не позволило, в силу большой размерности сформулированных задач, учесть в математических моделях целый ряд важнейших факторов, характерных для обработки и перевозки МГ в реальных сетях. Прежде всего, к ним следует отнести:

- 1) процессы сортировки мелкопартионных грузов в узловых транспортных предприятиях, которые непосредственно связаны с их транспортировкой в пункты назначения;
- 2) контрольные сроки продвижения (доставки) грузов;

- 3) провозные возможности (грузоподъемность) магистрального транспорта;
- 4) время погрузки и выгрузки грузов в пунктах следования транспортных средств (объемы погрузки — выгрузки в транзитных пунктах следования);
- 5) нелинейность приведенных (эксплуатационных и капитальных) затрат на обработку и перевозку грузов.

2. Зонально-узловая структура транспортной сети. Принципы организации сортировки и перевозки мелкопартионных грузов

Масштабность сети перевозок, многообразие и сложность выполняемых функций, функционирование в условиях неполной информации и воздействия случайных факторов, вынуждают рассматривать ее как сложную систему.

Основные понятия теории и методология системной оптимизации сложных систем изложены в работах Г. Гуда (*H. Good*), Р. Маккола (*R. Machol*), М. Месаровича (*M. Mesarovic*), Д. Мако (*D. Macko*), Я. Такахара (*Y. Takahara*), Д. Лэедона (*D. Lesdon*), Н.П. Бусленко, Дж. Клира (*G. Klir*). В основу методологии системной оптимизации положены принципы последовательной агрегации нормативов, связывающих воедино все уровни планирования; проектирования динамических моделей в статику; многокритериальной оптимизации планов; согласования плановых решений по всем уровням иерархии планирования. Свое дальнейшее развитие методы проектирования крупномасштабных сетевых структур получили при решении задач структурного анализа, синтеза и оптимизации для различных типов сетей в работах П. Грина (*P. Green*), Р. Лакки (*R. Lucky*), Л. Клейнрока (*L. Kleinrock*), В.М. Глушкова, В.М. Вишневого, Ю.П. Зайченко, И.В. Кузьмина, Е.Г. Петрова, М. Шварца, А.Д. Цвиркуна, Б.Я. Эттингера, Е.А. Якубайтиса, Г.Ф. Янбыха.

Как известно, большинство математических моделей управления, описывающих сложную систему как единое целое, не являются адекватными реальным процессам из-за трудностей формального описания многих ограничивающих условий. Для сети перевозок неадекватность общих моделей объясняется также невозможностью оперативной корректировки моделей в

изменяющихся условиях протекания процесса, а также необоснованностью выбора критериев или заменой ряда критериев одним, имеющим сложный условно-экономический характер. Попытки представить модель перевозок на уровне агрегированных показателей ведут к потере специфики организации контейнерных перевозок и, как правило, к неадекватности модели. Составление развернутых моделей, когда управление на нижних уровнях представлено детализированными моделями, приводит к необозримости получаемых решений и некомпетентности специалистов, ответственных за организацию перевозок. Разрешение такой ситуации может быть в создании комплекса взаимосвязанных многоуровневых моделей планирования и управления, отображающих иерархию сети перевозок и соответствующую ей степень агрегирования показателей.

Руководствуясь общей методологией системной оптимизации определим принципы зонально-узловой организации сети перевозок при контейнерной технологии обработки и перевозки мелкопартионных грузов. Выделим в сети перевозок три уровня иерархии — магистральный, зональный и внутренний и четыре типа узлов — узлы 1-го, 2-го, 3-го и 4-го типов. Узлы первого, второго и третьего типа, находящиеся на транспортных магистралях или вблизи от них и соединяющие их участки маршрутов транспортных средств (железнодорожного, автомобильного, авиа и водного транспорта) составляют магистральный уровень и определяют магистральную сеть. Узлы 1-го типа являются, как правило, крупными узловыми транспортными предприятиями, обладающими мощной материально-технической базой. В узлах этого типа уровень концентрации мелкопартионных грузов позволяет формировать контейнерные потоки в адреса обслуживаемых узлов 2-го и 3-го типов, других предприятий 1-го типа и некоторые дополнительные направления. Узлы 2-го и 3-го типов формируют контейнеры только до ближайших узлов 1-го типа. Узлы этих типов являются, как правило, областными, автономными, краевыми и районными транспортными центрами. Уровень механизации и автоматизации в таких предприятиях ниже, чем в узлах 1-го типа, но позволяет осуществлять магистральную сортировку грузов. Узлы 4-го типа являются доставочны-

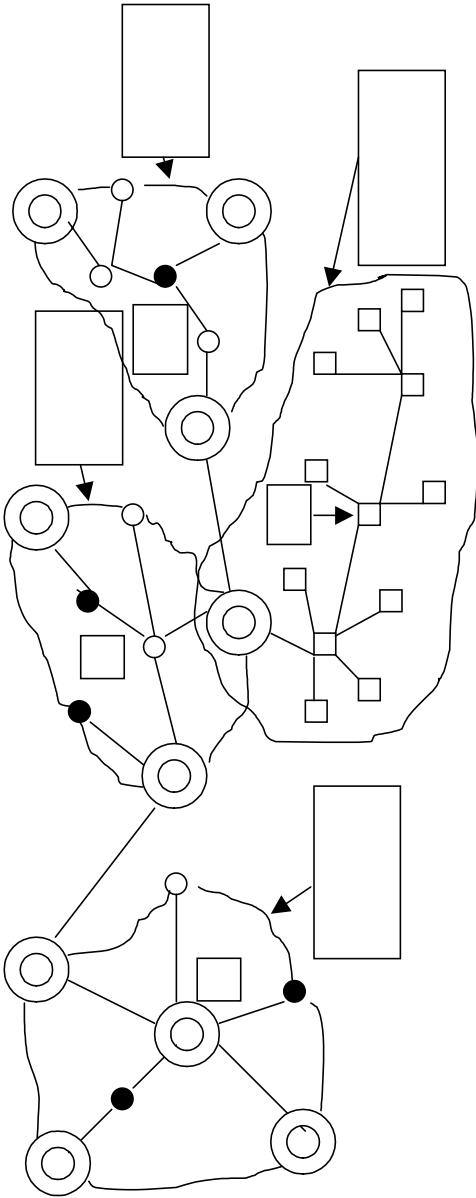
ми підприємствами (районні, городські і інші виділені транспортні вузли) і знаходяться в зоні обслуговування якого-либ магістрального вузла. Все магістральні вузли здійснюють магістральну сортировку вантажів, вузли 4-го типу доставляють всі вихідні потоки на обслуговуючі їх магістральні вузли і отримують вхідні потоки з обслуговуваних їх магістральних вузлів. Зона обслуговування (ЗОУ) будь-якого магістрального вузла представляє собою зв'язний фрагмент магістральної мережі, побудований за наступними правилами: 1) від вузла проходять всі прості шляхи через вузли 2-го і 3-го типів до перших зустрінутих вузлів першого типу і тупикових вузлів другого і третього типів; 2) визначені за правилом 1) вузли першого типу і тупикові вузли з'єднуються умовною межею зони обслуговування. Визначені таким чином області ЗОУ представляють зональні рівні мережі (зональні мережі). Внутрішні рівні мережі (внутрішні мережі) представлені магістральними вузловими транспортними підприємствами і обслуговуваними ними доставочними підприємствами, не лежачими на магістралях.

В вузлах 3-го типу заборонено обробка транзитних потоків єдиничних вантажів і потоків транзитних контейнерів. В вузлах 2-го типу заборонено тільки обробка транзитних потоків єдиничних вантажів. Вихідні і вхідні потоки вузлів 2-го і 3-го типів обробляються в відповідних їм вузлах 1-го типу.

Кожний вузол в мережі має географічні координати, назву, унікальний поштовий індекс і порядковий номер. Кожному магістральному вузлу можна поставити взаємно-однозначне відповідність множеству унікальних поштових індексів обслуговуваних доставочних підприємств, знаходяться в зоні обслуговування цього вузла.

На малюнку 1 показані фрагменти мереж, а також приклади ЗОУ для вузлів 1-го, 2-го і 3-го типів. Фактичне формування ЗОУ і визначення типів вузлів в магістральній мережі виконується при розв'язанні задачі структурно-топологічної оптимізації [19].

Розглянемо коротко принципи сортировки і перевезки мелкопартионних вантажів, положені в основу організації системи контейнерних перевезок. Магістральними напрямками сортировки з кожного магістрального вузла називаються напрямки



Где *i, j, k, m* — соответственно узлы 1-го, 2-го, 3-го и 4-го типов

Рис. 1

сортировки на узлы первого типа. Зональные направления сортировки из каждого магистрального узла представлены направлениями сортировки на магистральные узлы 2-го и 3-го типов, лежащие в ЗОУ или на границе ЗОУ этого узла. Внутренние направления сортировки — это направления сортировки из каждого магистрального узла на сеть доставочных предприятий этого узла.

Схема сортировки потоков мелкопартионных грузов для каждого магистрального узла полностью определяется количеством магистральных, зональных и внутренних направлений сортировки. Количество магистральных направлений сортировки для узлов 1-го, 2-го и 3-го типов определяется после решения задачи оптимального формирования потоков контейнеров [19]. Перевозка мелкопартионных грузов, отсортированных по магистральным направлениям и упакованных в контейнеры, осуществляется на основании схемы магистральных перевозок, полученной после решения задачи оптимизации распределения сформированных потоков контейнеров [19].

Количество зональных и внутренних направлений сортировки для любого магистрального узла определяется конкретной привязкой обслуживаемых узлов 2, 3 и 4 типов, находящихся в ЗО этого узла. Перевозка мелкопартионных грузов по зональным направлениям выполняется по схемам, полученным в результате решения задач планирования и управления в ЗО узла. Перевозка грузов по внутренним направлениям выполняется в основном оптимизированными автомобильными маршрутами, полученными задачами текущего планирования внутренних перевозок.

Поток грузов, поступающий в узел первого типа от зональных и внутренних предприятий, может быть в виде «россыпи» или в контейнерах, а от магистральных предприятий вне ЗОУ — только в контейнерах. Весь входящий поток, поступивший в адрес узла первого типа, рассортировывается аналогично исходящему.

Исходящие и входящие потоки в узлах второго и третьего типов обрабатываются также, как и в узлах первого типа, с той лишь разницей, что магистральные направления сортировки для исходящих потоков ограничены ЗОУ. Потоки из этих узлов, адресованные за пределы ЗОУ, поступают в узлы первого типа, лежащие на границе ЗОУ, и дополнительно рассортировываются.

3. Технология сортировки мелкопартионных потоков грузов, транспортные средства для перевозки контейнеров, контейнерный терминал

Постоянный рост обмена потоками в сети перевозок влечет за собой увеличение грузопотоков и объемов погрузочно-разгрузочных работ. Увеличение обрабатываемых объемов потоков приводит к необходимости создания новой высокопроизводительной техники для сортировки, перевозки и погрузки — выгрузки грузов, дальнейшего развития автоматизации и механизации технологических процессов их обработки и перевозки.

Для сортировки мелкопартионных грузов необходимо использовать высокопроизводительные поточные системы автоматизированной обработки (САОМГ) [22], схема работы которых проиллюстрирована на рисунке 2. Входной поток единичных грузов из общего накопителя (или накопителей) поступает на линии сортировки. Число таких линий регулируется в зависимости от общего объема грузов, ежесуточно поступающего на сортировку. Входной поток включает исходящие, входящие и транзитные грузы и обрабатывается по мере их поступления в непрерывном режиме или с предварительным накоплением в зависимости от интенсивности потока. Устройство считывания уникальных почтовых индексов грузов (или их расширенных штрих-кодов), расположенное в начале каждой линии, считывает индексы и передает их в ЭВМ. Расширенный штрих-код может содержать данные об индексах предприятий отправителя и получателя; о кодах юридических или физических лиц отправителей и получателей; о дате приема груза в транспортном предприятии отправителя и пр. Такая расширенная информация о каждом грузе дает возможность автоматизированного отслеживания его продвижения от отправителя к получателю. В памяти ЭВМ хранятся сортировочные таблицы, содержащие группы индексов, соответствующие каждому направлению сортировки. Общее число направлений сортировки определяется суммой магистральных, зональных и внутренних направлений. В соответствии с расшифрованным индексом груз направляется в нужный накопитель. Состав групп индексов, соответствующих внутренним и зональным направлениям сортировки,

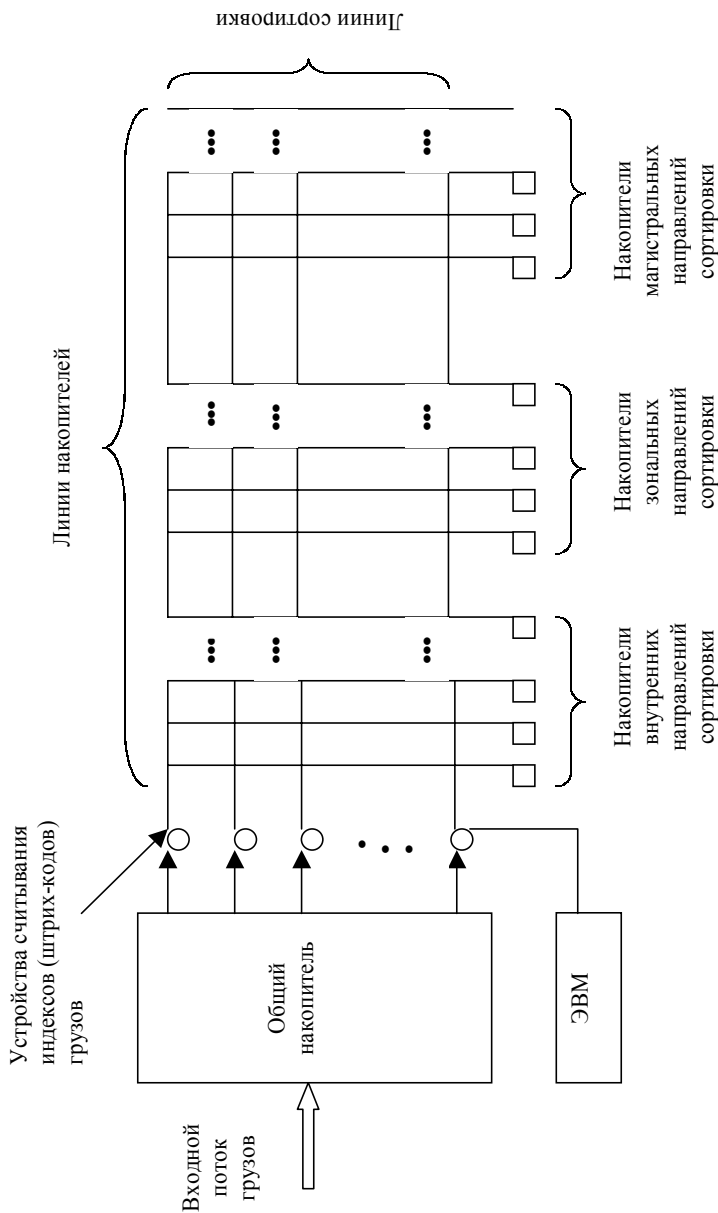


Рис. 2

практически постоянен и изменяется только при введении новых предприятий, обслуживаемых данным узлом или изменении зоны обслуживания узла. Число и состав магистральных направлений сортировки определяются после решения задачи оптимального формирования потоков контейнеров.

В узлах 1-го типа предполагается установка отечественных или импортных поточных сортировочных систем. В остальных магистральных узлах возможна установка менее производительных, но более дешевых систем. На этапе опытного внедрения, при отсутствии дорогостоящего оборудования, для сортировки грузов могут быть использованы ручные сканеры штрих-кодов на рабочих местах сортировщиков.

Для перевозки мелкопартионных грузов в контейнерах необходима разработка и отечественное промышленное производство (или приобретение у других стран) современных контейнеров, погрузчиков и транспортных средств для перевозки контейнеров, оснащенных средствами полной механизации и автоматизации процессов погрузки-выгрузки контейнеров. Кроме того, в магистральных узловых предприятиях необходимо строительство и оборудование контейнерных терминалов, способных обеспечить необходимую производственную мощность для обработки входящих, исходящих и транзитных контейнеров.

Таким образом, очевидно, что контейнерная технология обработки грузов требует весьма значительных капитальных затрат и должна внедряться поэтапно с учетом ежегодно выделяемых инвестиций.

4. Инфраструктура пространственных данных сети перевозок. Структурная схема системы управления контейнерными перевозками мелкопартионных грузов

Для создания и распространения механизмов хозяйствования и управления в зонально-узловой сети перевозок необходимы организационная, информационная, телекоммуникационная инфраструктуры связей, а также распределенные вычислительные ресурсы, охватывающие все уровни иерархии сети. Отсутствие или бедность инфраструктуры существенно тормозит процесс установления связей. С экономической точки зрения, неразви-

тость, неразветвленность инфраструктуры сети перевозок способствует также ее монополизации, усугубляющей (в отсутствие централизованного управления) экономическую ситуацию и приводит к тенденции консервации инфраструктуры.

За счет многочисленных связей и зависимостей в сети перевозок часто проявляется «каскадный эффект», когда перегрузка одного или нескольких магистральных узлов или маршрутов приводит к перегрузке и выходу из строя многих других элементов сети.

Все это обуславливает необходимость создания инфраструктуры пространственных данных (ИПД) и геоинформационной системы (ГИС) сети перевозок. Для сети перевозок ИПД и ГИС должны обеспечить всем диспетчерским службам интерактивный картографический доступ к наборам пространственных данных, характеризующих состояние узлов и транспортных магистралей в реальном времени, а также к решению различных задач прогнозирования, анализа, перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления на всех уровнях иерархии сети перевозок. Доступ может осуществляться через ведомственные каналы связи или Интернет посредством веб-серверов и обычного веб-браузера (например, Internet Explorer).

Кроме того, для эффективного управления системой КПМГ необходима разработка математических моделей для проектирования и исследования процессов сортировки и перевозки мелкопартионных грузов, а также экспертно-аналитических систем поддержки принятия решений в реальном масштабе времени. Задачи, которые здесь возникают, связаны с: перспективным развитием зонально-узловой структуры сети КПМГ (задача определения состава узлов 1-го, 2-го и 3-го типов и их взаимосвязей); проектированием текущих (среднесрочных) схем сортировки и перевозки грузов (задача оптимизации формирования контейнеров и задачи оптимизации распределения потоков груженых и порожних контейнеров); оперативным управлением потоками в сети, распределением ресурсов между узлами сети, анализом возможностей улучшения работы сети за счет рационального перераспределения потоков.

Специфика задач принятия решений (как управляющих, так и проектировочных) для системы контейнерных перевозок оп-

ределяется, прежде всего, наличием общего разделяемого ресурса между различными транспортными ведомствами и предприятиями — транспортных магистралей. В условиях дефицита ресурсов сети возникают отказы, потери, задержки и ухудшение качества работы всей транспортной системы, поэтому необходимо минимизировать различные факторы риска и гарантировать конечный результат — доставку грузов адресату.

Как и всем реальным сетевым системам, сети перевозок присущи свойства многообразия и сложности выполняемых функций, функционирование в условиях неполной информации и воздействия случайных факторов. Проблема принятия решений в условиях неопределенности связана не только с объективной, но и с субъективной неопределенностью, когда некоторые текущие параметры сети (загрузка узлов, транспортных магистралей) известны отдельным диспетчерским службам, но не известны главной диспетчерской службе, ответственной за принятие окончательного решения. Схема функционирования сети КПМГ может отличаться от расчетной, полученной на этапе проектирования, поэтому естественна ее корректировка в процессе перераспределения потоков, т. е. характерна многоэтапность процедуры принятия решений. Методика проектирования системы контейнерных перевозок должна отражать невозможность полной централизации в одном звене обработки информации и принятия решений по управлению процессами сортировки и перевозки грузов. Это приводит к необходимости формирования иерархической структуры системы автоматизированного проектирования и управления, соответствующей уровневой декомпозиции сети перевозок (магистральный, зональный и внутренний уровни) и этапной декомпозиции самого процесса проектирования и управления (модели перспективного развития, текущего планирования, оперативного управления).

Процесс проектирования системы КПМГ имеет, как правило, нисходящий характер, т. е. протекает преимущественно «сверху-вниз». При этом на низших уровнях проектирования детализация проектируемых объектов должна увеличиваться с целью уточнения параметров и характеристик текущего функционирования и оперативного управления и принятия наиболее

рациональных решений. Это обуславливает итерационно-циклический характер процесса проектирования, включающего процедуры синтеза и анализа возможных решений. Поскольку решения принимаются в условиях неопределенности, связанных с неполнотой имеющейся информации на ранних этапах проектирования, а также с огрублением математических моделей, необходимо разделять решения на перспективные, текущие и оперативные.

Решение этих проблем неразрывно связано с созданием и внедрением уникальной автоматизированной информационной системы сбора и хранения данных о контейнерных перевозках мелкопартионных грузов (АИС КПМГ), обеспечивающей требуемое качество и соответствующий статус циркулирующей в ней информации. Это, в свою очередь, определяет необходимость обеспечения соответствующих требований к показателям качества функционирования АИС, и в первую очередь к ее надежности. Недостаточная надежность АИС ухудшает в целом ряд показателей качества обрабатываемой в ней информации, в том числе ее физическую целостность, достоверность, полноту, безопасность и приводит к угрозе принятия неэффективных решений должностными лицами в процессе управления.

Как уже отмечалось выше, АИС КПМГ должна представлять собой информационно-картографическую систему на базе новейших информационных технологий — инфраструктуры пространственных данных, геоинформационных систем и распределенных вычислительных сетей (Grid-сетей). При этом на главном узле управления (главном центре магистральных перевозок мелкопартионных грузов) размещаются: главный геопортал, распределенная база данных и метаданных, управляемые системой управления базами данных (СУБД), база знаний, специализированное программное обеспечение, ГИС-сервер, веб-сервер, прикладное программное обеспечение магистрального уровня. На всех магистральных узлах размещаются локальные (зональные и внутренние) базы данных, специализированное и прикладное программное обеспечение.

АИС должна включать глобальную сеть передачи данных (ведомственные каналы связи или Интернет), соединяющую все предприятия в сети контейнерных перевозок и локальные вычислительные сети (ЛВС) в магистральных узлах. Информа-

ционно-картографическая система КПМГ предоставляет возможность работать с многослойной электронной картой узлов и транспортных магистралей сети перевозок. На карте можно одновременно или в любой комбинации видеть узлы, 30 узлов, транспортные магистрали, выделенные фрагменты сети (полигоны), маршруты движения транспортных средств, плановую и текущую загрузку узлов и транспортных средств на маршрутах движения, объемы неотправленных вовремя грузов в узлах сети и множество другой информации, характеризующей сеть перевозок. При этом можно изменять масштаб изображения, переключаться на разные слои электронной карты, вызывать различные прикладные программы.

На рисунке 3 представлена примерная структурная схема системы управления КПМГ. Как видно из рисунка, при разработке такой системы возникает проблема создания специализированного математического обеспечения, периферийных информационных сетей и систем, обеспечивающих прием, передачу, обработку и хранение информации. Решение проблемы включает следующее: разработку программного комплекса управления КПМГ на каждом уровне планирования; выбор структуры региональной сети ЭВМ, которая должна отображать иерархию сети перевозок; выбор систем связи, аппаратных средств и режимов передачи информации; создание автоматизированных систем управления технологическими процессами сортировки мелкопартионных грузов (САОМГ) и обработки контейнеров на контейнерном терминале (КТ).

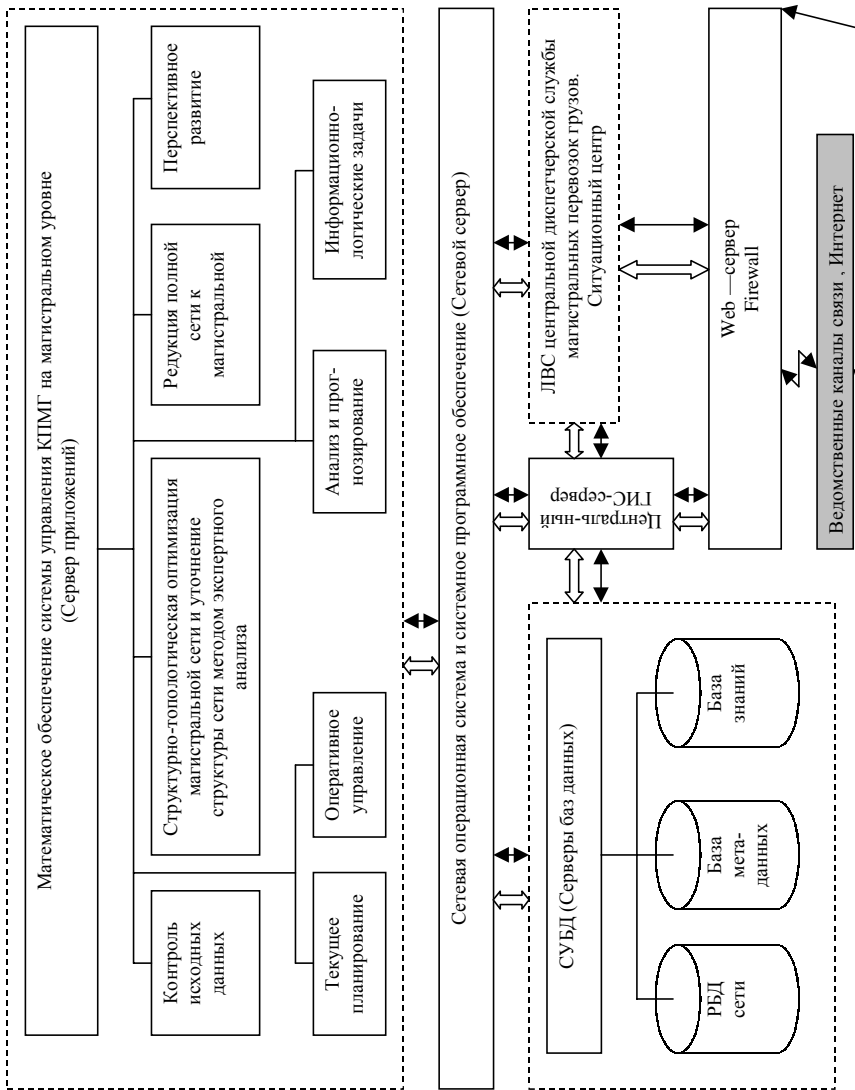
Приведем некоторые особенности решения и характеристики основных задач системы управления КПМГ. В настоящее время одним из главных направлений в развитии автоматизированных систем управления, систем обработки данных, является создание такой вычислительной среды, при которой пользователи системы работали бы наиболее эффективно с минимальными непроизводительными затратами. Таким образом, возникает задача автоматизации функций информационного обеспечения в управлении КПМГ. Методологической основой этого является применение комплексного подхода к проектированию системы переработки информации, подразумевающего создание такой системы, функционирующей на единой информационной базе, в которой процессы получения

справочной информации и процессы управления переработкой и хранением информации функционально и организационно отделены друг от друга.

Поэтому комплекс программ управления КППМГ должен использовать специализированные базы данных (БД), основная функция которых состоит в поддержании в системе динамической информационной модели сложного управляемого и исследуемого объекта и обеспечение коллективного доступа к этой информации со стороны заинтересованных пользователей. При использовании баз данных, процесс формирования, накопления и ведения информационной базы выделяется в автономный, который связан с программами прикладных задач только информационно.

Вся необходимая оперативная информация о сети (объемы суточных потоков в узлах сети, маршруты и провозные возможности магистрального транспорта, пропускные способности узловых предприятий и множество другой текущей информации) поступает в распределенную базу данных (РБД) через аппаратуру передачи данных (АПД) и ведомственные каналы связи или Интернет от магистральных узлов и доставочных предприятий. В РБД хранится и обновляется с определенной периодичностью вся информация, необходимая для решения задач управления системой КППМГ на магистральном уровне. Назначение базы данных заключается не только в поддержании в актуальном состоянии исходных информационных массивов, но и в хранении результатов решения всех задач управления КППМГ на магистральном уровне. База метаданных содержит стандартизованный набор сведений — каталог (например, в стандарте метаданных ISO19139) обо всех существующих информационных ресурсах сети и их расположении в АИС КППМГ. В базе знаний располагается и накапливается информация для оперативного реагирования и принятия решений в случае возникновения внештатных ситуаций. База знаний и ситуационный центр используется в основном в экспертно-обучающей системе диспетчеров при анализе и выборе альтернативных вариантов выхода из критических состояний сети КППМГ (перегрузках маршрутов и узлов, отказов сортировочного оборудования и контейнерных терминалов и т. п.).

Данные в базах хранятся в виде геоданных — модели, определяющей структуру и правила хранения различных видов данных —



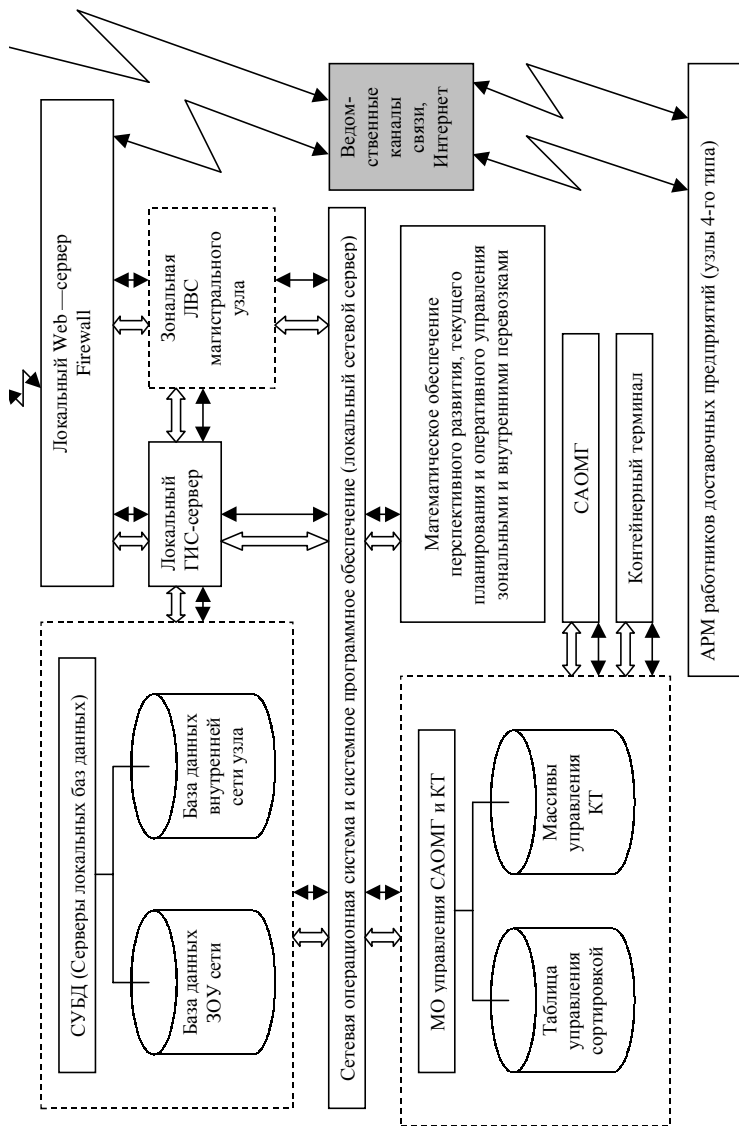


Рис. 3

векторных и растровых, адресных точек, данных геодезических измерений, числовых, текстовых, табличных и других [25]. Центральный ГИС сервер осуществляет требуемую функциональную геообработку и визуализацию данных на рабочих местах ЛВС центральной диспетчерской службы магистральных перевозок и экране ситуационного центра. Управление базами данных осуществляется системами управления базами данных (СУБД). Web-серверы с межсетевой защитой (Firewall) обеспечивают разграниченный доступ различных пользователей к ресурсам системы управления КППМГ.

Рассмотрим кратко состав и функции математического обеспечения планирования и управления на магистральном уровне.

Комплекс программ контроля исходных данных предназначен для контроля и диагностики исходных массивов информации и позволяет выявить синтаксические и логические ошибки, допущенные при подготовке данных, а также обеспечивает контроль объективности информации, поступающей по каналам связи от удаленных абонентов.

При решении задачи структурно-топологической оптимизации формируется структура магистральной сети перевозок. Поскольку при решении задачи не удастся формализовать все факторы, влияющие на оптимальную структуру магистральной сети, для окончательного выбора структуры сети используется опыт практических работников транспортных предприятий.

Программы редукции предназначены для автоматизированного преобразования данных полной сети в данные для магистральной сети. Как указывалось выше, организация системы управления КППМГ требует наличия централизованной базы данных, поддерживающей информационную модель полной сети перевозок, а также сети и средств автоматизированного сбора данных. В связи с этим возникает вопрос, какие узлы следует включить в сеть сбора данных? Естественное стремление к уменьшению числа пунктов сбора данных и концентрации обработки информации в крупных узловых предприятиях (например, в узлах первого, второго и третьего типов) с точки зрения организации системы сбора и передачи данных наиболее приемлемо. Однако, следует учитывать, что, во-первых, для выбора структуры и топологии магистральной сети а также для решения разнообразных задач на зональных и внутренних уровнях сети,

необходима информация о полной сети транспортных предприятий; во-вторых, без решения задачи структурно — топологической оптимизации априори трудно судить о том, какие узлы должны быть узлами сбора данных. Кроме того, для постоянно развивающейся сети перевозок неизбежно периодическое изменение структуры сети с переводом узловых предприятий с одного уровня на другой. Перестройка структуры сети вызывает определенные трудности в организации системы сбора данных в крупных узловых предприятиях, так как сбор данных должен осуществляться с учетом принципов зонально-узловой сортировки. В этом случае возникает также задача перестройки информационной базы данных сети перевозок. Поэтому наиболее правильным решением будет то, когда все предприятия транспортной системы (узлы 1-го, 2-го, 3-го и 4-го типов) будут являться источниками информации. Тогда перестройка структуры сети не вызовет никаких изменений в организации и обработке данных на уровне узлов, а все функции, связанные с переработкой данных в соответствии с иерархической структурой выбранной магистральной сети, могут быть выполнены процедурами редукции централизованно автоматизированным способом. Редукции подлежат все данные, используемые для решения задач перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления на магистральном уровне. При преобразовании данных используются принципы иерархического соподчинения узлов, что обуславливает и логическое преобразование данных.

К задачам перспективного развития КПМГ, прежде всего, относится задача оптимизации поэтапного управления развитием производственно-транспортной системы с учетом поэтапного развития всех возможностей качественного организационно-технического совершенствования ее структуры при наличии ограничений на капитальные вложения и возможности их освоения [23]. Кроме того, в эту группу включены задача оптимизации поэтапного плана развития контейнерных транспортных маршрутов и задача корректировки структуры сети с учетом развития промышленно-территориальных комплексов. В первой задаче подразумевается построение новых, ранее не существовавших маршрутов, а во второй — расширение маги-

стральной сети с учетом строительства и освоения новых хозяйственных объектов на территории Украины.

Важное место в составе математического обеспечения системы управления КПМГ на магистральном уровне занимают задачи проектирования схемы контейнерных перевозок, которые дают рациональные решения на среднесрочные планируемые периоды и нацелены, главным образом, на эффективное использование имеющихся ресурсов транспортных предприятий. Именно этот класс задач является первоочередным объектом исследований, так как их решение позволяет получить магистральный план направления мелкопартионных грузов в контейнерах на начальных этапах внедрения, когда не на всех узловых предприятиях и магистралях имеются условия для полного внедрения контейнерной технологии.

Первая задача проектирования схемы КПМГ возникает при сортировке грузов в магистральных узлах [19]. Она заключается в определении оптимального количества магистральных направлений сортировки и называется задачей оптимального формирования потоков контейнеров. Результатом решения этой задачи является схема сортировки потоков мелкопартионных грузов в каждом магистральном узле и схема адресации сформированных контейнеропотоков. Вторая задача заключается в балансировке результирующей магистральной матрицы контейнеропотоков, основанной на оптимизации развозки порожних контейнеров. Окончательно сформированная магистральная матрица контейнеропотоков является исходной для задачи оптимального распределения и маршрутизации потоков контейнеров, решение которой определяет схему перевозок на сети контейнерных маршрутов транспортных средств всех видов (железнодорожные, автомобильные, авиа- и водные маршруты) [19].

Среди задач оперативного управления магистральными перевозками выделим наиболее важные: анализ очередей в магистральных узлах и загрузки транспортных магистралей и выработка управляющих решений; корректировка схем сортировки грузов в узловых предприятиях и схемы перевозок порожних и груженых контейнеров на магистральной сети при возникновении перегрузок, отказов и т. п.; оперативный учет и планирование парка транспортных средств и контейнеров для устойчивого управления КПМГ.

Группа задач анализа и прогнозирования обеспечивает диспетчерский аппарат управления некоторой дополнительной информацией, позволяющей анализировать технико-экономические показатели организации и функционирования КППМГ. Сюда относятся задачи анализа загрузки элементов сети перевозок, расчета контрольных сроков продвижения (доставки) единичных грузов и контейнеров, получения различных характеристик транспортных сетей, прогнозирования исходящих потоков и многие другие. Задачи анализа и прогнозирования тесно связаны с задачами оперативного управления магистральными перевозками и, по-сути, являются информационным обеспечивающим звеном для своевременного реагирования и принятия решений в случае возникновения внештатных ситуаций. Результаты выполнения задач прогнозирования используются для составления перспективных магистральных планов перевозок и являются исходными данными для задачи оптимизации поэтапного управления процессом контейнеризации.

Группа информационно-логических задач входит в состав информационно-справочной подсистемы КППМГ, работающей в режиме диалога, управляемого диспетчером-экспертом и предназначена для выдачи на экраны персональных компьютеров и ситуационного центра конкретно запрашиваемой информации в картографическом виде. Так, например, на картографической схеме могут быть отображены: загрузка выбранных транспортных магистралей с перечислением проходящих по ним транспортных средств, адресных потоков контейнеров и содержащихся в них единичных грузов; схемы сортировки мелкопартионных потоков для указанных узловых предприятий; маршруты следования отдельных адресных единичных грузов и контейнеров с указанием транспортных средств, узлов перегрузки и сроков доставки конечному потребителю; объемы исходящих, входящих и транзитных единичных грузов и контейнеров в узлах сети перевозок; технико-экономические показатели функционирования узловых предприятий и транспортных средств (величины эксплуатационных расходов на сортировку, погрузку-выгрузку, транспортировку единичных грузов и контейнеров, рабочий парк контейнеров и транспортных средств и пр.). Доступ к информации возможен с локаль-

ных и удаленных ПЭВМ и разграничен между пользователями системой паролей. Многие функции задач анализа и прогнозирования, а также оперативного управления выполняются посредством кодирования специальных запросов к группе информационно-логических задач. Выходная информация может быть получена и в виде печатных документов, например, в удобной и привычной для диспетчеров форме маршрутных листов, схем детальной сортировки грузов в узловых транспортных предприятиях и т. п.

Математическое обеспечение управления зональными и внутренними перевозками включает: задачи контроля, учета и анализа; задачи перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления в зонах детальной сортировки магистральных узлов и на внутренних уровнях сети перевозок; информационно-логические задачи. Главная цель оптимизационных задач заключается в получении детальных планов транспортировки грузов в контейнерах и россыпью в пределах зон обслуживания магистральных узлов и в разработке рациональных маршрутов перевозок грузов автотранспортом по доставочным предприятиям этих узлов. Функции остальных задач во многом аналогичны функциям задач на магистральном уровне.

Кроме общего математического обеспечения планирования и управления на магистральных узловых предприятиях необходимо иметь системы управления технологическими процессами обработки потоков мелкопартионных грузов на САОМГ и обработки исходящих, входящих и транзитных контейнеров на контейнерном терминале — КТ, работающие в реальном масштабе времени. Для управления САОМГ и КТ используются таблицы управления сортировкой и информационные массивы управления контейнерным терминалом. Эта управляющая информация является результатом решения задач оптимизации формирования потоков контейнеров, распределения и маршрутизации сформированных контейнеропотоков и задач оперативного управления зонального уровня.

На рисунке 4 показана последовательность решения задач проектирования КПМГ, иллюстрирующая их взаимосвязь с задачами перспективного развития и оперативного управления, возникающими как на магистральном, так и на зональном уровнях. Процесс разработки схемы КПМГ начинается этапом контроля и диагностики исходных данных о полной

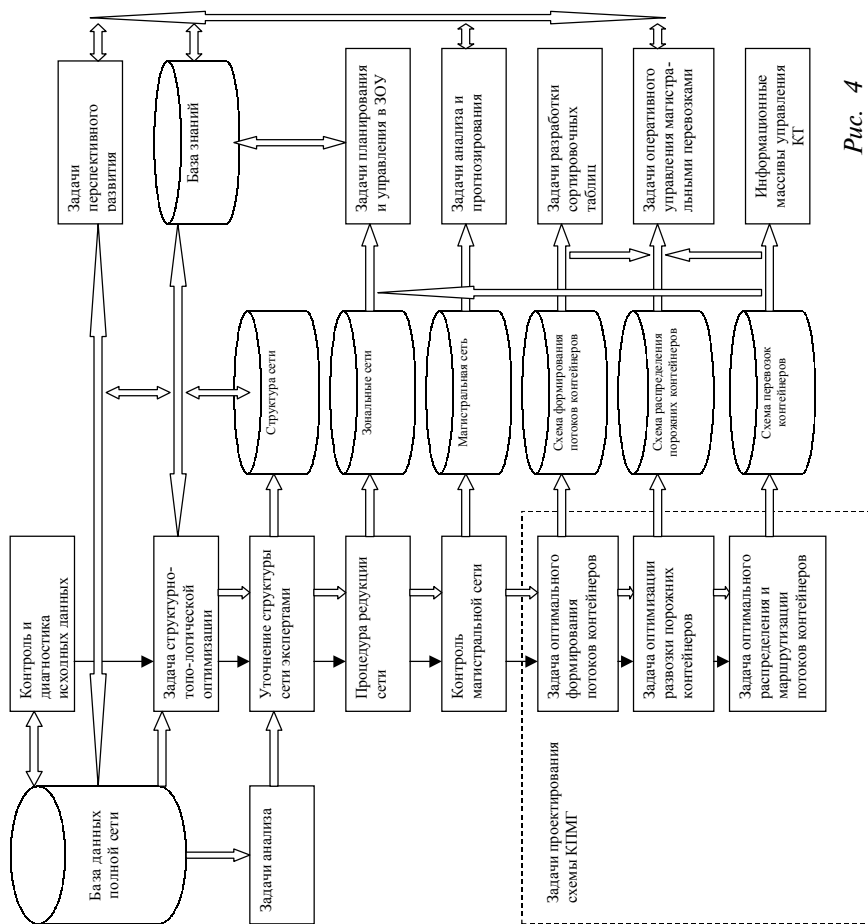


Рис. 4

сети перевозок, включающей узлы 1-го, 2-го, 3-го и 4-го типов. На втором этапе, после успешного контроля, одновременно решаются задача структурно-топологической оптимизации и задачи анализа, позволяющие получить предварительные характеристики сети — загруженность узловых предприятий и магистрального транспорта, контрольные сроки доставки грузов, альтернативные варианты формирования ЗОУ для некоторых фрагментов сети и другие. По полученным данным производится уточнение структуры сети опытными экспертами и определяется окончательная топология сети магистральных перевозок. На третьем этапе осуществляется процедура редукции сети. Данные автоматически преобразовываются в соответствии с принятой структурой сети и принципами иерархического соподчинения узлов, формируются массивы зональных сетей.

Информационные массивы магистральной сети перед выводом на внешний накопитель подвергаются дополнительному контролю, поскольку после процедуры редукции магистральная сеть может оказаться несвязной. На четвертом этапе решаются оптимизационные задачи проектирования КПМГ и определяется схема магистральных перевозок грузов в контейнерах. Результаты решения первой задачи используются для разработки сортировочных таблиц, управляющих магистральной сортировкой в узловых предприятиях, а также в задачах оперативного управления на магистральном уровне. Схема магистральных перевозок и схема распределения порожних контейнеров являются исходными данными для задач планирования перевозок в зонах обслуживания узла и для задач оперативного управления магистральными перевозками.

Поскольку схема перевозок дает полную картину не только процесса перевозки контейнеров, но и план их погрузки-выгрузки в узловых предприятиях, на ее основе разрабатываются информационные массивы управления контейнерным терминалом (КТ), определяющие порядок обработки исходящих, входящих и транзитных контейнеров. Совместное использование результатов решения задач анализа, прогнозирования и проектирования схемы перевозок позволяет решать задачи перспективного развития системы КПМГ [17]. Так, например, результаты решения задачи проектирования схемы магист-

ральных перевозок при использовании прогнозируемых на перспективу магистральных потоков являются исходными данными для построения новых маршрутов магистрального транспорта.

Важным вопросом в системе управления КПМГ является выбор дискрета времени планирования для различных задач. Как правило, перспективные планы разрабатываются на пятилетия и более долгосрочные периоды. Для задач текущего планирования характерно построение схем перевозок для нескольких периодов на протяжении года. В частности, в работе [24] было показано, что разработка схемы магистральных перевозок должна выполняться пять раз в год в зависимости от сезонных колебаний потоков. При этом, в качестве мгновенных потоков, распределяемых по сети, рекомендуется использовать среднесуточные планируемые потоки, рассчитанные для конкретных периодов. Использование среднесуточных потоков в задачах текущего планирования связано с двумя важными факторами, сопутствующими обработке и перевозке мелкопартионных грузов: ритмичностью производственных процессов и стремлением связать текущее планирование с задачами оперативного управления, где в качестве дискрета времени принимаются одни сутки. Первый фактор наиболее сильно проявляется при сортировке потоков и связан с контрольными сроками обработки грузов в узловых предприятиях, а также с расписанием движения магистрального транспорта. В этом смысле ежедневное курсирование транспортных средств через узловые предприятия на всех маршрутах является наиболее приемлемым, так как позволяет установить четкую ритмичность отправки контейнеров, сформированных за сутки. Второй фактор обусловлен тем, что иногда в реальных условиях управления граница между текущими и оперативными решениями стирается. Например, задача распределения порожних контейнеров должна решаться как на уровне текущего планирования, так и при оперативном управлении.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод о том, что взаимосвязь задач, наличие обратной связи в системе управления, стирание граней в отдельных случаях между задачами текущего планирования и оперативного управления позволяет гибко управлять процессами перевозки на всех уровнях иерар-

хия сети. При этом, основное преимущество иерархического подхода заключается в том, что он позволяет избежать недостатков, сопряженных с одновременным рассмотрением перспективных, текущих и оперативных решений в одной единственной модели, охватывающей все уровни иерархии.

5. Типовые задания по разработке информационного обеспечения и автоматизации процессов поддержки принятия решений при проектировании функционирования многопродуктовых транспортных сетей с мелкопартионными дискретными потоками

В заключении статьи приведем, на наш взгляд, первоочередные задания по повышению эффективности функционирования сетей перевозок мелкопартионных грузов.

Задание 1. «Разработка методов и выбор инструментальных средств для проектирования автоматизированной информационной системы сбора и хранения данных о перевозках мелкопартионных грузов». Задание включает:

- разработку структуры и форм документов первичного учета данных о перевозках мелкопартионных грузов;
- разработку критериев и алгоритмов проверки данных в документах первичного учета;
- проектирование типовой локальной вычислительной сети и локальной базы данных для узлов — источников данных о перевозках;
- проектирование типовой локальной вычислительной сети и локальной базы данных для магистральных узловых транспортных предприятий;
- проектирование глобальной межузловой сети передачи данных и распределенной централизованной базы данных в главном диспетчерском узле транспортной сети;
- разработку методов и информационных процессов обработки данных в местах первичного учета, локальных базах данных, распределенной централизованной базе данных;
- разработку схем передачи данных по каналам связи;
- разработку методов информационного моделирования данных для решения прикладных задач перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления в сети перевозок.

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

Основными научными и практическими результатами исследований задания 1 являются:

- обобщенное представление об информационном ресурсе, объединяющем как традиционные базы данных, так и документы в их толковании в соответствии с международным стандартом на структуру документов о перевозках грузов;

- методология комплексного проектирования информационного обеспечения перевозок мелкопартионных грузов на основе единой интегрированной концептуальной модели предметной области;

- методы отображения данных как логических единиц документа в концептуальную модель предметной области;

- критерии корректности процессов обмена данными между информационными ресурсами системы и алгоритмы их проверки;

- структура типовой локальной вычислительной сети, типовая локальная база данных и технология обработки данных в узлах-источниках данных о перевозках и в магистральных узловых транспортных предприятиях;

- структура глобальной межузловой сети передачи данных, распределенная централизованная база данных, метаданных и технология обработки и хранения данных в главном диспетчерском узле сети перевозок;

- схема передачи данных по каналам связи между всеми узлами сети перевозок.

Полученные результаты составят методическую основу для разработки и внедрения автоматизированной информационной системы сбора и хранения данных о контейнерных перевозках мелкопартионных грузов.

Задание 2. «Разработка комплекса методов и средств автоматизации поддержки процессов принятия оперативных решений в системе контейнерных перевозок мелкопартионных грузов». Задание включает:

- разработку состава комплекса;

- проработку общей методологии процессов принятия оперативных решений на основе баз данных и баз знаний;

- разработку и программную реализацию макетов подсистем управления базами данных и управления базами знаний.

Основными научными и практическими результатами исследований задания 2 являются:

- модель процессов принятия оперативных решений по управлению контейнерными перевозками в экстремальных условиях;
- рабочий макет программных средств анализа альтернативных решений, генерируемых системой при поддержке принятия решений в задачах организационного управления.

Базовый состав комплекса должен включать: подсистему управления базами данных; подсистему управления базами знаний; подсистему ведения каталогов прикладных программ; подсистему описания знаний и модели среды; подсистему настройки на пользователя; подсистему моделирования последствий решений; подсистему обучения.

Задание 3. «Провести исследования технологий обработки мелкопартионных грузов в транспортных предприятиях и разработать комплекс методических материалов по проектированию автоматизированных рабочих мест (АРМ) работников транспортных предприятий и действующих макетов АРМ для контейнерной технологии обработки мелкопартионных грузов». Задание включает:

- выбор и обоснование методов проектирования АРМ работников транспортных предприятий для контейнерной технологии обработки грузов;
- анализ и разработку технологий обработки данных первичного учета для контейнерных перевозок грузов;
- разработку методик и инструментария проектирования типовых АРМ работников транспортных предприятий;
- разработку действующих макетов АРМ.

Основными научными и практическими результатами исследований задания 3 являются:

- технология обработки данных первичного учета для контейнерных перевозок мелкопартионных грузов;
- методика и инструментарий проектирования типовых АРМ работников транспортных предприятий;
- действующие макеты АРМ.

Макетные варианты АРМ будут использованы на тех объектах, где будет проводиться их экспериментальное внедрение, а также при соответствующей доработке, могут послужить

основой для создания соответствующих серийных образцов и их дальнейшего тиражирования.

Задание 4. «Разработать экспертно-обучающую систему диспетчеров для автоматизированного составления магистральных планов направления мелкопартионных грузов в контейнерах». Задание включает:

- проведение технико-экономического обоснования создания и внедрения экспертно-обучающей системы диспетчеров;
- разработку концептуальных подходов к построению экспертно-обучающей системы диспетчеров, позволяющей в интерактивном режиме решать задачи перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления контейнерными перевозками;
- разработку проекта технического задания, включающего общую схему экспертно-обучающей системы и схему ее программной реализации;
- разработку экспертно-обучающей системы диспетчеров.

Основными научными и практическими результатами исследований задания 4 являются:

- технико-экономического обоснования создания и внедрения экспертно-обучающей системы диспетчеров;
- первичный состав базовых терминов, понятий и форм представления информации при моделировании задачи составления магистральных планов направления мелкопартионных грузов в контейнерах;
- техническое задание на разработку экспертно-обучающей системы диспетчеров;
- действующий макет экспертно-обучающей системы диспетчеров.

По результатам исследования возможных подходов к выработке принципов конструирования прототипов экспертно-обучающей системы диспетчеров и к системному представлению знаний в области автоматизации контейнерных перевозок будет сформулирован набор необходимых для последующего использования средств: понятий, терминов, методов и процедур. Эти средства в соответственно структурированной форме (геоданных) будут скомпонованы для представления на экране персонального компьютера в виде относящихся к отдельным

сценариям групп компьютерных «кадров», образующих соответствующий каждому сценарию «виртуальный экран». Программный макет демонстратора разрабатываемой системы, должен включать компьютерные «кадры» и сценарии составления магистрального плана направления мелкопартионных грузов в контейнерах, а также сценарии для решения задачи оптимизации топологической структуры сети контейнерных перевозок.

Задание 5. «Провести исследования и разработать математическое обеспечение для решения задач перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления контейнерными перевозками мелкопартионных грузов на транспортных магистралях». Задание включает:

- исследование концептуальных моделей сети перевозок мелкопартионных грузов в контейнерах с позиций общей теории систем и программно-целевого подхода к управлению, иерархических теорий многоуровневых систем, теории неформальных структур и связей, теории фреймов и семантических сетей, нейронных сетей, типологии информационных потоков и теории принятия решений;

- исследование и разработку математических моделей, методов, алгоритмов и программ для решения задач перспективного развития, текущего планирования и оперативного управления на всех уровнях иерархии сети контейнерных перевозок;

- исследование и разработку математических моделей, методов, алгоритмов и программ для решения задач анализа и прогнозирования перевозок грузов в контейнерах.

Основными научными и практическими результатами исследований задания 5 являются:

- модель сети перевозок мелкопартионных грузов в контейнерах;
- математические модели, методы, алгоритмы и программы для решения задач перспективного развития, текущего планирования, оперативного управления, анализа и прогнозирования перевозок грузов в контейнерах.

Практическая реализация результатов задания 5 возможна после создания и внедрения:

- распределенной автоматизированной информационной системы сбора и хранения данных о контейнерных перевозках мелкопартионных грузов;

- комплекса средств автоматизации процессов передачи информации и принятия оперативных решений в системе контейнерных перевозок;
- автоматизированных рабочих мест (АРМ) работников транспортных предприятий по первичному учету данных о потоках мелкопартионных грузов в сети контейнерных перевозок;
- экспертно-обучающей системы диспетчеров для автоматизированного составления магистральных планов направления грузов в контейнерах.

* * *

1. Андрианов В.Ю. Инфраструктура пространственных данных / В.Ю. Андрианов // ArcReview. — 2006. — № 2. — http://www.datar.ru/Arcrev/Number_37/1_SDI.html.
2. Assad A.A. Multicommodity network flows: A survey / A.A. Assad // Networks. — 1978. — V. 8. — N. 1. — P. 37—91.
3. Kennington J.L. A survey of linear cost multicommodity network flows / J.L. Kennington // Oper. Res. — 1978. — V. 26. — N. 2. — P. 206—236.
4. Grigoriadis M.D. Fast approximation schemes for convex programs with many blocks and coupling constraints / M.D. Grigoriadis, L.G. Khachiyan // SIAM J. Optimization, 1994. V.4.
5. Grigoriadis M.D. Approximate minimum-cost multicommodity flows in $O(?^2KNM)$ time / M.D. Grigoriadis, L.G. Khachiyan / Tech. Rep. LCSR-TR-245, Department of Computer Science, Rutgers University, New Brunswick, NJ, May 1995.
6. Синтез и анализ живучести сетевых систем / Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова. — М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007. — 152 с.
7. Васянин В.А. Сравнительная эффективность алгоритмов оптимизации упаковок в мультипоточковых сетях / В.А. Васянин // Дискретные системы управления: Сб. науч. тр. — К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР, 1988. — С. 36—45.
8. Васянин В.А. Об одной задаче дискретной оптимизации в процессах управления перевозками на мультипоточковых транспортных сетях / В.А. Васянин // Кибернетика и вычислит. техника. — 1983. — Вып. 60. — С. 82—87.

9. Васянин В.А. Субоптимальный алгоритм решения задачи маршрутизации перевозок / В.А. Васянин, А.И. Савенков // Автоматика. — К., 1982. — № 6. — С. 5—9.

10. Васянин В.А. Пакет программ для решения задач оптимизации распределения дискретных потоков в многопродуктовых сетях большой размерности / В.А. Васянин, А.И. Савенков // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: материалы международной научной конференции, Евпатория, Украина. — 2008. — Том 2 (часть 1). — С. 41—44.

11. Вишнеvский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишнеvский. — М.: Техносфера, 2003. — 512 с.

12. Dantzig G.B. Decomposition Algorithm for linear programming / G.B. Dantzig, Ph. Wolfe // *Econometrica*. — 1961. — V. 29. — № 4. — P. 767—778.

13. Rosen J.B. Convex partition programming / J.B. Rosen // In *Recent advances in mathematical programming*. — New York, 1963. — P. 159—176.

14. Лэсдон Л.С. Оптимизация больших систем / Л.С. Лэсдон. — М.: Наука, 1975. — 432 с.

15. Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонта. — К.: Техніка, 1986. — 168 с.

16. Fratta L. The Flow Deviation Method: An Approach to Store-and-Forward Communication Network Design / L. Fratta, M. Gerla, L. Kleinrock // *Networks*, 1973, vol. 3, no. 2, pp. 97—133.

17. Барсук В.А. Математические методы планирования и управления в хозяйстве связи / В.А. Барсук, Н.М. Губин. — М.: Связь, 1966. — 340 с.

18. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. — М.: Наука, 1982. — 557 с.

19. Зинченко А.П. Оптимизация многоэтапного управления развитием распределенной транспортной сети / А.П. Зинченко // Механизация и автоматизация управления. — К., 1982. — № 3. — С. 1—6.

20. Капралов Е.Г. Геоинформатика / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов. — М.: Академия, 2005. — 480 с.

Розділ 3. Науково-технологічна безпека та інтелектуальні ресурси

21. Малашенко Ю.Е. Нормативный подход к анализу многопродуктовых сетей / Ю.Е. Малашенко // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1988. — № 3.

22. Малашенко Ю.Е. Обобщенная задача анализа многопродуктовой сети / Ю.Е. Малашенко, Н.М. Новикова // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1989. — N. 4.

23. Малашенко Ю.Е. Математические модели анализа потоковых сетевых систем / Ю.Е. Малашенко. — М.: ВЦ РАН, 1993.

24. Integration of the Load-Matching and Routing Problem with Equipment Balancing for Small Package Carrier / A. Cohn, S. Root, A. Wang, D. Mohr // TRANSPORTATION SCIENCE, 2007. — Vol. 41. — No. 2. — PP. 238—252.

Отримано: 1.06.2010 р.