

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФГБОУ ВПО
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра САПР

А.Е. ПЕТРОВ

ЛОГИСТИКА В САПР

ЧАСТЬ 2: ИНФОРМАЦИОННАЯ ЛОГИСТИКА

Учебно-методическое пособие

Москва 2012

МИНОБРНАУКИ РФ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра САПР

Утверждено Советом
МГГУ по методической работе и
качеству образования

А.Е. ПЕТРОВ

ЛОГИСТИКА В САПР

ЧАСТЬ 2: ИНФОРМАЦИОННАЯ ЛОГИСТИКА

Учебно-методическое пособие по дисциплине

«Информационная логистика»

для инженеров техники и технологий по специальности

230104 – «Системы автоматизированного проектирования»

для бакалавров и магистров техники и технологий по специальности

552800 – «Информатика и вычислительная техника»

Москва 2012

Петров А.Е.

Логистика в САПР. Часть 2. Информационная логистика: учебно-методическое пособие. – М.: МГГУ, 2012. – 112 с.

Изложены методологические, математические, практические основы применения информационной логистики в системах автоматизированного проектирования. Рассмотрены основные понятия, этапы развития и современное состояние информационной логистики, особенности создания логистических информационных систем (ЛИС); информационно-техническое обеспечение ЛИС, автоматизация проектирования ЛИС. Представлены основы управления цепями поставок (УЦП).

Рассмотрены информационное обеспечение, моделирование структуры ЛИС; автоматизация проектирования, лингвистическое обеспечение ЛИС. Представлены основные понятия двойственных сетей, методы создания сетевых моделей систем, в том числе систем информационной логистики. Рассмотрен расчет потоков в системах с переменной структурой, включая расчет сетей по частям методом декомпозиции на основе диакоптики.

Предназначено для бакалавров и магистров техники и технологий по специальности «Информатика и вычислительная техника»; инженеров техники и технологий по специальности «Системы автоматизированного проектирования», исследователей систем логистики, специалистов по управлению; аспирантов.

Рецензенты:

А.Е. Арменский, профессор, д.т.н., заместитель начальника отдела Федерального агентства по науке и инновациям;

Б.Е. Большаков, профессор, д.т.н., заведующий кафедрой устойчивого инновационного развития Международного университета природы, общества и человека «Дубна»

© Петров А.Е., 2012
© МГГУ, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Предмет и метод информационной логистики.....	5
1.1. Зачем нужна информационная логистика.....	5
1.2. Функции информационной логистики.....	8
1.3. Информационные потоки в логистических системах.....	10
1.4. Логистические информационные системы (ЛИС).....	15
1.4.1. Виды информационных систем на микроуровне.....	16
1.4.2. Функции и подсистемы ЛИС	17
1.4.3. Принципы построения ЛИС.....	20
1.4.4. Информационно-техническое обеспечение ЛИС.....	21
1.4.5. Виды логистических информационных систем.....	23
1.5. Управление цепями поставок (УЦП).....	27
1.5.1. Общие принципы УЦП.....	29
1.5.2. Технические средства контроля УЦП.....	32
1.5.3. Применение систем УЦП.....	34
1.5.4. Примеры систем УЦП.....	37
2. Информационное обеспечение систем логистики.....	42
2.1. Информационное обеспечение бизнес-процессов систем логистики.....	42
2.1.1. Организация электронного документооборота ЛИС.....	43
2.1.2. Структура автоматизации проектирования ЛИС	46
2.2. Моделирование функциональной структуры ЛИС.....	47
2.2.1. Автоматизация ЛИС на основе функциональных диаграмм.....	47
2.2.2. Модель организации бизнес-процессов «прямая поставка».....	52
2.3. Информационное и лингвистическое обеспечение ЛИС	54
2.3.1. Информационное обеспечение ЛИС	54
2.3.2. Лингвистическое обеспечение ЛИС.....	54
2.4. Автоматизированное проектирование ЛИС.....	57
2.4.1. Применение в логистике CALS-технологии	58
2.4.2. Моделирование процессов информационной логистики	59
2.5. ЛИС в технологиях добычи полезных ископаемых.....	65
2.5.1. Информационные потоки добычного комплекса.....	65
2.5.2. Принципы функционирования и структура ЛИС.....	67
2.5.3. Реализация информационной системы	69
3. Сетевые методы проектирования систем информационной логистики	71
3.1. Процессы и структура сложных систем	71
3.1.1. Тензорный метод в теории систем.....	72
3.1.2. Процессы как потоки в элементах систем.....	74
3.2. Основные понятия сетей.....	76
3.2.1. Свойства ветвей.....	76
3.2.2. Двойственность ветвей.....	77
3.2.3. Преобразование путей.....	80
3.3. Инварианты сети и двойственность.....	86
3.3.1. Двойственность в науке.....	86
3.3.2. Двойственные сети.....	88
3.3.3. Расчет сетей тензорным методом.....	98
3.4. Сетевые модели в информационной логистике.....	102
3.4.1. Аналогии сетей и моделируемых систем	102
3.4.2. Аналогии воздействий и откликов сетей и моделируемых систем	104
Приложения. Список экзаменационных вопросов и заданий по дисциплине.....	109
Список литературы	111

ВВЕДЕНИЕ

Данное учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре «Системы автоматизированного проектирования» (САПР) Московского государственного горного университета (МГГУ). Изложены методологические, математические основы информационной логистики, методы управления цепями поставок, вопросы информационного обеспечения логистических систем, сетевые методы проектирования систем информационной логистики.

Рассмотрены основные понятия, этапы развития и современное состояние информационной логистики, особенности создания логистических информационных систем (ЛИС); информационно-техническое обеспечение ЛИС, виды и автоматизация проектирования ЛИС. Представлены основы управления цепями поставок (УЦП), а также методов их моделирования, проектирования и создания.

Рассмотрены информационное обеспечение, моделирование структуры ЛИС; автоматизация проектирования, лингвистическое обеспечение ЛИС. Представлены основные понятия двойственных сетей, методы создания сетевых моделей систем на основе аналогий процессов и структуры сети и предметной области, в том числе систем информационной логистики. Рассмотрен расчет изменения потоков в системах с переменной структурой (например, при изменении маршрутов материальных и информационных потоков), включая расчет сетей по частям методом декомпозиции на основе диакоптики. Основой преобразования структуры сетей является инвариант двойственности, которому соответствует закон сохранения потока энергии.

Цель дисциплины – изучить основы информационной логистики, моделирования цепей поставок и управления интегрированными логистическими информационными системами, в частности, связанными с горнодобывающими отраслями. Показать практическое применение информационной логистики в инновационной деятельности современных предприятий, в горнодобывающей промышленности, ее роль для повышения конкурентоспособности, решения проблемы оптимизации ресурсного потенциала.

Информационная логистика включена в Государственный образовательный стандарт по специальности САПР. Она характеризуется как наука, которая охватывает все основные потоки в процессе производства: материальные, энергетические, информационные, финансовые, которые должны отражаться в моделях систем автоматизированного проектирования.

В приложении приведен список экзаменационных вопросов по дисциплине и рекомендуемая литература.

1. ПРЕДМЕТ И МЕТОД ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИКИ

Современная логистика охватывает практически все сферы деловых операций, обладая уникальной сложностью внутренних взаимосвязей и планетарным масштабом планирования, контроля движения материальных, информационных и финансовых потоков и управления им. Этой деятельностью управленцы и производители занимаются повсюду в мире в непрерывном режиме. Для согласованной работы всех звеньев логистической сети необходимы информационные системы, которые обеспечивают доставку нужных сигналов в нужное время и в нужное место.

Информационная логистика является одной из важнейших составляющих логистики и представляет собой область управления информационными и материальными потоками в процессе производства и транспортировки продукции – от закупки ресурсов до конечного потребителя, включая после-продажное обслуживание.

1.1. Зачем нужна информационная логистика

Рассмотрим основные определения и понятия, которые представляют цели, содержание и назначение информационной логистики как составной части логистики.

Определения

Логистика (Logistics) – теория и практика управления материальными потоками (МП) и информационными потоками (ИП) в процессе производства и транспортировки продукции (товаров и услуг).

Логистика вносит существенный вклад в процесс создания потребительной стоимости. Смысл применения логистики состоит в том, что интеграция потоков всей системы обеспечивает лучшие результаты деятельности, чем разрозненное управление отдельными функциями и подразделениями.

Информационная логистика – теория и практика управления информационными потоками (ИП) в процессе производства и транспортировки продукции (товаров и услуг), которые обеспечивают выполнение целей и задач промышленной логистики (логистики производства).

Логистика производства – регулирование производственного процесса в пространстве и во времени, а именно планирование движения материальных потоков и управление ими, организация транспортировки внутри производства; создание и поддержание на складах запасов сырья, материалов и незавершенного производства; планирование процессов производства на стадиях поставки ресурсов, обработки и сборки готовой продукции (ГП).

Логистическая информационная система (ЛИС) – сквозная система управления информационными потоками, которые сопровождают материальные потоки во всех звеньях логистической цепи.

Цель дисциплины – изучить основы информационной логистики, методы сетевого моделирования цепей поставок и управления интегрированными логистическими информационными системами, в частности, связанными с горнодобывающими отраслями. Показать практическое применение информационной логистики в инновационной деятельности современных предприятий, ее роль для повышения конкурентоспособности, решения проблемы оптимизации ресурсного потенциала.

Логистическая система (ЛС) по мере ее развития рассматривается с различных точек зрения, например:

- общей теории систем и кибернетики – это адаптивная система с обратной связью, которая выполняет логистические функции и операции, состоит, как правило, из подсистем и имеет развитые связи с внешней средой;
- экономики – это система, элементами которой являются материальные, финансовые и информационные потоки, над которыми выполняются логистические операции, соединяющие эти элементы на основе общих целей и критериев эффективности;
- бизнеса – это экономическая система, состоящая из элементов и звеньев, связанных в процессе управления материальными, информационными и другими потоками, границы которых определяют цели организации бизнеса.

По мере проникновения логистики в различные сферы хозяйственной деятельности складываются все новые трактовки этого понятия, которые отражают переход от управления материальными потоками одного производства к планированию и управлению стратегией бизнеса в масштабах от отраслей и регионов до стран и континентов. Например:

Логистика – наука об оптимизации материальных потоков, потоков услуг и связанных с ними информационных, финансовых и других потоков и управлении ими в определенной микро-, мезо- или макроэкономической системе для достижения поставленных перед ней целей.

Логистика – наука о планировании материальных и нематериальных операций, об управлении этими операциями и контроле над ними, которые совершаются в процессах: доведения сырья и материалов до производственного предприятия; переработки сырья, материалов и полуфабрикатов внутри производства; доведения готовой продукции до потребителя, передачи, хранения и обработки соответствующей информации.

Логистика – интегральный инструмент, способствующий достижению стратегических, тактических или оперативных целей организации бизнеса за счет эффективного управления (снижения общих затрат и удовлетворения требований конечных потребителей к качеству продуктов и услуг) материальными, сервисными, а также сопутствующими им потоками (финансовыми, информационными и т.п.).

Логистика – совокупность различных видов деятельности с целью получения с наименьшими затратами необходимого количества продукции, в котором существует потребность в установленное время и в установленном месте.

Объектом управления логистикой являются сквозные МП, потоки услуг и сопутствующие им финансовые и информационные потоки, проходящие по логистической цепи (ЛЦ) начиная от первичных источников сырья через все

промежуточные процессы производства вплоть до поступления к конечному потребителю. На этой основе осуществляется разработка методов автоматизированного проектирования систем управления МП и их применения в практической хозяйственной деятельности.

Информационная логистика организует поток данных, сопровождающий МП, занимается созданием и управлением информационными системами (ИС), которые техническими и программными средствами обеспечивают передачу и обработку логистической информации.

Предметом изучения *информационной логистики* являются особенности моделирования, проектирования и функционирования ИС, обеспечивающих функционирование ЛИС.

Целью информационной логистики является построение и эксплуатация информационных систем, обеспечивающих наличие:

- 1) нужной информации (для управления МП);
- 2) в нужном месте;
- 3) в нужное время;
- 4) необходимого содержания (для лица, принимающего решение);
- 5) в нужном объеме;
- 6) с минимальными затратами.

Это соответствует конечной цели логистического управления, которую описывают так называемые «*шесть правил логистики*» (или *правила 7 R в логистике*); они рассмотрены в первой части пособия, см. табл.1.1. в [5].

С помощью информационной логистики и совершенствования на ее базе методов планирования и управления в компаниях ведущих промышленных стран происходит *замена физических запасов надежной информацией*. Это позволяет доставлять необходимую продукцию в нужное место в то время, когда в ней возникает необходимость. А не накапливать и хранить на складах избыточные запасы, что требует дополнительных расходов.

Для практической реализации задачи логистики разделяются на две группы: глобальные и частные (локальные) задачи.

К *глобальным задачам* логистики относят:

- создание комплексных, интегрированных систем материальных, информационных, а также других сопутствующих потоков;
- стратегическое согласование, планирование и контроль использования логистических мощностей в сферах производства и обращения;
- достижение высокой системной гибкости;
- постоянное совершенствование логистической концепции.

К *частным задачам* логистики относят управление всеми видами потоков (материальными, людскими, энергетическими, финансовыми и др.), которые существуют в экономических, производственных системах.

1.2. Функции информационной логистики

Логистика как наука разрабатывает научные принципы, методы, математические модели, позволяющие планировать, контролировать материальные и нематериальные операции; управлять транспортировкой, складированием материального потока, и другими действиями, которые совершаются в процессе:

- доведения сырья и материалов до производственного предприятия;
- внутривозводской переработки сырья, материалов и полуфабрикатов;
- доведения готовой продукции (ГП) до потребителя;
- передачи, хранения и обработки соответствующей информации.

Логистика как хозяйственная деятельность представляет собой процесс управления движением и хранением сырья, материалов, полуфабрикатов и ГП в хозяйственном обороте от первичного источника сырья до конечного потребителя ГП, а также связанной с этими операциями информацией.

Отличие логистического подхода к управлению МП от существовавших до этого методов управления состоит в следующем:

- объединение разрозненных МП в единый сквозной МП от источника сырья до конечного потребителя;
- выделение единой функции управления сквозным МП, что требует создания интегрированной информационной системы;
- техническая, экономическая, информационная интеграция отдельных звеньев ЛЦ в единую систему. На макроуровне осуществляется интеграция различных предприятий, на микроуровне – служб одного предприятия.

Выделение МП в качестве объекта управления и связанное с этим абстрагирование от ряда факторов приводят к упрощению описания хозяйственных процессов и к существенному сокращению размерности задач моделирования. Это позволяет проектировать сквозные ЛЦ, решать задачи сквозного мониторинга движения грузов, начиная от первичного источника сырья через все промежуточные процессы вплоть до поступления к конечному потребителю. В целом это открывает новые возможности формализованного исследования экономических процессов.

Информационная логистика является частью логистической системы, которая обеспечивает функциональную область логистического менеджмента.

Объектом изучения информационной логистики являются информационные потоки, отражающие движение материальных, финансовых и других потоков, влияющих на производственный процесс. Основная цель – обеспечение логистических систем информацией в нужные сроки, в нужном объеме и в нужном месте.

Информационная логистика используется для того, чтобы обеспечить информацией всю организацию управления материальным потоком в целом исходя из логистических принципов.

Информационный поток генерируется материальным потоком. В информационной логистике информационный поток рассматривается только в логистической системе, между звеньями логистической системы или между внешней средой и логистической системой.

Логистическая система состоит из совокупности элементов-звеньев, между которыми установлены определенные функциональные связи и отношения. Рабочим звеном системы может быть автоматизированное рабочее место управленческого персонала, информационное подразделение системы управления организацией или группа работников управления, объединенных общностью выполняемых информационных функций (процедур, операций).

Цель управления организацией – эффективное использование всех технических, научных, экономических, организационных и социальных возможностей для достижения высоких результатов деятельности организации.

Цели создания информационной системы:

- обеспечение выживаемости и дееспособности предприятия, организации;
- обеспечение работников оперативной информацией, способствующей более эффективному трудовому процессу;
- соблюдение адресности информации;
- обеспечение порядка в получении информации, ее использовании;
- расширение функций предприятия в соответствии с требованиями рынка.

Логистическая информационная система – интерактивная структура, включающая персонал, оборудование и процедуры (технологии), которые объединены информационным потоком, используемым логистическим менеджментом для планирования, регулирования, контроля и анализа функционирования логистической системы.

Основные принципы построения информационной системы:

- иерархия (подчиненность задач и использования источников данных);
- принцип агрегирования данных (учет запросов на разных уровнях);
- избыточность (построение информационных потоков с учетом не только текущих, но и будущих задач);
- конфиденциальность (санкционированный доступ);
- адаптивность к изменяющимся запросам;
- согласованность и информационное единство (определяется разработкой системы показателей, в которой надо исключить возможность несогласованных действий и вывод неправильной информации);
- открытость системы (для пополнения данных).

Информационная функция – целенаправленный специализированный вид управленческой деятельности, генерируемый информационной системой и характеризующийся однородностью действий с информацией любого вида.

Информационная сеть – совокупность компьютерно-программных средств и пользователей информационных ресурсов, объединенных единым

информационным каналом с целью эффективной обработки и передачи информационных потоков.

Таким образом, информационная логистика осуществляет сбор данных, анализ производства и потребления, с учетом динамики спроса на продукцию со стороны потребителей, обеспечивает информационное сопровождение материальных потоков. Логист на основе полученных результатов проводит анализ и прогнозирование работы предприятия, новых рынков сбыта выпускаемой продукции, создания новых видов продукции.

Функции информационной логистики определяются переходом от рынка продавца к рынку потребителя (заказчика); или переходом от «выталкивающей» парадигмы к «вытягивающей» парадигме. К функциональным областям информационной логистики относится разработка и сопровождение информационных систем для моделирования оптимизируемых информационных потоков при решении задач с ограниченными материальными ресурсами с помощью различных вариантов комбинации структуры материальных потоков и организации управления ими.

Это обеспечивает достижение стратегических и оперативных целей предприятия. Например, достижение максимальной приспособляемости фирм, входящих в ИЦП, к изменению условий внешней среды; повышение финансового результата, увеличение своей доли на рынке для получения конкурентных преимуществ; доставка продукции потребителям на высшем уровне сервисного обслуживания; снижение затрат за счет перехода от использования материальных ресурсов к точной информации.

В целом это соответствует пониманию информационной логистики как научного направления, которое создает рациональные методы управления информационными потоками на всем пути прохождения материальных потоков. Это обеспечивает совершенствование методов планирования и управления цепями поставок, что позволяет заменить физические запасы ресурсов и продукции точной информацией.

1.3. Информационные потоки в логистических системах

Информационный поток. Основой процесса управления материальными потоками является обработка информации, циркулирующей в логистических системах. Совокупность информации, отображающей материальные потоки, представлена информационными потоками.

Информационный поток (ИП) – это совокупность сообщений в речевой, документной (бумажной и электронной) и другой форме, генерируемых исходным МП, циркулирующих в логистической системе, между логистической системой и внешней средой, и необходимых для управления, анализа и контроля логистических операций.

Информационные потоки в логистических системах отличаются от других видов информационных потоков. Логистические информационные потоки имеют следующие характеристики:

- неоднородность (информация качественно разнородна);

- множественность подразделений – поставщиков информации;
- множественность подразделений – потребителей информации;
- трудность практической обозримости информационных маршрутов;
- большой объем передачи единиц документации по каждому маршруту;
- есть много вариантов оптимизации информационных потоков.

Логистический информационный поток сам по себе достаточно сложен и делится на ряд составляющих: *реквизит*, *показатель*, *документ* и *массив*.

Реквизит – элементарная единица сообщения. Реквизит характеризует количественную или качественную составляющую информации. К реквизитам относятся, например, наименование организации, наименование товара, цена товара и т.п. Каждый реквизит представлен совокупностью символов: цифровых, буквенных, специальных.

Документы, используемые в процессе управления, могут включать один или несколько *показателей* с обязательным удостоверением (подписью или печатью) лица, ответственного за содержащуюся в документах информацию. Получение исходных данных является сферой деятельности человека, поэтому большинство документов создается на стадии сбора и регистрации данных, хотя часть документов поступает в систему от внешних организаций (вышестоящих, партнерских, поставщиков и др.).

Вместе с тем в бухгалтерском учете каждому виду материального или финансового показателя соответствует своя позиция в Плане счетов. Значение каждого показателя является результатом счета, взвешивания и т.п.; оно записывается в соответствующие позиции счета. Значения показателей служат основой получения сводных бухгалтерских и статистических данных, которые далее становятся исходной информацией при анализе, планировании или составлении статистических отчетов в разрезе предприятия, организации, отрасли, региона и т.д.

Массив представляет собой совокупность однородных данных, имеющих единую технологическую основу, которые объединены единым смысловым содержанием. Такие данные (процессы, явления, факты, и т.п.) должны представляться в формализованном виде, для обработки на компьютере и передачи по каналам связи. Основными элементами массивов, определяющими их содержание, являются записи.

Записи представляют собой элементы массива, которыми оперируют пользователи при обработке информации. Элементами записей, имеющих единое смысловое значение, являются информационные поля.

Данные, принадлежащие к одному массиву, записываются по общим правилам (в соответствии с технологией накопления, пополнения, хранения и обработки данных, принятой в организации). Тип массива определяется его содержанием (например, массив материальных нормативов, массив поставщиков материалов, массив клиентов), функциями в процессе обработки данных (входной, выходной, промежуточный массивы). Информационный массив, снабженный символическим именем, однозначно определяющим его положение в информационной системе, называется файлом.

Первым шагом в классификации с целью упорядочения логистических информационных потоков является их деление по признаку, позволяющему образовать однородные по видам деятельности (или по функциям) информационные потоки. При этом учитывается неоднородность и множественность поставщиков и потребителей информационных потоков в логистике.

Информационный поток, как правило, выражается в определенном виде документации (накладные, счета-фактуры, приказы и пр.). Эта документация делится по видам деятельности. Таким образом, логистические информационные потоки можно классифицировать на:

- распорядительные (приказы, распоряжения),
- организационные (инструкции, протоколы, положения),
- мониторинговые (сведения о движении материальных потоков),
- бухгалтерские (регистрация финансовых и материальных средств),
- аналитические (обзоры, сводки, докладные записки),
- справочные (справки по различным аспектам деятельности),
- научные (статьи, доклады, рефераты),
- технические (документация по технике безопасности, регламенты работы оборудования).

Передача и прием информационных потоков осуществляется с помощью различных носителей информации, которые делятся на: устную речь, документы в печатной форме, в электронной форме, смешанные носители. *Носитель информации* – это любое материальное средство, фиксирующее информацию на бумажных и электронных носителях. Устная речь может быть зафиксирована на электронных носителях. При передаче информационного потока эти носители могут дублировать или дополнять друг друга.

В зависимости от способа восприятия информации человеком информационные потоки делятся на:

- цифровые (цифровая запись в документе, цифровое изображение на мониторе, запись устной речи);
- алфавитные (словесная запись в документе, на экране монитора);
- символические (условные обозначения на чертежах, схемах);
- предметно-визуальные (видеоизображение, фотография).

Структура информационных потоков определяет их однородность и неоднородность. Однородные информационные потоки характеризуются единым видом носителя, единой функциональной принадлежностью, единым видом документального сопровождения. Неоднородные информационные потоки этим требованиям не отвечают.

Взаимосвязь информационных и материальных потоков

Эффективное использование информационной логистики заключается в рациональном управлении информационным потоком по всей логистической сети на всех иерархических уровнях.

Каждому МП соответствует некоторый информационный поток, возможно и несколько ИП различных видов.

Информационный поток может опережать материальный поток, следовать одновременно с ним или после него; может быть направлен в том же направлении, что и материальный, или в противоположном направлении.

Путь, по которому движется информационный поток, в общем случае может не совпадать с маршрутом движения материального потока. Информационный поток характеризуется следующими показателями:

- источник возникновения,
- направление движения потока,
- получатель информации,
- скорость передачи и приема,
- интенсивность потока и др.

Движущийся информационный поток во встречном направлении содержит, как правило, сведения о заказе. Опережающий информационный поток в прямом направлении – это предварительные сообщения о предстоящем прибытии груза. Одновременно с материальным потоком идет информация в прямом направлении о количественных и качественных параметрах материального потока. Вслед за материальным потоком во встречном направлении может проходить информация о результатах приемки груза по количеству, а также претензии, подтверждения получателей.

Для моделирования и создания информационных систем в логистике необходимо применять системный анализ потоков в разрезе определенных показателей. Например, чтобы решить задачу оснащения определенного рабочего места вычислительной техникой, необходимо знать объемы информации, проходящее через это рабочее место, а также требования к необходимой скорости её обработки.

Оперативно и качественно управлять информационным потоком можно посредством следующих операций:

- переадресация информационного потока;
- ограничение скорости передачи до соответствующей скорости приема;
- уменьшение или увеличение объема информации на отдельных участках прохождения информации;
- ограничение объема потока до величины действующей пропускной способности отдельного узла или участка пути.

Виды информационных потоков

Между МП и ИП не существует однозначного соответствия, т.е. синхронности во времени возникновения, направленности и др. ИП может опережать МП (проведение переговоров, заключение контрактов и т.д.) либо отставать от него (информация о получении поставленного товара). Таким образом, возможны следующие варианты их взаимодействия:

- *опережающий* информационный поток во *встречном* направлении содержит, как правило, сведения о заказе;

- *опережающий* информационный поток в *прямом* направлении – это предварительные сообщения о предстоящем прибытии груза;
- *одновременно* с материальным потоком идет информация в *прямом* направлении о количественных и качественных параметрах МП;
- *вслед* за материальным потоком во *встречном* направлении может проходить информация о результатах приемки груза по количеству или по качеству, разнообразные претензии, подтверждения.

Возможно, что МП сопровождают несколько ИП. В табл. 1.1 приведена одна из возможных классификаций ИП.

Таблица 1.1

Классификация информационных потоков

Признак классификации	Вид ИП
Отношение к ЛС и ее звеньям	Внутренние, внешние, горизонтальные, вертикальные, входные, выходные
Вид носителей информации	На бумажных носителях, на магнитных носителях, оптические, цифровые, электронные
Периодичность использования	Регулярные, периодические, оперативные
Назначение информации	Директивные (управляющие), нормативно-справочные, учетно-аналитические, вспомогательные
Степень открытости	Открытые, закрытые, секретные
Способ передачи данных	Курьером, почтой, телефоном, телеграфом, телетайпом, электронной почтой, факсом, по телекоммуникационным сетям, через сайты Интернет
Режим обмена информацией	«on-line», «off-line»
Направленность относительно МП	В прямом направлении с МП, во встречном направлении с МП
Синхронность с МП	Опережающие, одновременные, последующие

По периодичности информационные потоки делятся на регулярные, соответствующие регламентированной во времени передаче данных, и оперативные – обеспечивающие связь в любой необходимый момент времени.

По степени взаимосвязи информационные потоки делятся на взаимосвязанные и невязанные, что характеризуется количеством видов информации, взаимосвязанных с данным видом информации.

Интенсивность потока информации измеряется количеством символов (алфавитных, цифровых и служебных знаков) или байтов, которые передаются в единицу времени. По этому признаку информационные потоки делятся на мало-, средне- и высокоинтенсивные. Анализ таких потоков может

осуществляться с использованием принципа Парето, или основанного на нем ABC-анализа, которые рассмотрены в первой части данного учебно-методического пособия.

Информационные потоки являются основным фактором для управления логистическими и производственными подразделениями. Существуют внутренние и внешние информационные потоки.

Внутренние потоки циркулируют внутри хозяйствующего субъекта между подразделениями и уровнями организационной структуры.

Внешние потоки – это потоки информации между данным субъектом и другими субъектами, расположенными вне его границ. Потоки внешней информации включают в себя:

- данные о клиентах – покупателях продукции предприятия;
- данные о состоянии конкуренции в торговле (конъюнктуре);
- данные об изменении рынка труда и производимой продукции;
- информацию о макроэкономических показателях (курсы валют, ставки привлечения и размещения денежных средств, инфляция и т.д.);
- информацию о технологических новинках;
- информацию об изменении заказов.

Информационные потоки должны удовлетворять требованиям:

- быть совместимыми в информационном отношении;
- внутренние взаимосвязи информационных потоков должны носить причинно-следственный характер;
- информационные потоки должны иметь иерархическую соподчиненность;
- информационная система должна быть способна к интеграции с системами партнеров по логистической цепи.

1.4. Логистические информационные системы (ЛИС)

Информационная система (ИС) – это совокупность взаимосвязанных средств вычислительной техники и программного обеспечения, позволяющая решать те или иные функциональные задачи, например, в логистике – задачи по управлению МП. Логистическая ИС, которая выполняет функции управления МП, ИП, финансовыми потоками, сокращенно ЛИС, – это взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, которые обеспечивают хранение, обработку и передачу органам управления логистической информации. ЛИС подразделяют на две подсистемы: функциональную и обеспечивающую.

Функциональная подсистема состоит из совокупности решаемых задач, сгруппированных по признаку общности цели.

Обеспечивающая подсистема, включает в себя: *техническое* обеспечение, т.е. технические средства, которые обеспечивают обработку и передачу информационных потоков; *информационное* обеспечение, включающее различные справочники, классификаторы, кодификаторы, средства

формализованного описания данных; а также *математическое обеспечение* – совокупность методов решения функциональных задач.

1.4.1. Виды информационных систем на микроуровне

Формирование ЛИС осуществляется по иерархическому принципу, причем нумерация уровней начинается с низшего уровня. Это должно обеспечить возможность наращивания более высоких уровней в данную систему. А также при необходимости включения затем самой ЛИС предприятия в качестве подсистемы в интегрированные системы и сети более высокого порядка.

На микроуровне (уровне отдельного предприятия) в ЛИС выделяют три уровня подсистем: исполнительные, диспозитивные, плановые.

1. Исполнительные (или оперативные) системы. Исполнительные ИС создаются на уровне административного или оперативного управления для исполнения повседневных дел в режиме реального времени: контроль МП; оперативное управление обслуживанием производства; управление перемещениями и т.п.

Это уровень рабочего места в широком смысле этого термина. Например, места складирования, станка для выполнения механической обработки или установки для помещения в тару и маркировки и т.д. На этом уровне осуществляется та или иная логистическая операция с управляемым материальным потоком, а именно его элемент (деталь, единичная упаковка, рабочий стол-спутник или иная грузовая единица) перемещается, перегружается, упаковывается, проходит обработку.

Обработка информации здесь производится в режиме работы в реальном масштабе времени, который позволяет получать необходимую информацию о движении грузов в каждый текущий момент и своевременно выдавать соответствующие административные и управляющие воздействия на объект управления. Этими системами могут решаться разнообразные задачи, связанные с контролем материальных потоков, оперативным управлением обслуживания производства, управления перемещениями и т.п.

Исполнительные системы детализируют намеченные планы и обеспечивают их выполнение на отдельных производственных участках, на складах, а также на конкретных рабочих местах.

2. Диспозитивные (или диспетчерские) системы. Диспозитивные ИС создаются на уровне управления участком, складом или цехом для обеспечения отлаженной работы ЛИС. Т.е. там, где происходят процессы обработки, упаковки и транспортировки грузоединиц и размещаются рабочие места.

Здесь решаются задачи на среднесрочную и долгосрочную перспективу:

- детальное управление запасами (местами складирования);
- распоряжение внутрискладским (или внутризаводским) транспортом;
- отбор грузов по заказам и их комплектование,
- учет отправляемых грузов;
- детальное управление запасами и другие задачи.

3. *Плановые системы.* Плановые ИС создаются на административном уровне управления для принятия долгосрочных решений стратегического характера от получения сырья до доставки ГП потребителям. Здесь решают следующие задачи:

- создание и оптимизация звеньев логистической цепи;
- управление мало изменяющимися данными;
- планирование производства;
- общее управление запасами;
- управление резервами и другие задачи.

В плановых информационных системах решаются задачи, связывающие ЛИС с совокупным МП. При этом осуществляется сквозное планирование в цепи «снабжение–производство–сбыт», что позволяет создать эффективную систему организации производства, построенную на требованиях рынка, с выдачей необходимых требований в систему материально-технического обеспечения предприятия. Плановые системы включают логистическую систему во внешнюю среду, в совокупный материальный поток, поступающий в производство на входе, и покидающий его на выходе.

1.4.2. Функции и подсистемы ЛИС

Основные функции, выполняемые ЛИС: планирование, координирование, обслуживание, управление.

Организационную структуру ЛИС можно представить четырьмя подсистемами: управления процедурами заказов, научных исследований и связи, поддержки логистических решений и генерирования выходных форм, отчетов. Эти подсистемы осуществляют информационно-компьютерную поддержку функций логистического менеджмента, связь с внешней средой.

1. *Управление заказами.* Важность данной подсистемы определяется ее непосредственным контактом с клиентами (потребителями) в процессе получения, обработки и выполнения заказов. Необходимо использовать электронный обмен данными и соответствующие стандарты (системы CRM).

2. *Подсистема научных исследований и связи.* Отражает влияние внешней и внутренней среды на процесс логистического управления. Обеспечивает взаимодействие между звеньями ЛИС и функциями управления за счет:

- интеграции логистического и корпоративного планирования;
- стратегических установок для организации структуры ЛИС и персонала;
- интеграции информационных технологий;
- применения технологических решений, использования посредников;
- адаптации ЛИС к условиям предприятия и функциям управления;
- акцентирования на производительности и качестве услуг в логистике.

Использовать данную подсистему для мониторинга и анализа микро- и макросреды предприятия можно четырьмя способами:

- общий анализ получаемой информации без заданной цели;

- проведение анализа информации о внешней и внутренней среде предприятия с заранее заданной целью;
- неформальное исследование неструктурированных и ограниченных данных;
- формальное исследование по заранее составленному плану, с использованием методов обработки и анализа получаемой информации.

Для оценки результатов воздействия внешней и внутренней среды предприятия на поведение ЛИС в процессе мониторинга необходимо использовать ключевые информационные источники. Необходимо учитывать возможности использования данной информации персоналом предприятия и партнерами по логистике для оценки эффективности логистических решений. Например, бухгалтерская информация или сведения о ценах на готовую продукцию конкурентов показывают эффективность работы менеджмента. Информацию о размерах грузовых отправок могут использовать транспортные подразделения предприятия. Логистические партнеры (поставщики материальных ресурсов, торговые посредники, перевозчики и потребители готовой продукции) могут использовать информацию для улучшения координации и снижения собственных затрат. Для составления прогнозов данная подсистема должна обеспечить сбор исходной информации, оценку точности и достоверности, выбор эффективных методов прогнозирования.

3. Подсистема поддержки логистических решений. Представляет собой интерактивную ИС, которая включает базы данных и аналитические модели, реализующие, как правило, задачи оптимизации, возникающие в процессе управления логистикой. С этой целью в подсистеме формируют, обновляют, поддерживают централизованные и распределенные базы данных различной структуры с файлами четырех основных типов:

- базисные файлы, содержащие внешнюю и внутреннюю информацию, необходимую для принятия логистических решений;
- критерии, определяющие цели и ограничения при принятии решений;
- файлы стандартных действий, содержащие операционные процедуры логистики для ключевых областей;
- файлы решений, хранящие архивную информацию о предыдущих (периодических) решениях для различных логистических функций.

Для получения решений используются экономико-математические модели и методы. Например, для прогнозирования и поддержки логистических решений, можно выделить оптимизационные, эвристические и имитационные модели. Оптимизационные модели принятия решений основаны на методах математического программирования – линейного, нелинейного, динамического, стохастического, целочисленного. Методы математической статистики охватывают корреляционно-регрессионный анализ, теорию случайных процессов, теорию идентификации, теорию статистических моделей принятия решений, методы вариационного исчисления, оптимального управления, теорию массового обслуживания, графов расписаний и т.д.

Различные логистические функции решают следующие задачи:

- оптимальное управление производством, транспортировкой, переработкой;

- оптимальное размещение объектов в производстве, складировании, распределении;
- построение оптимальных логистических цепей, каналов, сетей;
- построение оптимальной организационной структуры ЛИС;
- определение оптимальной длительности логистических циклов;
- оптимизация процедур сбора, обработки и выполнения заказов;
- оптимизация параметров систем управления запасами;
- оптимальный выбор перевозчика, экспедитора, поставщика и т.д.

Здесь широко применяются интерактивные (диалоговые) процедуры информационной поддержки принятия решений логистическим менеджментом.

4. Подсистема генерирования выходных форм и отчетов – это важная составляющая организационной структуры ЛИС.

Вертикальная и горизонтальная интеграция информационных систем. Информационные системы, относящиеся к различным группам, интегрируются в единую ИС по вертикали и по горизонтали.

Горизонтальная интеграция представляет собой связь между отдельными комплексами задач в диспозитивных и исполнительных системах посредством горизонтальных информационных потоков.

Вертикальная интеграция представляет собой связь между плановой, диспозитивной и исполнительной системами посредством вертикальных информационных потоков. Принципиальная схема вертикальных информационных потоков, связывающих плановые, диспозитивные и исполнительные системы, приведена на рис. 1.1.

Вид отчетности	Вид информационной системы	Уровень руководства	Решаемые задачи
годовой отчет	плановые	высшее руководство	выработка стратегии и тактики ↓ доведение целей
еженедельный, месячный, квартальный отчет	диспозитивные	средний менеджмент	определение способа действий ↓ доведение правил, инструкций, заданий
ежедневный отчет	исполнительные	непосредственные исполнители	исполнение инструкций ↓ обработка и группировка первичной информации

Рис. 1.1. Принципиальная схема вертикальных информационных потоков в микрологистических системах

Примеры решения оптимизационной задачи линейного программирования и транспортной задачи логистики были рассмотрены в первой части.

На макроуровне информационные системы в логистике могут создаваться с целью управления материальными потоками на уровне отдельного предприятия, а могут способствовать организации логистических процессов на территории регионов, стран и даже группы стран.

1.4.3. Принципы построения ЛИС

В основе построения ЛИС лежат следующие принципы, которые соответствуют принципам системного подхода.

Полнота и пригодность информации для пользователя. Логистический менеджер должен располагать необходимой и достаточной (полной) информацией для принятия решений в удобном виде. Например, информация о запасах и заказах потребителей порой требует предварительной обработки и может размещаться не там, где принимается решение.

Точность исходной информации важна для принятия оптимальных решений. Например, информация об уровне запасов в распределительной сети в современных ЛИС допускает не более одного процента ошибок или неопределенности для того, чтобы решения по физическому распределению, созданию запасов и выполнению заказов потребителей были эффективными. Точность исходных данных важна для прогнозирования спроса, планирования потребностей в материальных ресурсах и т.д.

Своевременность. Логистическая информация должна своевременно поступать в систему менеджмента, как этого требуют технологии, основанные на концепции «точно в срок». Это важно практически для всех комплексных логистических функций, а также задач логистического мониторинга. Многие задачи в транспортировке, операционном менеджменте, управлении запасами и заказами решаются в режиме реального времени. Требования своевременности поступления и обработки информации реализуются современными логистическими технологиями сканирования, штрихового кодирования, спутниковой навигации, включая применение системы ГЛОНАСС, внедрением стандартов электронного обмена данными EDI/EDIFACT.

Ориентированность. Информация в ЛИС должна быть направлена на выявление дополнительных возможностей улучшения качества продукции, сервиса, снижения логистических издержек. Способы получения, передачи, отображения и предварительной обработки информации должны способствовать выявлению узких мест, резервов экономии ресурсов и т.п.

Гибкость. Информация, циркулирующая в ЛИС, должна иметь наиболее удобный вид для конкретных пользователей – как персонала предприятия, так и логистических посредников, конечных потребителей. Бумажный и электронный документооборот, промежуточные и выходные формы, отчеты, справки и другие документы необходимо максимально приспособить к требованиям всех участников логистического процесса, адаптировать к перспективному диалоговому режиму других пользователей.

Формат данных и сообщений, применяемых в компьютерных и телекоммуникационных сетях ЛИС, должен соответствовать возможностям технических средств (быстродействие, объем памяти, пропускная способность, и т.д.). Виды и формы документов, расположение реквизитов на бумажных носителях, размерность данных и другие параметры должны облегчать обработку информации на ЭВМ. Необходимо обеспечить информационную совместимость компьютерных и телекоммуникационных систем по форматам данных для логистических посредников, других пользователей ЛИС.

1.4.4. Информационно-техническое обеспечение ЛИС

Особенность построения информационно-технической базы ЛИС в том, что она не только повышает технический уровень структуры управления, но и предъявляет новые требования к методам экономического управления предприятиями. Основные компоненты, составляющие ЛИС:

- экономико-математическая модель планирования, прогнозирования, управления и анализа состояния объекта;
- модель информационно-технического обеспечения (иерархия субъектов, принимающих решения, их права, время реакции, режимы взаимодействия);
- разработка алгоритмов для экономико-математических моделей;
- комплекс технических средств, включая компьютеры и систему связи;
- взаимодействие компонентов между собой и окружающей средой;
- прикладное программное обеспечение поступления данных в систему, их хранение, распределение с целью оптимизации действий управленцев.

Построение информационно-технических баз ЛИС должно обеспечить интеграцию всех систем управления, их оперативное взаимодействие. В зависимости от характера отношений между объектами и структурами управления сложились линейные, линейно-функциональные и матричные виды иерархических организационных структур.

Синтез информационно-технических баз логистики и организационных структур позволяет обеспечить:

- более эффективную организацию планирования и управления материальными и денежными потоками при распределении задач, функций, прав и ответственности между структурными звеньями и субъектами;
- повышение оперативности подготовки и принятия решений, надежность и достоверность отображения фактического состояния процессов во всех звеньях материальных и денежных потоков;
- выработку оптимальных и экономичных управленческих решений.

ЛИС является интерактивной структурой; ее образуют информационные потоки, циркулирующие внутри, между элементами, а также при связи с внешней средой. Она состоит из персонала, оборудования и процедур (технологий), объединенных связанной информацией, используемой логистическим менеджментом для планирования, регулирования, контроля и анализа работы всей системы.

При проектировании функций логистики на предприятии необходимо решить следующие вопросы выполнения программы работ:

- определить технические средства для выполнения программного задания;
- составить требования к качественным характеристикам и определить необходимый объем финансовых и трудовых ресурсов;
- определить базовые методы формирования программных заданий;
- выбрать организационные формы осуществления программных заданий;
- составить сетевую модель выполнения этапов и работ;
- разработать систему критериев оценки и мотивации действий;
- организовать средства контроля, учета и оценки хода работ.

Эффективность логической информационной системы на производстве определяется уровнем ее интеграции в производственные и коммерческие процессы. Такую интеграцию обеспечивает создание информационного базиса, соответствующего данному виду производства, его объему и прочим характеристикам производственной структуры предприятий. ЛИС предоставляет «актуальные обзоры» фондов (наличие фактических и планируемых заказов, состояние основных и промежуточных производственных складов). Аналогично осуществляется мониторинг сроков (поставки, обработки, ожидания, простои, соблюдение сроков).

Для сбора данных производственная система по всему предприятию располагает «датчиками и измерительными инструментами», которые контролируют объемы и сроки текущих процессов. Логистическая система предъявляет к своей вычислительной сети следующие требования:

- надежный, автоматизированный сбор информации и данных о транспортных средствах и средствах производства;
- структурирование информационной системы поддержки принятия решений, которая в каждый момент содержит актуальную информацию о ходе производственных процессов по каждому участку предприятия.

Применяются технологии безбумажных обменов информацией между партнерами по бизнесу. На транспорте вместо сопровождающих груз многочисленных документов (особенно в международном сообщении) по каналам связи (Интернет) синхронно с грузом передается информация, содержащая все необходимые характеристики товара и реквизиты по каждой отправляемой единице. Это позволяет на всех участках маршрута в любое время получить исчерпывающую информацию о грузе, чтобы принимать управленческие решения. Логистическая система дает возможность грузоотправителю получать доступ к файлам, отражающим состояние транспортных услуг и загрузку транспорта.

Вместе с тем необходимо обеспечить информационную безопасность логистических операций. Это решается защитой каналов информации от несанкционированного доступа, разделением полномочий участникам ЛИС по доступу к информации и возможностям ее изменения, в соответствии с их уровнями компетенции.

Возможен автоматический обмен документами между производителями товаров и крупными магазинами, включающий обмен накладными и транспортными документами при прямой отправке товаров от производителя к покупателю. С помощью технологии безбумажных обменов информацией покупатель может непосредственно оформить заказы на покупку.

Электронный обмен данными – процесс, который позволяет наладить связь между компаниями, заключить сделку с помощью глобальных и локальных вычислительных сетей, которые непосредственно организуют взаимодействие между компьютерами различных компаний. Чтобы реализовать эти возможности, компании создают стандартные протоколы обмена и заключают между собой договор. Таким образом, логистика придает организационной структуре управления определенную жесткость и рациональность, требует от специалистов более высокого профессионализма принятия решений. Логистика обеспечивает более равномерное распределение задач по структурным подразделениям и уровням управления. При этом формирование вертикальных и горизонтальных взаимосвязей должно происходить на основе экономико-организационных моделей решения задач управления, что позволяет централизовать или децентрализовать управление при решении конкретной задачи, повышая ответственность конкретных подразделений и специалистов за конечные результаты управления материальными и денежными потоками.

1.4.5. Виды логистических информационных систем

Рост возможностей компьютеров и программного обеспечения позволяет повысить скорость и качество управленческих решений. Логистика развивается благодаря внедрению в производство новых информационных технологий.

Разнообразные виды логистических информационных систем отличаются уровнем организации управления информационными потоками. Рассмотрим подробнее такие, как JIT, KANBAN, MRP-1/MRP-2, SDP, LP, LRP, DDT.

Для реализации таких систем необходимо применение ЭВМ, вычислительных сетей, телекоммуникационных систем и информационно-программного обеспечения.

Система JIT – just in time, (поставки точно в срок) ранее уже рассмотрена. Ее цель состоит в минимизации уровня запасов сырья в логистической системе. Она обеспечивает высокую надежность и качество поставляемого сырья, чтобы максимально удовлетворить запросы потребителя. Когда груз доставляется «точно в срок», сокращение времени на выполнение заказа на предприятии достигает пятидесяти процентов, вдвое снижается уровень запасов. Ее развитие для разных сфер деятельности и размеров компании привело к созданию целого ряда различных модификаций.

KANBAN – система, которая позволяет на каждый участок производства поставлять то количество материала, которое там необходимо в данный момент для выпуска запланированного объема продукции. Поставки осуществляются строго по графику. Анализ этой логистической системы в Германии показал, что при ее использовании количество производственных запасов снижается в

два раза, объем готовой продукции – на восемьдесят процентов, а производительность труда вырастает на 20–50%.

MRP (*Material Requirements Planning*); используется для описания компонента «производство». Это одна из самых популярных логистических систем в мире. Она же является автоматизированной системой планирования потребностей в сырье [4]. Обеспечивает планирование ресурсов. В этой системе происходит управление сырьем, полуфабрикатами, частями изделия и его отдельными компонентами, количество покупок которых напрямую зависит от спроса на готовую продукцию. Главная цель системы MRP в том, чтобы обеспечить сырьем производителей, планировать производство; поддерживать низкий уровень запасов сырья, готовой продукции, незаконченного производства, составлять графики доставки и операций по закупке.

MRP-II. Для реализации стратегии предприятия в логистике, производстве, маркетинговых исследованиях, составлении планов и управлении материалами необходимо контролировать все стадии производственного процесса. MRP-II (*Manufacturing Resource Planning*) используется для описания компонентов «производство», «логистика». Это система MRP второго поколения [4]. Эта микрологистическая интегрированная система обеспечивает автоматизированное планирование всех производственных ресурсов предприятия (сырья, материалов, оборудования), производительности, трудозатрат. Объединяет в себе логистические операции и материальное планирование. Полнее, чем MRP, удовлетворяет спрос потребителя при более длительных циклах производства, обеспечивает уменьшение производственных запасов, улучшает организацию доставки, гибкость процесса планирования, уменьшает издержки логистики.

Исследования в США показали, что при использовании MRP-II товарно-материальные запасы сокращаются в среднем на семнадцать процентов, а рентабельность производства возрастает на 10%. Закупки материалов и оборудования уменьшаются на 7%, при возрастании на 16% объема услуг, предоставляемых заказчиком.

Автоматизация и оптимизация внутренних бизнес-процессов, планирование как материальных, так и финансовых ресурсов в масштабе предприятия – ERP (*Enterprise Resource Planning*); используется для описания компонента «производство», «логистика», «финансы».

Система гарантированного снабжения (SDP) представляет собой усовершенствованный аналог системы «точно в срок». Она ориентирована на планирование потребностей в сырье для того, чтобы упорядочить организацию транспортировки сырья и правильно спрогнозировать его количество. Система обеспечивает электронный обмен данными между всеми поставщиками, использует автоматизированную систему планирования потребностей в материалах, что значительно повышает точность поставки продукции.

В качестве примера внедрения технологии SDP в крупной компании, рассмотрим перевозку большого объема грузов, в основном мелкими партиями, между поставщиками и предприятиями. Для этого используется автотранспорт. Автомобили в течение одной поездки должны делать много остановок, поскольку транспорт

фрахтуют несколько предприятий одновременно. В процессе доставки груза до места назначения его могли перепутать, потерять или повредить. Реализация программы доставки 80% объема перевозок грузов «точно в срок» позволяет сократить расходы на перевозку почти на 15%, при этом надежность доставки возрастает, почти вдвое снижается время перевозки, уменьшаются складские запасы сырья.

Основой системы «гарантированного снабжения» является планирование замкнутой цепочки перевозок. Система обеспечивает погрузку определенного материала у поставщиков и доставку материала на завод по заданному графику. Осуществляется перевозка материалов, возврат многооборотной тары и контейнеров. При использовании системы на партнеров налагаются жесткие обязательства. Каждое утро службам перевозок передается информация о потребностях в материале и порядке его доставки потребителям на данный день и декадный прогноз. Данные прогноза могут меняться, но они дают представление о перспективном объеме перевозок, позволяя тем самым их планировать.

Маршруты, разработанные транспортными службами, подлежат согласованию с заказчиком. Если в маршрут внесены изменения, то их согласуют со всеми партнерами. При возникновении проблем транспортные службы должны достаточно гибко найти решение. Водитель-экспедитор, выполняя поездку по маршруту, перед началом погрузки сверяет номера и количество деталей, подлежащих доставке с перечнем заказчика. При обнаружении расхождений он сообщает в свой офис о возникших трудностях, а представители транспортной службы, в свою очередь, обращались за инструкциями к заказчику. Как показывает практика, разногласия разрешаются, и водитель выполняет свою работу в соответствии с планом.

Организация перевозок по системе «гарантированного снабжения» позволяет получить экономию за счет сокращения расходов на транспортировку и погрузку. Наличие информации о погрузочно-разгрузочных работах, поступающей в реальном масштабе времени, повышает надежность доставки, что позволяет снизить объемы внутризаводских запасов с двухдневной потребности до 4–6-часовой.

Для обслуживания нескольких торговых точек применяется метод кольцевых маршрутов, который показал свою эффективность. Его основой является алгоритм Свира или алгоритм дворника-стеклоочистителя.

Суть алгоритма Свира заключается в том, что полярная ось системы координат, подобно щетке дворника-стеклоочистителя, начинает движение в одном из направлений, как бы стирая при этом с плоскости координат представленные там склады или магазины – потребители товара. Как только сумма заказов от магазинов достигает максимальной вместимости транспортного средства, фиксируется сектор, обслуживаемый одним кольцевым маршрутом, и намечается путь объезда потребителей.

Практика показала, что для применения алгоритма Свира в один маршрут не следует включать более пяти пунктов. Метод дает хорошие результаты в том случае, когда расстояние между узлами транспортной сети по существующим дорогам прямо пропорционально расстоянию по прямой линии.

На кольцевые маршруты кроме ограничений по вместимости могут накладываться также ограничения по времени. Если время движения по выбранному кольцевому маршруту больше допустимого, необходимо этот сектор уменьшить, соответственно увеличив другой сектор. Необходимые уменьшения сектора выполняются и при наличии других ограничений.

Построение следующего сектора начинается после того, как в данном секторе получен допустимый кольцевой маршрут. Формирование кольцевых маршрутов завершается при полном обороте «стирающего» луча.

Алгоритм Свира позволяет разделить всю обслуживаемую зону на несколько секторов. В пределах каждого сектора составление кольцевого маршрута может осуществляться посредством решения различных задач оптимизации, например задачи коммивояжера, некоторых разновидностей транспортной задачи.

LP – система «плоского производства» тоже является по своей сущности развитием системы «точно в срок» и включает в себя элементы «планирования ресурсов» и системы KANBAN. Эта система использует намного меньше ресурсов, чем массовое производство, так как уменьшается количество запасов и времени, затраченного на производство одной единицы продукции, а значит, уменьшаются потери от брака. Целью этой системы является достижение высокого качества изготавливаемой продукции, уменьшение производственных издержек, экономия времени на переналадивании оборудования, что обеспечивает быструю реакцию на изменение спроса потребителей.

DDT – система реагирования на спрос – улучшенный вариант концепции планирования ресурсов. Чаще всего применяют такие определения, как «точка глубины проникновения заказа», «концепция быстрого реагирования», «концепция непрерывного пополнения запасов» и «концепция автоматического пополнения запасов».

По мере перехода к рынку покупателя возник спрос на системы CRM – *Customer Relation Managment*, т.е. управление отношениями с потребителями, клиентами. Эти системы начали выигрывать конкуренцию с ERP, получая все большую долю рынка систем управления. Однако по мере развития информационных технологий *различные виды ЛИС сближаются и принимают интегрированный характер*. Предприятия могут приобретать их целиком или по частям, в соответствии со своими бизнес-процессами.

Основное направление CRM – учет опыта работы с каждым клиентом в одном месте. Разграничение доступа к БД клиентов и менеджеров, формирование типовых документов, которые передаются клиенту по шаблону. Цели CRM – повышение качества и скорости обслуживания клиентов, уровня безопасности бизнеса, прозрачности работы каждого сотрудника отдела продаж, а также автоматизация создания отчетов по продажам.

Важную роль играют системы электронного документооборота (СЭД) – обеспечивают автоматическую регистрацию входящих документов в дела и регистрационные карточки, ведение истории изменения и согласования документов, контроль поручений по документам. Это необходимо для повышения безопасности, скорости прохождения согласований документов; ускорения поиска документов, включая архивные. Более развитые ИС – системы управления проектами, СУП, где реализованы функции расчета необходимых показателей, а не только хранение данных (документов).

Вместе с тем, как отмечалось, стираются границы между ИС, ЛИС различных типов по видам их функциональности. Системы становятся все более универсальными по мере роста возможностей вычислительной техники, а также распространения самой логистики на все новые области компетенций управления и прогнозирования.

Это взаимосвязанный процесс. С одной стороны, растут быстродействие и объемы памяти вычислительной техники, развиваются программные средства обработки данных и управления ими.

С другой стороны, растет специализация производства, усложнение изделий по числу элементов и структуре связей между ними. Время перемещения компонентов доходит до 90% всего времени изготовления готовой продукции, которая изготавливается по заказам. Переход от массового производства к мелким сериям и отдельным заказам требует гибкости технологий производства, быстрой наладки оборудования на выпуск новой продукции. Выбирать ЛИС следует под задачи, которые важны для контроля.

1.5. Управление цепями поставок (УЦП)

Мы рассмотрели потоки информации и организацию ЛИС на уровне предприятия. Рассмотрим организацию ЛИС на макроуровне, который включает в себя совокупность предприятий (регионов, стран), которые обеспечивают прохождение материальных и информационных потоков от сырья (ресурсов) до потребителя.

Экономика начинается с разделения труда и обмена продуктами. В натуральном хозяйстве проблемы обмена не возникают, и нет проблемы измерения ценности продуктов для эквивалентного обмена. Разделение труда повышает производительность – каждый делает то, что он умеет лучше. Растет эффективность общества, а для измерения эквивалентности обмена возникают деньги. Древние говорили: если хочешь узнать уровень развития города – посмотри, сколько в нем специальностей, видов ремесленников. Половина профессий 30 лет назад не была известна. Согласно данным экспертов, в 2000 году было 40000 профессий, а в 2010 – 80000 профессий. При этом возросла динамика перемещения работников. Данные Евростата показывают, что каждый десятый в ЕС родился вне страны проживания. Такая динамика усложняет задачу управления материальными, людскими, финансовыми, информационными потоками, т.е. возрастает роль логистики на уровне регионов, стран, континентов.

Развитие информационных систем, технологий производства позволило перейти от управления информационными потоками одного предприятия к объединению информационных потоков *сети* всех предприятий, работающих на создание данного вида готовой продукции. Некоторые виды продукции (например, авиалайнеры) создаются сотнями предприятий в десятках стран.

Это сложная информационная задача. Ее сложность зависит от масштабов функциональных циклов (их виды рассмотрены в первой части данной работы), которые необходимо объединить. В настоящее время организации не в состоянии самостоятельно контролировать весь процесс (цепочку) от добычи исходного сырья до продажи готового изделия конечному потребителю. Данный комплексный функциональный цикл разбивают на этапы (звенья), и множество организаций участвуют в нем как торговые партнеры (поставщики и покупатели), прежде чем железная руда, сырая нефть, песок или другие

материалы превратятся, например, в компьютер, стиральную машину или автомобиль. Объединение управления всеми видами материальных, информационных потоков в единую систему называют «управление цепями поставок», УЦП (англ. SCM – *Supply Chains Management*).

Определения

Цепь поставок (процессное понимание) – это совокупность потоков и соответствующих им кооперационных и координационных процессов между различными участниками цепи создания стоимости для удовлетворения требований потребителей в товарах и услугах.

Цепь поставок (объектное понимание) – это совокупность организаций (предприятий-изготовителей, складов, дистрибьюторов, экспедиторов, оптовой и розничной торговли), взаимодействующих в материальных, финансовых и информационных потоках, а также потоках услуг от источников исходного сырья до конечного потребителя.

Таким образом, в основе планирования УЦП лежит процесс прохождения потоков по объектам, связанным структурой связей. Это и выражают двойственные определения цепи поставок как со стороны процессов, так и со стороны объектов.

Управление цепями поставок как научная дисциплина изучает ресурсы промышленных, логистических и торговых предприятий, а также принимаемые людьми решения в отношении процессов взаимодействия между организациями для преобразования, трансформации и использования этих ресурсов на всей протяженности цепи создания стоимости от источников исходного сырья до конечного потребителя. С практической точки зрения это системный подход к интегрированному планированию и управлению всем потоком информации, материалов и услуг от конечного потребителя через предприятия и склады до поставщиков сырья.

Системы управления цепями поставок предназначены для автоматизации снабжения, управления и контроля движения материальных, финансовых и информационных потоков на всех предприятиях, которые обеспечивают жизненный цикл продукции. Система УЦП охватывает весь цикл закупки сырья, производства и распространения товара, что позволяет лучше удовлетворить спрос на продукцию компании, снизить затраты на логистику.

Суть управления цепями поставок в рассмотрении логистических операций на протяжении всего жизненного цикла продукции, от процесса разработки, производства, продажи готовых изделий до их послепродажного обслуживания. Таким образом, УЦП представляет собой процесс планирования, исполнения и контроля с целью снижения затрат сырья, материалов, незавершенного производства, готовой продукции, сервиса и связанной с этим информации от зарождения заявки до потребления (включая импорт, экспорт, внутренние и внешние перемещения), вплоть до полного удовлетворения требований клиентов.

За рубежом SCM процессы подразделяют на две подсистемы:

- SCP – (англ. *Supply Chain Planning*) – планирование цепей поставок. Это системы для расширенного планирования и формирования календарных графиков, а также для разработки прогнозов.
- SCE – (англ. *Supply Chain Execution*) – работа цепей поставок в режиме реального времени, т.е. реализация планов и оперативное управление цепями поставок, такими как транспорт и складское хозяйство.

Помимо оперативного управления, SCP-системы позволяют осуществлять стратегическое планирование структуры цепей поставок: разрабатывать планы сети поставок, моделировать различные ситуации, оценивать уровень выполнения операций, сравнивать плановые и текущие показатели.

Состав задач, решаемых в подсистеме SCP:

- прогноз недельных/дневных продаж товара компании;
- управление запасами – оптимизационное планирование гарантийного запаса, текущего запаса и т.д. с учётом выбранной модели управления запасами для каждой товарной категории;
- управление пополнениями – планирование оптимальных поставок внутри логистической сети компании с учётом плана продаж, поставок от производителя, наличия остатков, транспортных мощностей, различных ограничений и бизнес-правил.

1.5.1. Общие принципы УЦП

Выделяют шесть областей управления цепями поставок: производство, поставки, месторасположение, запасы, транспортировка и информация. Все решения по УЦП делят на две категории: стратегические и тактические.

Производство. Стратегические решения относительно производства продукции (товаров и услуг) принимаются на основе изучения потребительского спроса. Компания решает, *что* именно и *как* производить.

Тактические решения сосредоточены на планировании объемов производства, рабочей загрузки и обслуживания оборудования, контроле качества и т.д.

Поставки. Компания должна определить, что она будет производить самостоятельно, а какие компоненты (комплектующие, товары или услуги) покупать у сторонних фирм. Стратегические решения касаются перечня приобретаемых компонентов и требований к их поставщикам относительно скорости, качества и гибкости поставок. Тактические же относятся к текущему управлению поставками для обеспечения необходимого уровня производства.

Месторасположение. Решения о месторасположении производственных мощностей, центров складирования и источников поставок полностью относятся к стратегическим. Они зависят от характера рынка, отраслевой специфики, а также от политической и экономической ситуации в регионе.

Запасы (Inventory). Основная цель создания запасов – страхование от непредвиденных случаев, таких как подъем спроса или задержка поставок. Прогнозирование поведения потребителей, организация бесперебойного снабжения и гибкость производства оказывают непосредственное влияние на

уровень запасов. Поэтому стратегические решения направлены на выработку политики компании в отношении запасов. Предприятие может вкладывать в запасы до 30% всех своих активов (до 90% оборотных средств), а расходы на содержание запасов обходятся в 20–40% их стоимости.

Тактические решения сосредоточены на поддержании оптимального уровня запасов в каждом узле сети для бесперебойного удовлетворения колебаний потребительского спроса.

Транспортировка. Решения, связанные с транспортировкой, в основном относятся к стратегическим. Они зависят от месторасположения участников цепочки поставок, политики в отношении запасов и требуемого уровня обслуживания клиентов.

Важно определить правильные способы и эффективные методы оперативного управления транспортировкой, так как эти операции составляют около 30% общих расходов на снабжение и именно с опозданиями в доставке связано около 70% ошибок в распределении товаров.

Информация. Эффективное функционирование цепочки поставок невозможно без оперативного обмена данными между всеми ее участниками. Стратегические решения касаются источников информации, ее содержания, механизмов и средств распределения, а также правил доступа.

Тактические решения направлены на интеграцию информационных систем участников цепочки поставок в общую инфраструктуру.

Из истории создания систем УЦП. Первые попытки разработки систем УЦП предпринимались за рубежом еще в 40-е годы. Первыми внесли изменения в управление и организацию производства японские промышленники. Одним из первых примеров применения системы УЦП является история создания японского автопрома. Основатели компании Тойота не имели средств на то, чтобы копировать западную модель работы автостроительной индустрии с ее массовым спросом. Рынок Японии был слишком мал для ее эффективной эксплуатации. Для разрешения этой проблемы в 40-х годах возникла идея *гибкого производства*.

Тогда автопроизводители использовали несколько сотен штамповочных прессов для изготовления деталей кузова машины. Тойота выпускала свои автомобили на нескольких прессовочных линиях, применяя собственную технологию быстрой замены штампов. Прессовочные штампы менялись каждые два-три часа по ходу производственного процесса. На замену уходило около трех минут, а все работы выполняли рабочие, обслуживающие пресс. В то же время на западных предприятиях штампы меняли не чаще чем раз в два-три месяца, так как на замену только одного из них уходил целый день работы с привлечением специалистов.

Производство автомобилей небольшими партиями требовало новых подходов к работе с поставщиками, поскольку на первый план выходили качество, точность и гибкость поставок. Производители автомобилей (конечной продукции) считали поставщиков противниками, создавая себе преимущества

за счет сталкивания их интересов. Для этого производители работали со многими поставщиками, меняли их.

Компания Тойота стала работать с небольшим количеством постоянных поставщиков, но сделала их партнерами своей команды. Для этого была создана многоуровневая система поставок. Ограниченное количество поставщиков первого уровня обеспечивали производителя комплектующими. Они, в свою очередь, работали с немногими поставщиками второго уровня, которые предоставляли компоненты для производства этих комплектующих, и т.д. Так возникли составляющие цепи поставок.

В 60-х годах компании США в условиях кризиса и конкуренции с японскими компаниями, стали создавать системы управления ресурсами. Они организовали учет данных о запасах сырья и компонентов, заказах на готовую продукцию. Это позволило быстро и без ошибок оплачивать поставки, договориться с поставщиками, ускорить снабжение и сократить операционные издержки. С расширением систем управления ресурсами на все бизнес-процессы предприятия возникли упомянутые ERP-системы [4, гл. 6], которые обеспечивают управление всеми материальными и финансовыми потоками, включая снабжение, производство, поставки сырья и заказы.

В 80-е годы ИС управления бизнесом стали адаптировать к созданию продукции по заказам клиентов (вытягивающая парадигма логистики). Необходимость своевременной и точной поставки сырья высокого качества потребовала эффективного взаимодействия с поставщиками сырья и материалов, чтобы быстро, точно и качественно удовлетворять постоянно меняющиеся требования заказчиков. Для этого необходимы минимизация издержек, повышение производительности труда, скорости доставки товара, а также общее улучшение организации управления бизнес-процессами.

Возникла концепция цепи поставок, звеньями которой являются объекты, потоки (материалов, информации и услуг), связи предприятия с поставщиками, клиентами, вплоть до конечного потребителя. В каждом звене цепи возможны потери времени, ресурсов, денег из-за долгого хранения, нерациональной доставки, ожиданий, неточного планирования и т.д. Необходимо было снизить эти потери.

Для решения этой проблемы все операции, обеспечивающие поставки изделия конечному пользователю, необходимо рассматривать как звенья единого бизнес-процесса и управлять ими как единым целым. Тогда можно существенно снизить издержки, уменьшить объем незавершенного производства, увеличить доходность сбыта. Соответственно, функции ЛИС стали расширяться: с внутренней интеграции информационных и материальных потоков до управления потоками данных, которое выходит за границы предприятия, обеспечивая комплексное планирование производственных и логистических бизнес-процессов на основании требований спроса с одновременным учетом ресурсных ограничений производства и логистики.

*Аналитические системы планирования (APS-системы, от *Advanced Planning & Scheduling*) построены на иных принципах, нежели ERP-системы:*

они оптимизировали операционные процессы по управлению всей цепью поставок на основании анализа данных, полученных от систем учета. Так, APS-системы стали своего рода интеллектуальной надстройкой над ERP, оптимизирующей планы производства и графика выпуска на основе анализа данных с учетом технологических и ресурсных ограничений. К 90-м годам прошлого века возможности APS были расширены и стали основой систем планирования цепей поставок – Supply Chain Planning (SCP), обладавших наряду с функциями планирования APS возможностями моделирования сети поставок с учетом всех ограничений и расчета оптимального плана выпуска продукции и дистрибуции. Данные системы планируют график производства, спроса и материальных запасов по всей цепочке поставок (включая поставщиков, производителей, дистрибьюторов), оптимизируют закупки, производство, сбыт, логистику и продажу продукции компаний.

Для полноценной реализации концепции УЦП недостаточно создать и применять системы учета ресурсов и планирования бизнес-процессов. Также необходимы ИС, с помощью которых можно формализовать, автоматизировать и оптимизировать весь комплекс операций цепи поставок: генерировать заказы, пополнять запасы, оптимизировать операции приемки, хранения и отгрузки на складе, а также управлять полным циклом транспортировки (от консолидации партий в рейсы и оптимизации маршрутов до контроля доставки и взаимодействия с перевозчиками). Эти «транспортные» решения, включавшие WMS-системы управления складом (Warehouse Management Systems), TMS-системы управления транспортировкой (Transportation Management Systems) и OMS-системы управления заказами (Order Management Systems), получили название систем исполнения цепей поставок – Supply Chain Execution (SCE).

Внедрение SCE-систем возросло после краха в начале века «новой» Интернет-экономики (считавшейся основой постиндустриального общества), последовавшей экономической рецессии и борьбы за снижение издержек. Были снижены расходы на ИС, многие долговременные проекты внедрения систем ERP и APS (на их внедрение уходят месяцы и годы, в зависимости от масштабов бизнеса) были заморожены или закрыты. Системы исполнения цепей поставок, SCE, более специализированные, быстрее развертываются, быстрее дают экономический эффект и мало зависят от ERP-систем.

В развитии систем УЦП происходит сближение прежде различных семейств решений. Разработчики ERP-пакетов, в частности SAP и Oracle, учитывая потребность клиентов в функциях УЦП, дополнили свои системы модулями планирования, с возможностями УЦП. А разработчики инструментов для УЦП, такие как i2 и Manugistics, разработали интегрированные решения, объединив функции планирования и оптимизации бизнес-процессов в цепи поставок, характерные для APS-систем, с операционным SCE-функционалом.

1.5.2. Технические средства контроля УЦП

По мере развития УЦП-системы приобрели свойства, присущие корпоративным ИС. Например, включены средства интеграции приложений (Enterprise Application Integration, EAI), которые обеспечивают совместимость

информационных, управленческих и транзакционных систем, используемых контрагентами в цепи поставок, что облегчает их внедрение и эксплуатацию. Модули мониторинга цепей поставок визуально показывают, насколько эффективно осуществляется управление ими, оперативно предупреждают об изменениях в глобальной структуре цепи поставок корпораций, которые интегрируют данные о поставщиках, производителях ГП, дилерах и т.д. В УЦП-системах нового поколения поддерживаются технологии отслеживания статуса товара (с детализацией до уровня единицы ассортимента и даже отдельной упаковки) на любом этапе прохождения его по цепи поставок.

Для этого применяются технические средства контроля, которые представлены штрих-кодами для маркировки любого вида продукции и аппаратурой сканирования. Это обеспечивает сквозной учет материального потока на всем протяжении функционального цикла создания и продажи продукции от источников сырья до продажи готовой продукции.

Кассир в магазине или работник завода сканером считывают штрих-код с упаковки, и это является сигналом для оплаты поставленной продукции. Здесь же, в компьютере, уточняется, что это за детали и для какого цеха они предназначены. Служба снабжения получает сигнал о необходимости сделать заказ на доставку следующей партии товара или деталей для процесса производства. В новых бизнес-процессах отсутствуют такие бумажные документы, как форма-заказ, накладная и счет на оплату, которые являлись непременным атрибутом прежнего процесса закупки.

Развитие Интернета внесло изменения в правила организации бизнеса, в результате возникла новая модель бизнеса – электронный бизнес (e-business). Управление цепями поставок является неотъемлемой частью этой модели.

Следующий этап контроля и учета продукции в системах управления цепями поставок связан с развитием радиочастотной идентификации. Радиочастотные метки, созданные по нанотехнологиям, обеспечивают переход в размерах чипов со 140 до 90 нанометров. Это позволяет уменьшить размеры маркеров до 1 мм, а их стоимость с 3-4 рублей до 2 рублей за маркер-метку. Такая метка снабжена чипом и антенной, что обеспечивает передачу информации на сканеры на расстоянии, бесконтактным образом.

Системы радиочастотных меток, RFID (РСАЙДи), обеспечивают учет товаров на расстоянии, постепенно заменяя прежние системы штрих-кодирования. Специальные машины для захватывания таких меток, сканеры для их считывания внедрены уже в ряде библиотек для учета сразу многих взятых читателем книг на расстоянии, что позволяет в 4-5 раз быстрее выполнять операции по контролю потоков продукции, в данном случае книг.

В магазинах, оснащенных системой радиочастотной идентификации, набор продуктов обрабатывается терминалом дистанционно, автоматически. Далее терминал предлагает покупателю варианты оплаты покупок – с банковской карты, наличными или с мобильного телефона.

Технологии радиочастотной идентификации уже работают на транспорте – вагоны российских железных дорог оснащены соответствующими метками, что обеспечивает постоянный учет и контроль перемещений подвижного состава и

грузов. Разрабатывают и внедряют данные технологии на предприятиях Санкт-Петербурга при участии корпорации РОСНАНО.

1.5.3. Применение систем УЦП

За рубежом развивается рынок программных продуктов для управления бизнесом как цепями поставок. Многие компании приобретают системы УЦП, дополняя ими свои системы для планирования ресурсов. По оценкам экспертов, оборачиваемость запасов растет на 75%, расходы на логистику снижаются на 40-50%, а время планирования с дней сокращается до минут. Для компаний розничной торговли эффективное планирование ассортимента на локальных рынках стало источником конкурентного преимущества.

Современные УЦП-продукты имеют модульную структуру, что позволяет шаг за шагом оптимизировать наиболее критичные для предприятия элементы цепочки поставок. Оптимизацию цепи поставок можно провести путем нескольких внедрений отдельных модулей для решения критических проблем, которые дают ощутимый количественный эффект. Далее модули легко интегрируются, поскольку реализованы как части единой архитектуры УЦП.

Например, в модулях управления спросом имеются функции совместного планирования, прогнозирования и пополнения запасов (Collaborate Planning, Forecasting and Replenishment, CPFR), управления запасами поставщиков (Vendor Managed Inventory, VMI). Они позволяют разрабатывать и при необходимости быстро корректировать план, согласованный со всеми подразделениями предприятия, поставщиками и дистрибьюторами (отвечающими за сбыт, физическое распределение), который определяет, где должен производиться данный продукт, когда его нужно отгрузить, где и в каком количестве следует хранить товар для оптимальной реализации плана продаж. Например, в компании Lever Ponds, входящей в состав корпорации Unilever, через полгода после внедрения подобного решения точность прогнозов увеличилась вдвое, уровень запасов сократился на 20%, а показатель исполнения заказов возрос на 95%.

Организация бизнеса с применением систем УЦП позволяет лучше удовлетворить спрос при наименьших затратах. Например, внедрение системы УЦП на заводах металлургической компании Арселор позволило сократить объем незавершенного производства с 22 до 7 дней и сэкономить оборотный капитал на десятки миллионов долларов.

УЦП-решения по оптимизации производства создают оптимальные планы использования технологических линий, где подробно расписано, что, когда и в какой последовательности надо изготавливать с учетом ограничения мощностей, сырья и материалов, размеров партий и необходимости переналадки оборудования на выпуск нового продукта. Для этого математическое обеспечение системы должно решать ряд задач межотраслевого баланса с ограничениями по ресурсам, задачи линейного программирования, включая транспортную задачу и задачу коммивояжера.

В Москве на одном из крупных заводов решалась задача переналадки автоматических линий для производства крепежных устройств авиационной техники. Около 300 типоразмеров производили несколько десятков автоматических линий. Известно время переналадки линий на новый тип изделия, спрос на каждый вид. Надо определить время работы каждой линии и объем запасов каждой детали с тем, чтобы процесс производства был обеспечен в непрерывном режиме и с минимальными затратами. То есть цикл «выпуск детали – создание запаса – переналадка на вторую деталь – выпуск второй детали – создание ее запаса – и т.д. до возвращения к выпуску первой детали» должен обеспечивать наличие всех типов деталей, когда в них возникает необходимость. Для создания системы управления необходимо решать транспортную задачу со многими продуктами при наличии складов.

Построенная и отлаженная структура цепи поставок является объектом с переменной структурой, в которой связи со временем изменяются. Изменения связаны с падением или повышением спроса, исчерпанием одних источников ресурсов и появлением других, появлением новых участников цепи и уходом прежних участников (элементов) цепи.

Гибкость цепей поставок связана с необходимостью быстрых перемен при изменении конъюнктуры (макроэкономических условий) в связи с изменением спроса, неопределенностью спроса на выпускаемую продукцию.

По этой причине возникает необходимость применения математических сетевых моделей для систем с переменной структурой. Т.е. таких систем, в которых структура связей участников подвержена изменениям по различным причинам. Например, резкий подъем спроса может создать «пробки» в цепи поставок, если пропускная способность, производительность некоторых элементов недостаточна. *Сетевые модели для систем с переменной структурой будут рассмотрены далее в данном учебном пособии.*

По этой причине предприятия, особенно поставляющие инновационные продукты по гибким цепям (и сталкивающиеся при этом с неопределённым спросом на свои продукты), должны создавать варианты стратегий, которые обеспечат работу цепи при изменении условий.

Например, уменьшить неопределенность (найти источник новых данных, которые позволят точнее определить спрос). Уменьшить максимально время подготовки производства при изменении спроса, тем самым снизить неопределенность. Создать в цепи поставок резервы товарных запасов и производственных мощностей, чтобы застраховаться от неопределенности (хотя их снижение является задачей логистики).

Особенности построения цепи поставок и их отражение в информационной системе управления определяет рыночная стратегия компании. Это требует создания и применения *сетевых моделей* прохождения потока по структуре связанных объектов (элементов) цепи поставок.

Компании, которые использовали принципы управления цепями поставок, столкнулись в своей работе с определенными трудностями как на этапе проектирования цепей поставок, так и во время их эксплуатации. Проблемы

были связаны с отсутствием методологии для описания процессов в цепи поставок и оценки ее эффективности.

Эталоны и сравнение с лучшими. В мировой практике для улучшения бизнес-процессов организаций, наряду с реинжинирингом, получили распространение две методики: эталонное тестирование (Benchmarking) и анализ лучших методов (Best Practices Analysis). Первая объединяла качественные и количественные методы, позволяя проводить корреляцию определенных способов ведения бизнеса с измеримыми результатами. Вторая позволяла измерить эффективность деятельности сходных компаний и установить внутренние цели на основании «лучших в своем классе» (best-in-class) результатов. Поэтому в 90-х годах была разработана «Рекомендованная модель работы цепи поставок» (*Supply Chain Operations Reference-model – SCOR*), основанная на методологии, принятой в реинжиниринге, эталонном тестировании и анализе лучших методов.

В основу SCOR положены четыре процесса: Планирование (Plan), Снабжение (Source), Изготовление (Make) и Распределение (Delivery). Описание процессов, происходящих внутри цепи поставок, содержит четыре уровня детализации. Модель описывает только первые три.

Первый – уровень типов процессов. На этом этапе компания определяет свои бизнес-цели и стратегию в отношении планирования, выбора источников поставок, производства и распределения продукции.

На втором уровне (уровне конфигураций в терминологии SCOR) четыре типа процессов разбиваются на категории (согласно SCOR существует 26 различных категорий), и компания может «сконфигурировать» цепь поставок в соответствии с требованиями стратегии, используемых технологий и т.д.

На третьем уровне категории процессов разбиваются на составляющие элементы. Комбинация этих элементов определяет конкурентоспособность компании на выбранных ею рынках. Здесь даны дефиниции элементов процессов и их взаимосвязь, приведена информация на «входе» и «выходе» каждого элемента, перечислены параметры и меры, которые нужно использовать при оценке их эффективности. Там, где возможно, описаны лучшие методы и даны рекомендации по использованию ПО для их внедрения.

На последнем уровне декомпозиции компании разбивают элементы процессов на составляющие их работы и элементарные операции, приспособив модель к особенностям ведения своего бизнеса. Набор работ и операций будет уникальным для каждой организации, поэтому, естественно, никакая модель не в состоянии их описать.

Предприятие, построив собственную модель процессов, может измерить ее эффективность и сравнить результаты с данными об эффективности «лучших в своем классе» компаний, а также сравнить свои методы управления с общепризнанными лучшими методами. Это позволяет ей определить новые цели по повышению эффективности своей деятельности. Например, предприятие обнаруживает, что ему требуется 60 дней для увеличения производства на 20%, в то время как «лучший в своем классе» результат – 20

дней. В этом случае оно может сравнить свою модель с лучшими методами, выявить слабые элементы и принять меры по их оптимизации.

Получаем метод сравнения с другими участниками рынка, или метод сравнения с идеальным объектом, как это делается в рейтинговых методиках.

1.5.4. Примеры систем УЦП

ЛИС разного назначения конкурируют за лидерство на рынке информационных технологий. На ежегодных конференциях Американского общества по управлению производством и запасами (American Production and Inventory Control Society – APICS) с конца 90-х годов отмечалось, что рынок УЦП-систем постепенно вытесняет ERP-системы. Дальнейшая интеграция систем проходила по мере развития информационных технологий и вычислительной техники и по мере продвижения логистики в области управления, планирования и прогнозирования.

Наиболее известные зарубежные производители систем УЦП, продукцию которых используют и отечественные предприятия это: IFS Applications, BAAN, OpenERP, 7Hills Business Solutions, I2 Technologies, SAP AG, Oracle Corporation, JDA, HighJump Software, Manhattan Associates, Industrial and Financial Systems, Infor, Management Dynamics Inc, Kewill, Beroe-inc, Kinaxis, CDC Software, Система Alfa.

Многие компании используют УЦП-модули, интегрированные в ERP-системы. У таких решений есть преимущества и недостатки. Общая система позволяет объединить данные различных служб – финансовых отделов, отделов продаж, отдела склада и т.д. для создания общей базы данных, совместного использования клиентских данных. При этом решаются задачи регулирования операционных процессов (автоматизация приема и обработки заказов, электронный документооборот, учет продаж). А также прогнозирование спроса, расчет оптимальных схем доставки, анализ и планирование сбытовой деятельности. Однако системы становятся сложнее и дороже.

Рассмотрим некоторые системы зарубежных компаний, лидирующих в области разработки ERP-систем и УЦП (SCM)-систем: BAAN, SAP AG.

Решения компании SAP используют общую схему для приложений, что позволяет интегрировать все модули. Кроме этого, продукты SAP могут работать с продуктами других компаний. В качестве SCM-решения компания предлагает модуль Business Information Warehouse (BW), который она представляет как решение для любой отрасли. С помощью этого модуля компания собирает данные, необходимые для принятия решений и планирования, обеспечивает возможность их хранения и анализа. Другим модулем является блок планирования и оптимизации процесса поставок, который предлагает ряд различных сервисов, что позволяет рассматривать всю цепочку в целом, выявлять слабые места и принимать решения по улучшению.

Для оптимизации логистической цепочки компания предлагает систему Logistics Execution Systems, которая позволяет управлять процессом движения товарных запасов, хранением товаров на складе и транспортировкой.

Компания ВААН представила несколько решений, которые направлены на оптимизацию процесса производства при его согласовании со сбытом продукции. Эти решения обеспечивают управление сбытом, позволяя оптимизировать производственные планы предприятия согласно спросу на продукцию, а также планировать для себя и сообщать клиентам информацию о сроках доставки заказа потребителю. Кроме того, эти инструменты позволяют моделировать цепь поставок. Специальный модуль управления и планирования на основании полученных от компании данных позволяет снизить затраты на транспортировку продукции и точнее прогнозировать поставки.

Преимущества решений этих и других производителей УЦП-систем в том, что они являются элементами единой интегрированной системы, обеспечивая управление, контроль, планирование и оптимизацию системы поставок частями, как отдельные модули. Далее можно наращивать новые модули, которые могут работать как независимо, так и в составе с другими модулями.

Специалисты отмечают также недостатки интегрированных систем:

- высокая стоимость самого решения (системы);
- высокая стоимость поддержки в процессе эксплуатации (по оценкам экспертов, может в 3-5 раз превышать стоимость системы);
- длительность внедрения (многие компании тратили на это более трех лет);
- даже универсальные решения порой не могли учесть специфику отрасли и автоматизировать все процессы в полном объеме.

Также возникают сложности с обучением персонала и повышением оперативности работы. Дело в том, что многие дистрибьюторы (специалисты по сбыту) предпочитали традиционные способы заказа, а не системы открытого склада в Интернете. Несмотря на проблемы, растет число компаний, которые используют УЦП и Интернет для оптимизации каналов распределения.

Системы УЦП в России. У российских компаний существует интерес к концепции УЦП, которая дает конкурентные преимущества на отечественном рынке, а особенно при выходе на зарубежные рынки, где конкуренты применяют все современные информационные технологии. Тематика УЦП входит в повестку дня деловых конференций, семинаров-практикумов. В бизнес-изданиях проводится анализ связанных с этим направлением проблем, а в структуре руководства компаний появляются должности ответственных за развитие УЦП. Препятствием для практического применения систем УЦП остается малоэффективная логистическая инфраструктура экономики России.

Системы УЦП на отечественном рынке можно разделить на два сегмента: российские разработки и иностранные разработки. Среди иностранных разработок в России продаются системы Renaissance, Ахapta и ряд других.

Компания «Интерфейс» продает *систему Renaissance*, которая позволяет хранить, использовать и анализировать информацию по разным направлениям деятельности предприятия. Модуль дистрибуции, физического распределения товара, осуществляет сбор и анализ всех статистических данных о спросе. На этой основе планируются поставки товаров, регулируются отношения с поставщиками и дистрибьюторами, корректируются планы производства. Эта

комплексная, интегрированная система создает единое информационное пространство для всех служб обеспечения процесса продажи.

Модуль транспортировки позволяет составить оперативный план перевозок, контролировать перемещения товара. Можно заранее составить план перевозок, определить время доставки товара клиентам, снизить транспортные издержки за счет уменьшения потерь времени при доставке. База данных обеспечивает оформление документации на перевозки, дает актуальную информацию по товарам, которые находятся в пути.

Система Axapta является одной из первых систем, которая полностью ориентирована на работу в Интернете. Блоки УЦП в ее составе позволяют предприятию отслеживать весь процесс продажи изделия от выдачи предложения (заказа) до выписки счета на поставку продукции, а также вести мониторинг складских запасов для выполнения заказа. Система обеспечивает планирование, разбиение периода планирования на составляющие, обработку и выполнение заказа, распределение и управление складами, управление транспортировкой, логистику производства и др.

Отечественные разработчики также рассматривают УЦП как рост возможностей управления, поэтому предлагают системы, внедряемые в общую систему управления предприятием. Вместе с тем особенностью этих систем является акцент на финансовую деятельность предприятия и бухгалтерский учет. Для этого в ряде систем включена автоматическая генерация бухгалтерской документации – счетов, счетов-фактур, платежных поручений, накладных. Конечно, системы УЦП должны иметь связь с финансовыми службами, однако, как показывает зарубежный опыт, для полного управления материальным потоком этого недостаточно.

Отечественные разработки реализуют механизмы УЦП. Например, компания «Ай-Ти» включила инструментарий управления логистическими процессами в систему «Босс-корпорация». Это позволяет предприятию создавать систему управления запасами, включая механизмы настройки логистических бизнес-процессов согласно потребностям компании.

Компания «Интеллект-Сервис» создала решение «БЭСТ-предприятие», которое содержит инструменты для управления складской, закупочной и сбытовой деятельностью предприятия. Данная ЛИС позволяет вести документацию по торгово-закупочной деятельности, контролировать отгрузку и прием товаров, вести прайс-листы с ценами на продукцию предприятия, вести прием заказов от клиентов.

Система «Парус» содержит программу «Логистика», инструменты которой позволяют управлять оперативными процессами и планировать деятельность по сбыту продукции. Здесь возможно формирование, ведение всей клиентской документации, контроль количества свободного товара на складе, мониторинг всех платежей. Инструменты планирования позволяют прогнозировать спрос на продукцию и анализ товарооборота, а также уровень организации складской деятельности и построения торговых отношений.

Ряд отечественных систем связан с УЦП. Например, модуль «Парус-Аналитика» предоставляет информацию по товарообороту, лидерам продаж; оптимизирует производственные планы согласно спросу потребителей.

В целом для отечественных разработчиков характерна автоматизация внутренних процессов предприятия, применение Интернета для оптимизации работы развивается сравнительно медленно. Модуль «Парус онлайн» позволяет создать общее информационное пространство и упрощать процессы заказов и покупок. Это позволяет интегрировать УЦП вместе с модулями управления отношениями с клиентами и поставщиками, налаживая, таким образом, устойчивые отношения со всеми категориями партнеров. Растет уровень удовлетворения клиентов, сбытовая деятельность оптимизируется в соответствии с динамикой спроса. Использование подобных систем выгодно для средних и малых компаний. Оно требует меньше финансовых затрат, чем зарубежные системы, лучше учитывает особенности российских бизнес-процессов, отчетности и законодательства.

Для российского рынка более характерна разработка специализированных, отраслевых систем, чем универсальных, интегрированных решений. Например, компания «Лестер» создала систему для экспедиторских фирм, которая позволяет принимать заявки от клиентов, вести документацию, контролировать расчеты с клиентами, планировать выполнение работ согласно заявкам клиентов. Данная система внедрена рядом отечественных экспедиторов, что, в частности, позволяет им принимать заявки в онлайн-режиме и предоставлять клиентам возможность слежения за своим заказом.

Компания «Шереметьево-Карго», у которой есть собственная система управления грузооборотом, заключила договор с компанией «Ай-Ти» на внедрение системы «Босс-корпорация», которая обеспечила возможности оптимизации системы с учетом специфики работы и потребностей предприятия. Создана система беспроводного доступа к информации с использованием систем штрихового кодирования. Это обеспечивает возможность контролировать движение груза на всех этапах транспортировки.

Мало поступает объективной информации об успешно внедренных решениях. Это связано не только с тем, что отечественные предприятия реже используют системы УЦП, но и с тем, что принятая за рубежом терминология не всегда используется в России. Кроме того, к области УЦП порой стали относить все бизнес-приложения, ориентированные на выработку стратегии, координацию планирования и организацию управления в сфере снабжения, производства, складирования и доставки товаров конечному потребителю.

Вместе с тем в октябре 2012 г. руководители «Аэрофлота» и SAP AG представили результаты очередного этапа внедрения единой интегрированной системы управления предприятием на базе SAP ERP. В 2011-2012 гг. авиакомпания внедряла инновационное корпоративное приложение компании SAP AG, которое позволяет эффективнее управлять бизнесом. Топ-менеджеры могут в любой момент получать данные обо всем, что происходит в компании, и это приводит к заметной экономии за счет сокращения издержек.

За 18 месяцев реализовано 11 проектов, включая автоматизацию таких областей, как бухгалтерский и налоговый учет, казначейство, управленческий учет, международные стандарты финансовой отчетности, бюджетирование, управление договорами, закупки и запасы, техническое обслуживание и ремонт воздушных судов, управление персоналом и пр. В системе уже работают 2400 специалистов «Аэрофлота».

Предстоит переход на новую систему дочерних организаций, в том числе и авиакомпании «Россия». Происходит унификация и централизация информационных систем и бизнес процессов. Еще в 2009 году действовало 180 различных компьютерных платформ, отвечавших за разные аспекты бизнеса. Теперь их остается три. Для бронирования билетов используется система “Sabre”, для учета доходов от перевозок – система Sirax AirFinance, для управленческого учета – SAP. Польза от новой системы есть. Было выявлено 2,5 тысячи договоров, по которым компания просто два раза платила за одно и то же. Раньше не было качественной системы учета договоров. Были случаи, когда компания продолжала платить по старым контрактам, предоставлявшим старую, ненужную услугу.

За месяц промышленной эксплуатации экономический эффект составил 11% от заявленного (в годовом исчислении), т.е. соответствует ожидаемому. Это в результате уменьшения штрафных санкций за просроченные лизинговые платежи, а также за заправку авиатопливом в зарубежных аэропортах. Планируется внедрить мобильную платформу и для повышения эффективности сотрудников, создания новых сервисов для клиентов, снижения стоимости владения мобильными приложениями при существенном увеличении их количества, повышения эффективности использования мобильных устройств, ускорения согласования документов и оплаты счетов и т.д. Аналогичные проекты были внедрены у крупного авиаперевозчика Delta Airlines.

Это позволит выдержать конкуренцию на мировом рынке. Корпоративное приложение требует издержек от всех компаний, но приносит измеримую выгоду. Управление дебиторской задолженностью сэкономило 5 млн. евро, на техническом обслуживании и ремонте – еще 2 млн. евро. Система позволила быстрее использовать нужные детали на складах, где также обнаружались запчасти от самолетов, которые компания не использует. На управлении персоналом сэкономлено 5 млн. евро.

В дальнейшем авиакомпания планирует применять решение для охраны окружающей среды, энергосбережение. Это позволит снизить вредные выбросы в атмосферу, эффективнее использовать топливо.

Таким образом, управление цепями поставок представляет собой новую *концепцию управления бизнесом*, сложившуюся в результате перемен, которые произошли в управлении и технике за последние десятилетия. Ожидается, что до 2020 г. рынок систем УЦП будет возрастать на 10% ежегодно. Крупные поставщики комплексных систем предоставят полный спектр услуг по автоматизации начиная с поставок оборудования, обеспечения процессов производства, сбыта и заканчивая консалтинговой деятельностью.

2. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ЛОГИСТИКИ

Уровень организации информационных потоков компании, предприятия характеризует логистика структуры бизнес-процессов, что отражает количественные и качественные параметры их состояния в данный период времени. Организация бизнес-процессов характеризует соответствие форм, методов и способов осуществления передачи информации в пространстве и во времени достигнутому уровню развития информационных технологий.

2.1. Информационное обеспечение бизнес-процессов систем логистики

По современным представлениям логистика представляет собой общую модель предприятия и партнеров по бизнесу (стратегическую, оперативную и тактическую) с материальными и информационными потоками в качестве интегратора. На основе такой модели логистика (в частности, информационная логистика) реализуется как информационно-аналитическая система управления предприятием.

Модель включает в себя структуру сети потоков продуктов, финансов, информации, которые составляют содержание деятельности предприятия, а также базу целей, базу знаний, базу данных. Для формирования модели необходим системный анализ данной предметной области, т.е. предприятия и его бизнес процессов, который включает в себя комплекс мероприятий, направленных на выявление положительных сторон и недостатков бизнес-процессов предприятия, формирование базы целей и направлений ее развития. Анализ должен охватывать те стороны деятельности, которые непосредственно характеризуют состояние, уровень и эффективность организации бизнес-процессов, комплексно определяют наиболее существенные производственные и технико-экономические характеристики компании, ориентируют на выявление недостатков в организации, снижающих эффективность работы.

Анализ распространяется на все остальные стороны организации протекания бизнес процессов: организацию труда, движение предметов труда, функционирование орудий труда, организацию подготовки производства, производственных процессов, производственной инфраструктуры, материально-технического обеспечения производства, сбыта и реализации продукции, производственную структуру и организацию оперативного планирования производства. Основой методики анализа является комплекс технико-экономических показателей, отражающих состояние тех или иных сторон организации производства. Проведем анализ протекания бизнес-процессов в контексте информационного снабжения на примере организации предприятий с поточным типом производства.

Поточное производство – форма организации производственного процесса, при которой все операции согласованы во времени, повторяются через строго установленные интервалы, все рабочие места являются специализированными и располагаются в соответствии с ходом технологического процесса.

Реализуются все принципы организации процесса производства, что обеспечивает наиболее эффективное его функционирование. Поточные формы работы распространены в массовом производстве, а также в компаниях с большими оборотами данных и большим количеством сущностей бизнес-процессов. Планирование и управление материальным потоком при данной форме организации облегчается в силу проработанности вопроса, упорядочения движения предметов труда в пространстве и во времени, организации их ритмичной обработки.

Поточное производство развивается по пути автоматизации: внедрение автоматических линий, станков с числовым программным обеспечением, линий, содержащих оборудование с программным управлением; применение микропроцессорной техники, промышленных роботов, робототехнических комплексов, гибких производственных систем. Без достаточной информационной поддержки система может попасть в неустойчивое состояние, которое может повлечь за собой непредусмотренные издержки, неправильную работу связанных подразделений из-за нарушения синхронизации проходящих через них информационных потоков, и даже сбой в работе системы в целом. Вывести из состояния равновесия всю систему или ее отдельные подразделения могут следующие факторы:

- несвоевременное предоставление информации;
- наличие множественных копий описания одного и того же объекта;
- необходимость обновления всей однотипной информации;
- потеря документов долгосрочного хранения;
- потеря документов при транспортировке;
- отсутствие целостности данных;
- использование устаревших данных.

Причиной появления этих неблагоприятных факторов в первую очередь служит организация бизнес-процессов, которая основана на хранении данных в рассредоточенном виде и на использовании бумажных носителей для хранения и передачи информации.

2.1.1. Организация электронного документооборота ЛИС

Под понятием «бумажный документ» подразумеваем информацию, зафиксированную на бумажном носителе и обладающую определенными реквизитами, такими как, например, дата, подпись. Особенностью бумажного документа является его привязка к материальному носителю. В случае уничтожения носителя – теряется и непосредственно документ.

Электронный документ не привязан к носителю. Оригинал и копия электронного документа неразличимы – они могут существовать на многих носителях и являться одним и тем же документом. Для обеспечения достоверности, физической и информационной целостности электронных документов следует принимать специальные меры по защите и разграничению доступа.

К недостаткам бумажного документооборота относятся:

- истощение запасов древесины для производства офисной бумаги;
- расходы на закупку бумаги;
- архивы документов, сокращающие дорогую офисную площадь;
- поиск в бумажных архивах, который занимает много времени;
- свойство бумажных носителей терять со временем первоначальный вид;
- сложность гибкого управления правами доступа к документам;
- затраты времени на перемещение бумажного документа;
- сложность централизации бумажного документооборота в организации с рассредоточенной структурой производства.

Недостатки бумажного документооборота становятся очевидными с развитием высоких технологий. По данным исследования Siemens Business Services, проведенного еще в 2000 г., в растущих компаниях документооборот возрастает примерно на 15-25% в год. Порядка 30% рабочего времени тратится на поиски и согласование документов, 6% документов безвозвратно теряются, каждый внутренний документ копируется до 20 раз, в среднем каждый сотрудник тратит 150 часов в год на поиск утерянной информации.

Вместе с тем организация документооборота с применением проводной и беспроводной электронной передачи данных и хранения документов, требует расходов по закупке технического оборудования и программного обеспечения.

Цели перехода на электронный документооборот, автоматизации систем хранения, передачи данных:

- увеличение эффективности работы с документами;
- повышение качества управленческого труда;
- обеспечение надёжной защиты информации;
- повышение действенности контроля исполнения документов;
- уменьшение издержек, связанных с хранением бумажных документов.

Для управления документооборотом компании разрабатывают и/или внедряют автоматизированную корпоративную систему электронного управления документами.

Системы управления документацией в крупных компаниях преобразуют документооборот из бумажной формы в электронную форму. Автоматизация документооборота подразумевает возможность использования информации из базы данных, уменьшение ввода информации вручную, что дает выигрыш во времени и в снижении количества ошибок. Помимо форм документов, в базе данных системы управления документооборотом хранятся данные (адреса, номера договоров, даты заключения договоров, суммы, сведения о получении и отгрузке продукции, и т.д.), которые могут потребоваться в документах (договорах, приказах, актах о выполненных работах и т.д.). Один раз введенная информация позволяет формировать документы, требуемые в разных отделах. Также такая система включает все данные о сотрудниках, работающих с информацией, и о внесенных этими сотрудниками изменениях, что в дальнейшем может потребоваться при восстановлении системы или для привлечения к ответственности за порчу данных.

Автоматизация проектирования логистики означает организацию взаимодействия потоков информации из всех подразделений компании в электронном виде. В реальности это обеспечить сложно, поскольку каждая служба использует в работе наиболее удобное для себя программное обеспечение. Следовательно, необходимо разработать такое программное обеспечение, которое будет заменять и максимально просто унифицировать старое программное обеспечение. Для реализации данной задачи в первую очередь необходимо построить программный интерфейс, так как интерфейс является главным для контакта конечного пользователя с программой.

В основе любого производства, а также предприятия торговли лежат налаженные связи между его подразделениями. Информационные потоки, пронизывающие подразделения предприятия, объединяют их в общую структуру налаженных процессов. Любое отклонение от намеченного графика работ одного из отделов влечет за собой срыв графиков обмена информацией и поставок продукции между смежными отделами, что может повлечь лавинообразное отставание всей системы или группы сильно связанных подразделений. Сохранить ритм работы помогают автоматизированные системы информационной логистики, которые управляют информационными потоками, начиная от формирования договорных отношений с поставщиком и заканчивая выходом конечной продукции.

Каждое движение материального потока связано с передачей информации. Информационные потоки взаимодействуют с материальными потоками. Одни сообщения опережают груз, предупреждая его прибытие, что позволяет получателю своевременно подготовить его приемку. Другие данные сопровождают груз, они характеризуют вид и количество товаров, отправителя, получателя и владельца, указывают на опасные свойства товара. Поток информации может идти за материальным потоком, а может идти в обратном направлении (подтверждение приема, дополнительные заказы, запросы и т.п.). Информационный поток может быть сложнее материального потока, включая в себя отделы, через которые материал прямо не проходит.

Информационная техника обеспечивает выполнение требований логистики по управлению материальными и информационными потоками. Дело в том, что помимо указанных проблем документооборота возникали и другие, которые потребовали развития информатизации. Процессы глобализации, начиная с 1980-х годов, привели к интенсификации международных материальных потоков. Этому мешали различия в национальных стандартах на продукцию, рост объема документации по международным операциям с товарами и финансовым расчетам. Международным сообществом были приняты меры по унификации правил внешней торговли, контроля и технологических процедур на пограничных переходах. Это позволило унифицировать информационные потоки, а также согласовать требования к вычислительной технике и программному обеспечению.

Помимо этого, решались проблемы импортных квот и экспортных ограничений, требования к упаковке и маркировки грузов, согласование технических параметров транспортных средств и путей сообщения и т.д.

В результате информация стала логистическим производственным фактором, позволяя снизить запасы на складах, улучшить управление запасами, обеспечить согласованность действий поставщика и потребителя.

2.1.2 Структура автоматизации проектирования ЛИС

Прозрачность и гибкость значительно повышаются в результате применения интегрированных информационных и управленческих систем, которые позволяют убрать границы информационных ресурсов между подразделениями предприятия. Интеграция информационных процессов означает, что любая информация подготавливается и записывается в базу данных только один раз, но может использоваться для разных целей. Информационные процессы пересекаются и взаимодействуют только через единую базу данных. Содержание и структуру базы данных проектируют с учетом требований всех информационных систем предприятия.

Интеграция информации позволяет ускорить транспортировку, обеспечивая согласованность всех звеньев транспортной цепочки. Отсутствие своевременной информации создает накопление материала, поскольку неуверенность потребителя, как и неуверенность поставщика, обычно вызывает желание подстраховаться.

Информационные системы управления документацией обеспечивают подготовку, ввод, хранение, обработку, обновление, контроль и передачу данных. Они обладают иерархической структурой, состоя из нескольких уровней, соответствующих управленческой иерархии предприятия. Степень их автоматизации зависит от решаемых задач и масштабов предприятия. Информационные системы реализуют как сеть взаимосвязанных вычислительных машин разной величины и абонентских пунктов (терминалов). Базу данных заполняют информацией документов, которые отражают все стадии жизненного цикла продукции каждого вида – от поставок ресурсов, исходных материалов на уровне функциональных циклов: снабжения, далее материально-технического обеспечения производства – и до физического распределения с послепродажным обслуживанием и отношениями с клиентурой. Это нижний уровень базы данных об исполнении и оперативном управлении логистическими операциями содержит детальную информацию о движениях материальных потоков.

На более высокие уровни информацию передают в агрегированном виде, путем сжатия данных из более низких уровней базы данных. Подробные исходные данные передаются на более высокий уровень только в случае значительных отклонений от требуемого или ожидаемого состояния.

Автоматизированные ЛИС представляют собой информационные сети, которые описывают информационные потоки начиная с требований заказчика, далее через распределение и производство до поставщиков (т.е. в соответствии

с вытягивающей парадигмой). Эти системы обычно разделяются на три группы в соответствии с классификацией, рассмотренной в разделе 1.4.1, и отмеченными выше уровнями ЛИС.

Исполнительные системы – это информационные системы для исполнения повседневных дел. Они используются на административном и оперативном уровнях управления. Для этих систем важны скорость обработки и фиксирование физического состояния без запаздывания актуальности всех данных, поэтому они в большинстве случаев работают в интерактивном режиме. Например, управление складами и учет запасов, подготовка отправки продукции, оперативное управление производством, автоматизированным оборудованием. Управление процессами требует интеграции информационных систем коммерческого характера и систем информатизации производства.

Диспетчерские системы – это информационные системы для принятия решений на среднесрочную и краткосрочную перспективу (). Они направлены на обеспечение отлаженной работы ЛИС. Например, управление внутриводским транспортом, запасами готовой продукции, обеспечение материалами и подрядными поставками, запуск заказов в производство. Некоторые задачи могут быть обработаны в пакетном режиме, другие требуют интерактивной обработки, чтобы использовать наиболее актуальные данные. Диспетчерская система готовит исходные данные для принятия решений и фиксирует актуальное состояние системы в базе данных.

Плановые системы – это информационные системы для принятия долгосрочных решений о структурах и стратегиях. Они служат главным образом для создания и оптимизации звеньев логистической цепи. Для плановых систем характерна пакетная обработка задач.

2.2. Моделирование функциональной структуры ЛИС

Для качественного анализа информационных потоков, протекающих на предприятии, необходимо построить и проанализировать функциональную модель подсистем, составляющих бизнес-процессы. Для создания наглядной функциональной модели бизнес-процессов и информационных потоков предприятия используем стандарт IDEF0.

2.2.1. Автоматизация ЛИС на основе функциональных диаграмм

Стандарт IDEF0 служит для создания структурированного описания функций, действий или процессов моделируемой системы. Это наглядное обозначение (нотация) потоков и блоков обработки для моделирования бизнес-процессов. Стандарт IDEF0 представляет организацию как набор модулей. Описание выглядит как «чёрный ящик» с входами, выходами, управлением и механизмом, который постепенно детализируется до необходимого уровня. Для того чтобы быть правильно понятым, создают словари описания активностей и стрелок. В этих словарях описывают смысл, который вкладывается в каждую активность либо стрелку.

В графической нотации IDEF0 всего два элемента: блоки и стрелки. Блоки обозначают процессы или функции рассматриваемой системы, а стрелки отражают связи между процессами или с внешней средой. Особенностью нотации IDEF0 является возможность декомпозировать процессы на подпроцессы до необходимого уровня детализации описания и, таким образом, строить иерархические модели бизнес-процессов. Стандарт IDEF0 поддерживает два вида функциональных диаграмм:

- концептуальная диаграмма;
- диаграмма уровня декомпозиции процесса.

Эти два вида функциональных диаграмм отличаются смысловой функцией, а схожи в некоторых правилах оформления.

Применяется правило – наиболее важная функция находится в верхнем левом углу, кроме того есть правило стороны: стрелка входа всегда приходит в левую границу активности, стрелка управления – в верхнюю границу, стрелка механизма в нижнюю границу, стрелка выхода – правая граница.

Построение функциональных моделей с использованием нотации IDEF0 начинается с постановки задачи, которую необходимо решить при анализе получаемых диаграмм. Цель данного построения можно сформулировать так: «Исследовать процессы бизнес-модели компании и выявить этапы, подлежащие автоматизации». Каждый сотрудник при выполнении своих штатных обязанностей использует информацию, которая поступает к нему из смежных отделов. Эти информационные потоки связаны, поэтому для полноты описания моделируется весь бизнес-процесс, начиная с оформления заказа и заканчивая отправкой готового заказа.

Рассмотрим пример концептуальной диаграммы типа «*As is*» («как есть», т.е. текущее состояние) процесса обработки заказов предприятия, использующего технологии Интернета. Эта диаграмма представлена на рис. 2.1, где представлена концептуальная диаграмма схемы процессов обработки заказов через веб-витрину компании, составляющих основу ее бизнес-модели.

На диаграмме можно выделить четыре вида стрелок, в зависимости от стороны блока, в который они входят или выходят.

1. Слева – входные данные. Это заказ клиента, представленный списком данных, необходимых для выполнения процесса обработки заказа, которые записаны в определенные таблицы базы данных.

2. Сверху – управление, т.е. данные, на основании которых выполняется процесс. В состав данных управления входят законы, стандарты, указания руководства или проектные решения. В данном случае – это регламент работы компании, описывающий правила приема заказа, наличия резерва у поставщиков, принципов упаковки и транспортировки заказов.

3. Снизу показаны механизмы. Это аппаратные или кадровые ресурсы, выполняющие логистические функции, участвующие в выполнении процесса.

4. Справа – выходные данные, которые показывают результат выполнения процесса. В данном случае выходными данными является готовый заказ, который отправляется логистом компании с учетом правил доставки.

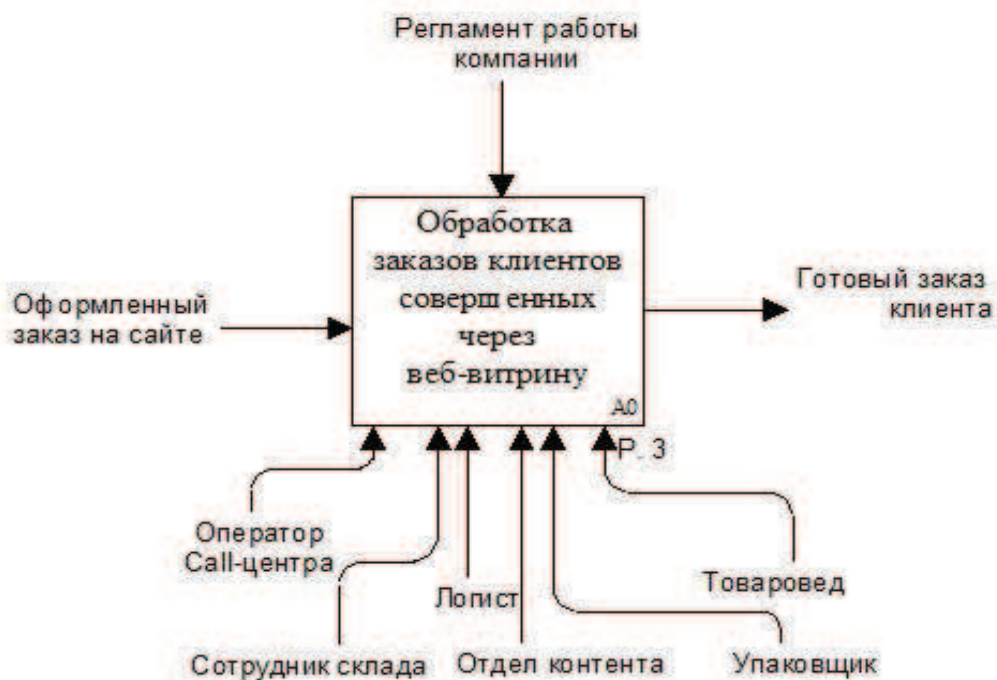


Рис. 2.1. Концептуальная диаграмма IDEF0 процесса обработки заказов клиентов, совершенных через веб-витрину

На концептуальной диаграмме, представленной на рис. 2.1, видны границы рассматриваемой системы и элементы ее связи с окружающей средой. В данном процессе участвуют следующие сотрудники и подразделения:

1. Оператор call-центра – сотрудник компании, отвечающий за прием заказов по телефону, но в данном случае заказы также оформляются через веб-витрину компании, что создает информационные потоки, т.е. исходные данные для электронного документооборота. Оператор также отвечает за согласование с клиентом *проблемных ситуаций*, таких как отсутствие в наличии заказанной модели или перенос даты доставки при включенных индикаторах заказа о невозможности доставки в указанные сроки.

2. Сотрудник склада – отвечает за прием товара, который поступает от поставщика по заранее отправленному резерву. Сотрудник склада занимается проверкой наличия товара и соответствия фактически поступившего товара и указанного в сопроводительной товарной накладной. Он также подбирает и отпускает товары со склада, если товар есть в наличии.

3. Логист отвечает за резервирование товаров у поставщика, доставку данных товаров до склада компании и отправку готовых заказов клиенту. Также логист отвечает за логистику (физическое распределение) невыкупленных товаров до склада компании.

4. Отдел контента (описания товара), основная обязанность которого – заполнение информации о товарах в системе. Этот отдел вносит в базу данных краткое описание товара, ищет фотографии данного товара в Интернете, если таковые имеются.

Если с товаром работают в фотостудии, отдел контента взаимодействует с фотографом. Если товар отсутствует в системе, то сначала необходимо подготовить описание всех свойств товара и внести их в систему, а потом уже прикрепить к нему фотографии. Начальник отдела контента занимается налаживанием отношений с поставщиками. После подписания договора с поставщиками запускается процесс интеграции, в который входит интеграция всех файлов остатков товаров у поставщиков.

5. Упаковщик занимается фасовкой товаров по заказам.

6. Товаровед – сотрудник компании. В его обязанности входит оценка и закупка товара для продаж.

Закупка производится после детального анализа продаж и возвратов от клиентов. Анализируются модели товаров, цвета и размеры, после чего производится закупка. Закупленный товар помещается на склад компании. Для улучшения качества продаж и уменьшения сроков доставки заказа клиенту приходится производить частичную закупку товаров у поставщиков по модели dropshipping, которую рассмотрим далее. Данный процесс является переходным к модели бизнес-процессов, использующих свой склад, что является более затратной по ресурсам моделью.

Начальным воздействием на систему является заказ покупателя (спрос), оформленный на веб-витрине компании, который необходимо обработать, что рассмотрим на более низких уровнях декомпозиции процесса. Ожидается, что на выходе, после протекания данного процесса, появится заказ, снабженный необходимыми документами и отправленный клиенту через средства доставки, например курьерскую службу. Все действия и операции, выполняемые в данном процессе, протекают под жестким контролем регламента работ, который объединяет в себе различные правила, такие как:

- законы Российской Федерации;
- требования клиентов;
- указания начальников отделов и руководства компании;
- корпоративные правила компании;
- техника безопасности.

Построение данной концептуальной модели представлено с точки зрения внешнего наблюдателя, а не подразделений; этот модуль информационной логистики является основным связующим элементов всей бизнес-модели [35].

Уже на первом уровне декомпозиции можно более детально разобраться в организации процесса выполнения заказа клиента. Для этого на рис. 2.2 представлена функциональная диаграмма, на которой изображены основные процессы, описывающие систему в целом, и связи между ними в виде входных, выходных и управляющих потоков. Здесь показаны основные потоки информации, которые сопровождают процесс выполнения заказа на приобретение товара через торговое предприятие.

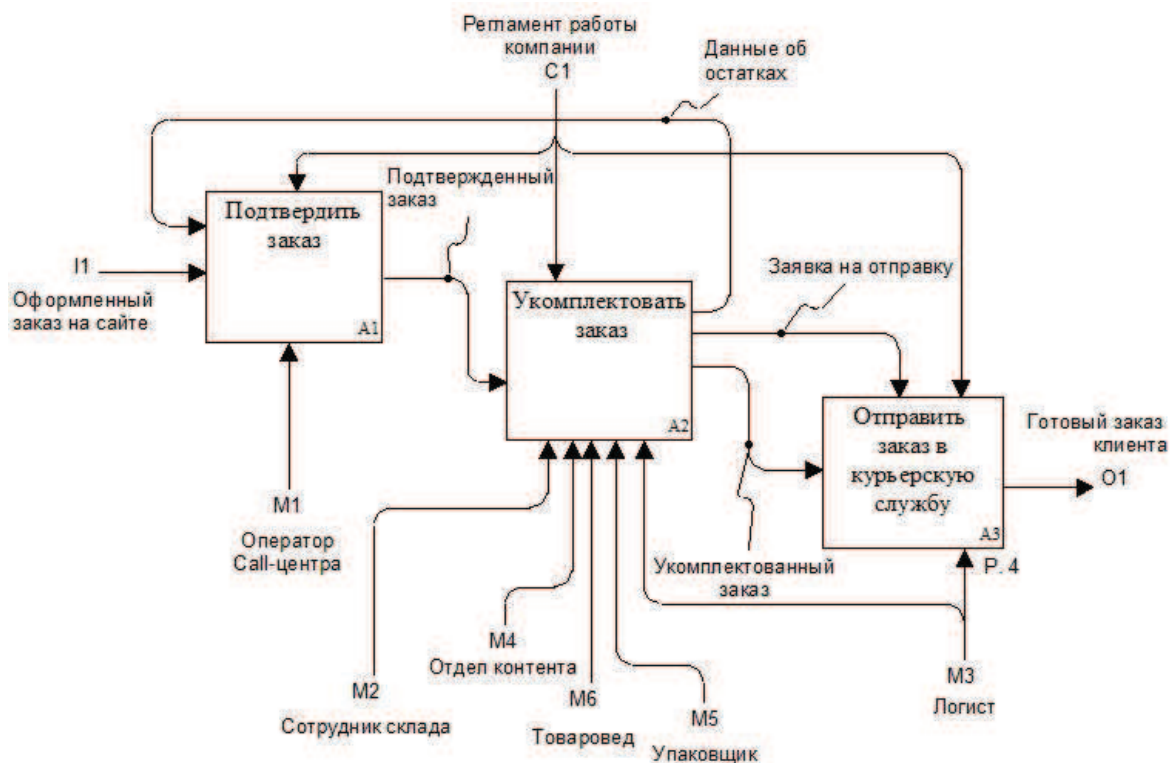


Рис. 2.2. IDEF-диаграмма первого уровня декомпозиции процесса

Анализ данной диаграммы показывает, что блоки A1 и A3 связаны с предприятиями, находящимися за границами анализируемой системы, выполняя процедуру подтверждения заказа, для выполнения которой достаточно описания самого заказа. В свою очередь, блок A2 в основном состоит из итерационных действий и *подлежит автоматизации*, путем внедрения специального модуля для выполнения данного процесса. Рассмотрим подробно структуру реализации такого модуля, автоматизирующего информационную логистику процесса. Для этого обратимся к диаграмме второго уровня декомпозиции, которая изображена на рис. 2.3. В данную диаграмму не включены механизмы, выполняющие процессы автоматизации.

Блок A2 состоит из множества подпроцессов, каждый из них работает с хранилищами данных различных типов, таких как:

- бумажные документы;
- локальная база данных.

У процессов, относящихся к разным отделам системы собственная база данных, а изменения в этих базах необходимо производить при каждой осуществленной итерации процесса, описанного в блоке A2 (рис. 2.2). Любая ошибка при вводе данных или невнимательность сотрудников компании повлекут за собой несогласованность локальных баз данных и нарушение целостности информации.

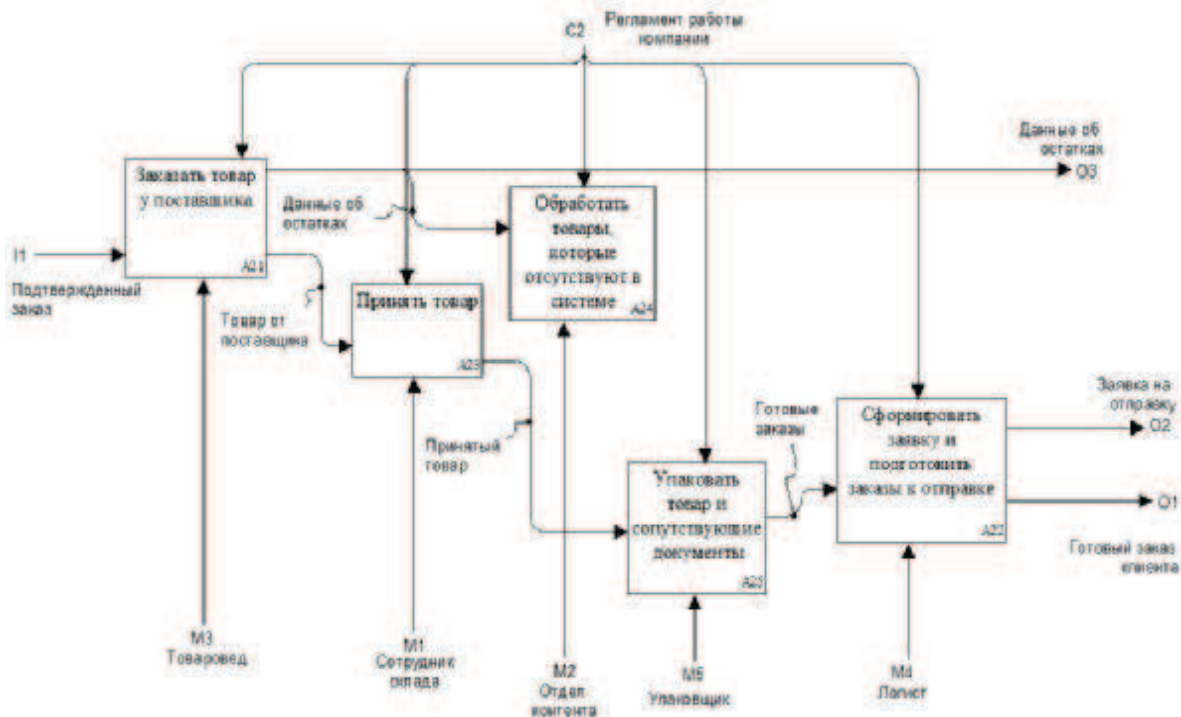


Рис. 2.3. IDEF-диаграмма второго уровня декомпозиции процесса

После проведения анализа функциональных диаграмм можно выявить плохо организованные процессы бизнес-модели, разработать функциональную модель процессов компании с автоматизированной системой и определить границы действия этой системы. На диаграмме IDEF0 второго уровня декомпозиции виден недостаток управляющих данных. Каждый процесс на этой диаграмме выполняется только на основе входных данных, вследствие чего могут произойти ситуации, когда сотрудник не в состоянии принять правильное решение из-за недостаточности информации или же просто может допустить ошибку, надеясь на собственную интуицию.

2.2.2. Модель организации бизнес-процессов «прямая поставка»

Прямая поставка (или «дропшипинг», от англ. dropshipping) – это вид предпринимательства, обычно в сети Интернет, когда посредник (дропшиппер) продает продукцию производителя. Логистическая схема предполагает, что посредник покупает товар у производителя только после того, как сам получил от клиента оплату данного товара. Ключевое отличие логистики в том, что производитель сам отправляет товар покупателю (отсюда название – «прямая поставка»), а прибыль посредника формируется из разницы между оптовой ценой продавца и розничной ценой продажи клиенту. Это снижает издержки транспортировки, так как достаточно совершить одну перевозку продукции вместо двух. Это позволяет розничному продавцу не держать запасы товара на своем складе, а отправить запрос на отгрузку производителю или оптовику, которые, как правило, и производят доставку в адрес конечного потребителя.

Это демонстрирует информационное посредничество в электронной коммерции: онлайн-площадка собирает заказы, а физическую доставку

осуществляет оптовик или производитель. Выгоды очевидны для обеих сторон: одна (специализируясь на Интернет-технологиях) накапливает заявки и привлекает посетителей на сайт, вторая (из сферы традиционного бизнеса) занимается своим привычным делом. Примером может служить крупный заказ небольшому розничному продавцу на партию однородного товара (например, подарков к Новому году или Рождеству).

Такая организация процесса дистрибуции позволяет онлайн-продавцу не замораживать в товаре значительные финансовые ресурсы для получения устойчивого денежного потока (особенно – с учетом отсрочки платежа).

Есть несколько потенциальных опасностей. Например, получив товар не от сайта, на котором он оформлял заказ, конечный покупатель может найти «точку происхождения», т.е. самого производителя (оптовика), сэкономив на последующих приобретениях. Для решения этой проблемы отправитель, например (по согласованию с продавцом), может не указывать обратный адрес. Можно даже договориться с оптовиком об отправке товара в вашей упаковке.

В современной электронной коммерции есть масштабные примеры применения прямых поставок. Так, практически все онлайн-аукционы, включая eBay, работают по этой схеме. Ведь основная функция торгов – предоставление необходимых сервисов и арбитраж сделок. Товар отправляется непосредственно от продавца к покупателю, а денежные потоки проходят через аукцион.

Частично функции дропшипинга использует и Amazon.com по схеме, напоминающей механизм eBay. Для всех зарегистрированных клиентов имеется возможность сбывать свои товары (книги, видео, музыку) как подержанные, по принципу «прочел книгу — продай за полцены». Особенно популярна эта опция у студентов, сдавших очередной курс в университете и избавляющихся от дорогих учебников (приобретаются они, как правило, у букинистов). Площадку Amazon используют не только частные лица, но и книжные магазины, выставляя на продажу литературу, которая не продана за пару лет. Деньги за них давно заплачены, а такие издания спросом в данном районе почему-то не пользуются.

Схема оборота этих товаров организована аналогично: Amazon сводит продавца и покупателя, предоставляя (в отличие от eBay) не только «место» для торговли, ведь описания ассортимента уже сделаны самим Amazon, остается только назначить цену и указать степень изношенности товара. Если сделка состоялась, то товар отправляется по почте, магазин получает комиссию, все получают свою долю прибыли.

Практически вся электронная коммерция в С2С (customer-to-customer, покупатель – покупателю) строится по модели дропшипинга. Это позволяет построить бизнес в данном сегменте. Аналогично действует модель при продаже туристических сервисов: авиабилеты, бронирование отелей, аренда автомобилей, а также агентства, которые продают путевки или выстраивают маршрут поездки, только товар не материален.

Как и в любом бизнесе, здесь есть свои недостатки и риски. Например, нехватка товара. В период ажиотажного спроса вы можете переправить заказы поставщику, у которого уже слишком много заказов. В результате партнер по бизнесу будет закупать товар у производителя либо производить его сам. Это вызовет задержки, а как следствие – неудовлетворенность клиентов и требование возврата предоплаты.

В целом такие модели – пример новой экономики, которая возникает в настоящее время. Удешевление производства и дистрибуции в сочетании с удешевлением маркетинга (благодаря развитию Интернета) расширяет возможности. Статистика свидетельствует, что в США примерно 750 тыс. человек в своих налоговых декларациях указывают торговлю на eBay в качестве основного источника дохода.

2.3 Информационное и лингвистическое обеспечение ЛИС

Установив задачи, которые должна выполнять система, автоматизирующая информационную логистику в САПР информационных систем, рассмотрим проектирование жизненно важных составных частей этой системы. В качестве примера рассмотрим выбор информационного и лингвистического обеспечения для проектирования модуля обеспечения логистической информационной системы предприятия.

2.3.1 Информационное обеспечение ЛИС

Рассмотрим информационное обеспечение ЛИС для обработки информации в электронном виде. При проектировании базы данных для хранения такой информации сначала необходимо определить СУБД, которая обеспечит работу с данными. Рассмотрим две распространенных СУБД от компании Microsoft:

1. Microsoft SQL Server 2008;
2. Microsoft Office Access 2010.

Сравним эти два программных пакета по основным характеристикам, определяющим целесообразность и выгоду от использования:

- размер базы данных;
- безопасность хранящейся информации;
- взаимодействие с окружением;
- удобство в использовании;
- стоимость.

База данных, написанная под СУБД Microsoft Office Access 2010, превышающая 500 мегабайт, может замедлить свою работу, что повлечет увеличение времени отклика на запросы. Время реакции зависит и от структуры самой базы данных. В свою очередь, Microsoft SQL Server 2008 работает с высокой скоростью обработки запросов клиентских приложений как с базой данных размером в 5 мегабайт, так и с базой данных размером в несколько гигабайт. Поскольку база данных для системы информационной логистики рассчитана на долгосрочное пользование, то, чтобы не ограничивать размер базы данных, целесообразнее использовать SQL Server.

2.3.2 Лингвистическое обеспечение ЛИС

Лингвистическое обеспечение ЛИС представляет собой целостную совокупность формальных языков описания информации и алгоритмов ее обработки в процессе функционирования системы.

Формальный язык – это знаковая система для описания и обмена информацией между человеком и ЭВМ, а также различными устройствами.

Лингвистическое обеспечение образуют следующие языки:

- программирования;
- управления;
- проектирования.

Языки программирования необходимы для создания программного обеспечения при разработке автоматизированной системы. К таким языкам относятся, например, C#, Си, Паскаль, Delphi, язык программирования СУБД SQL Server и др.

Языки управления служат для управления ЭВМ, периферийными устройствами.

Языки проектирования ориентированы на пользователей-проектировщиков или предназначены для проектирования автоматизированной системы. Эта группа языков условно делится на входные, внутренние и выходные. Входные языки являются средством взаимодействия конечного пользователя с автоматизированной системой, например, в ходе подготовки исходных данных или формулировки проблемы. Внутренние языки, как и алгоритмы решения задач логистики, для которых они предназначены, обычно скрыты от рядового пользователя и служат для представления информации, передаваемой между различными подсистемами автоматизированной системы и ЭВМ. Выходные языки обеспечивают оформление результатов проектирования в текстовом или графическом виде.

Рассмотрим кратко языки программирования и проектирования задач информационной логистики. Языки управления здесь не рассматриваем.

Для разработки и отладки клиентского приложения часто применяется встроенный язык программирования «1С: Предприятие», который относится к семейству программ «1С». Данный язык является предварительно компилируемым предметно-ориентированным языком высокого уровня. Средой исполнения языка является программная платформа «1С: Предприятие». Визуальная среда разработки («Конфигуратор») является неотъемлемой частью пакета программ «1С: Предприятие». Существует ряд версий этого языка, которые обладают различными возможностями и совместимостью.

Диалекты языка для платформ 1С 7 версий (7.0, 7.5, 7.7) совместимы «снизу вверх» с незначительными исключениями. Языки для платформ 1С:7х и 1С:8х совместимы по основным операторам, но значительно отличаются в работе с прикладными объектами, вследствие чего перенос кода из 1С:7х в 1С:8х не имеет смысла.

Встроенный язык 1С:8 наиболее подобен по своему синтаксису языку Visual Basic. Платформой предоставляется фиксированный набор базовых классов, ориентированных на решение типовых задач прикладной области: константа, справочник, документ, журнал документов, перечисление, отчет, обработка, план счетов и др.

На основании базовых классов средствами визуального конфигурирования можно создавать любое количество порождённых классов (отсутствует возможность определить новый класс программно). Допускается только одна явная степень наследования классов. Как правило, объекты порождённых классов представляют собой записи (или некоторые наборы записей) в базе данных. Такие классы образуют «Дерево метаданных». В терминах встроенного языка программирования 1С такие классы называются объектами метаданных.

Основными видами объектов метаданных являются: справочники, документы, отчеты, обработки, планы видов характеристик, планы счетов, планы видов расчета, регистры сведений, регистры накопления, регистры расчета, бизнес-процессы, задачи.

Так как разрабатываемый модуль должен быть инвариантен, то для разработки и отладки клиентского приложения можно выбрать объектно-ориентированный язык программирования C#, входящий в стандартный комплект поставки Microsoft Visual Studio 2010 Professional. Язык C# на данный момент является основным языком для разработки приложений под платформу Microsoft.NET Framework. Данный язык также хорошо поддерживает технологии Windows Presentation Foundation (WPF), и при переходе компании на данную платформу можно будет переписать приложение для обеспечения необходимой производительности клиентского приложения.

Для проектирования функциональных возможностей автоматизированной системы используется язык UML в бесплатном аналоге программы Rational Rose – Star UML. Язык UML поддерживает большое количество диаграмм для детального описания системы, таких как:

1. Use Case – диаграмма поведения;
2. State Chart – диаграмма состояния;
3. Activity – диаграмма деятельности.

Для проектирования потоков данных и для создания модели базы данных автоматизированной системы логистики используется программный пакет Open Model Sphere.

Для разработки программного обеспечения САПР логистики применяется модульный подход – сервис-ориентированная архитектура, или SOA, от английского service-oriented architecture. Данный подход основан на использовании распределенных, слабо связанных заменяемых компонентов, обладающих стандартными интерфейсами для взаимодействия по стандартизованным протоколам. Программные комплексы, разработанные в соответствии с сервис-ориентированной архитектурой, обычно реализуются как набор веб-служб, взаимодействующих по протоколу SOAP, но существуют и другие реализации (например, на базе jini, CORBA, или на основе REST).

Интерфейсы компонентов в сервис-ориентированной архитектуре инкапсулируют (отделяют) языковой механизм ограничения доступа к компонентам объекта, детали реализации (операционную систему, платформу, язык программирования) от остальных компонентов. Это позволяет комбинировать и многократно использовать компоненты для построения сложных распределенных комплексов программ, обеспечивая независимость от используемых платформ и инструментов разработки создаваемых систем.

Инкапсуляция представляет собой языковую конструкцию, которая способствует объединению данных с методами (или другими функциями), обрабатывающими эти данные. Это один из четырех важнейших механизмов объектно-ориентированного программирования.

Архитектура не привязана к какой-то определённой технологии. Она может быть реализована с использованием широкого спектра технологий, включая такие технологии, как REST, RPC, DCOM, CORBA или веб-сервисы. Реализовав SOA с помощью одного из этих протоколов, можно также использовать механизм файловой системы для обмена данными.

Особенность SOA состоит в использовании независимых сервисов с четко определенными интерфейсами, которые для выполнения своих задач могут быть вызваны неким стандартным способом, при условии, что сервисы заранее ничего не знают о приложении, которое их вызовет, а приложение не знает, каким образом сервисы выполняют свою задачу.

SOA можно рассматривать как стиль архитектуры информационных систем, который позволяет создавать приложения, построенные путём комбинации слабосвязанных и взаимодействующих сервисов. Эти сервисы взаимодействуют на основе какого-либо строго определённого интерфейса независимого от платформ и языков (например, WSDL). Определение интерфейса скрывает языково-зависимую реализацию сервиса.

Таким образом, системы, основанные на SOA, могут быть независимы от технологий разработки и платформ (таких как Java, .NET и т. д.). К примеру, сервисы, написанные на C#, работающие на платформах .Net и сервисы на Java, работающие на платформах Java EE, могут быть с одинаковым успехом вызваны общим составным приложением. Приложения, работающие на одних платформах, могут вызывать сервисы, работающие на других платформах, что облегчает повторное использование компонентов.

Сервис-ориентированная архитектура может поддерживать интеграцию и консолидацию операций в составе сложных систем, однако не определяет и не предоставляет методологий для документирования сервисов.

Языки высокого уровня, такие как BPEL, или спецификации, такие как WS-CDL и WS-Coordination, расширяют концепцию сервиса, предоставляя метод объединения мелких сервисов в более обширные бизнес-сервисы, которые, в свою очередь, могут быть включены в составные приложения [35].

2.4. Автоматизированное проектирование ЛИС

Система автоматизированного проектирования (САПР) реализует информационную технологию выполнения функций проектирования. Представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности (ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения»). Это автоматизированная система, в которой часть функций выполняется человеком. Рассмотрим современные подходы к автоматизации проектирования ЛИС.

2.4.1. Применение в логистике CALS-технологии

Название CALS-технология происходит от английского *Continuous Acquisition and Life cycle Support* – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла продукции. Русскоязычный аналог – ИПИ (информационная поддержка жизненного цикла изделий). Иногда аббревиатуру CALS представляют как *Computer Aided Acquisition and Logistic Support*.

Это подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоемкой продукции. Он состоит в использовании современных информационных технологий на всех этапах жизненного цикла изделия. Непрерывная информационная поддержка обеспечивает единые способы управления процессами и взаимодействием всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, персонала по эксплуатации и ремонту. Данные по изделию в электронном виде передаются по информационной сети от одного этапа к другому. Информационная поддержка реализуется в соответствии с требованиями международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия с использованием электронного обмена данными.

Применение CALS-технологии позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных всем пользователям технологии CALS. Облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различные системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т.п. Это дает преимущества в конкуренции на рынке сложной технической продукции.

Развитие CALS-технологии приводит к появлению так называемых виртуальных производств, в которых процесс создания спецификаций с информацией для программно-управляемого технологического оборудования, достаточной для изготовления изделия, можно распределить во времени и пространстве между многими организационно-автономными проектными бюро. Достижениями подхода является быстрое распространение передовых проектных решений, возможность многократного использования частей проекта в новых разработках и др.

Основу современных CALS-технологий составляет построение открытых распределенных автоматизированных систем для проектирования и управления в промышленности. Для этого необходимо обеспечить единообразное описание и интерпретацию данных, независимо от места и времени их получения в системе, масштабы которой могут быть глобальными. Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизованными. Тогда возможна работа над общим проектом разных коллективов, разделённых во времени и пространстве и использующих разные CAD/CAM/CAE-системы. Одна и та же конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация – адаптирована к разным

производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Кроме того, упрощается эксплуатация систем.

Для обеспечения информационной интеграции CALS использует стандарты IGES и STEP в качестве форматов данных. В технологию входят также стандарты электронного обмена данными, технической документации и руководства для модернизации процессов. В России разработку национальных CALS-стандартов контролирует Федеральная служба по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) РФ. С этой целью создан Технический Комитет ТК431 «CALS-технологии», силами которого разработан ряд стандартов, являющихся аутентичными переводами соответствующих международных стандартов (STEP).

В 1985 г. Министерство обороны США объявило о создании глобальной автоматизированной системы электронного описания всех этапов проектирования, производства и эксплуатации продуктов военного назначения. За прошедшие годы CALS-технология получила широкое развитие в оборонной промышленности и военно-технической инфраструктуре Минобороны США. Это позволило ускорить выполнение НИОКР на 30–40%, уменьшить затраты на закупку военной продукции на 30%, сократить сроки закупки ЗИП на 22%, а также в 9 раз сократить время на корректировку проектов.

Данный термин затрагивает не только информационную поддержку продукта, но и ряд особенностей в организации этапов проектирования и контроля на всех этапах. Главной идеей является такая организация производства, когда итогом каждого этапа является *законченный продукт*, пригодный для тестирования или использования. Например, производство автомобиля представляется как производство отдельных узлов и работ, каждая из которых имеет самостоятельную ценность и хорошо поддается контролю. Например, производство ротора для мотора, сборка мотора, сборка автомобиля.

На каждом этапе происходит тестирование, позволяющее выявить, где именно произошел сбой. Кроме того, необходима высокая степень *унификации и стандартизации оборудования*, позволяющая оперативно производить изменения в проекте. Например, заменить двигатель от одного производителя на аналогичный двигатель от другого производителя, без переналадки оборудования и внесения существенных изменений в проект. Комплекс мер позволяет многократно повысить прозрачность производственной цепи, оперативно находить и исправлять дефекты, получить новый уровень гибкости и приспособляемости [35].

2.4.2 Моделирование процессов информационной логистики

Для проектирования ЛИС необходимо рассмотреть циркулирующие внутри системы информационные и материальные потоки, а также объекты, производящие внешние воздействия на систему. Одной из важных составных частей системы автоматизации информационной логистики является база данных. Рассмотрим моделирование взаимодействия с окружающей информационной средой, а также потоков данных всей системы.

Для анализа информационных потоков применяется диаграмма DFD (*data flow diagram*), т.е. диаграмма потоков данных, пример которой представлен на рис. 2.4. Так называется методология графического структурного анализа, описывающая внешние по отношению к системе источники и адресаты данных, логические функции, потоки данных и хранилища данных, к которым осуществляется доступ.

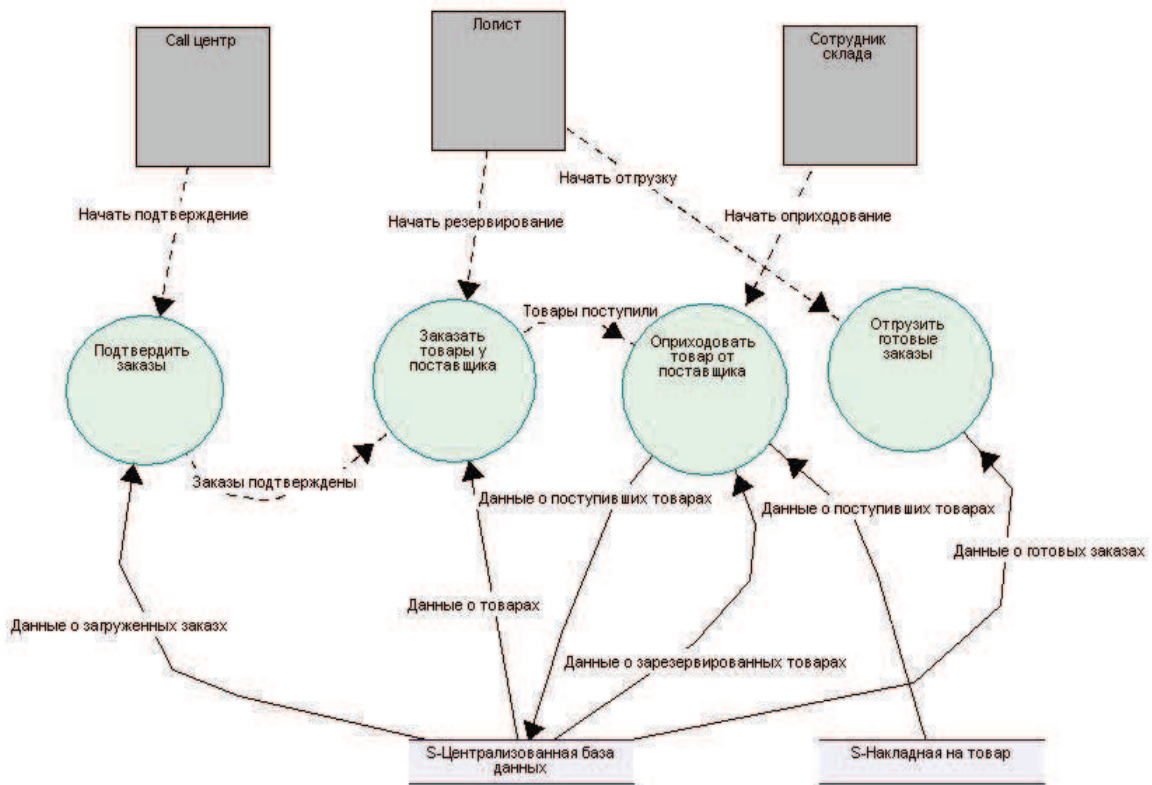


Рис. 2.4. Диаграмма потоков данных

На диаграмме потоков данных можно различить четыре элемента:

- внешняя сущность;
- процесс;
- хранилище;
- поток данных.

К процессу (круглый элемент) относятся наиболее важные задачи, которые влияют на автоматизированную систему. К хранилищам (прямоугольный элемент) относятся база данных системы и внешние, по отношению к системе, хранилища данных, необходимые для функционирования предприятия, такие как централизованная база данных и накладные на поступившие товары. К внешним сущностям (квадратные элементы) относятся те подразделения и сотрудники, которые инициализируют работу процессов данной системы.

Основу информационного обеспечения автоматизированной системы составляет информация, используемая системой непосредственно для выработки проектных решений. Эта информация об аналогах проектируемых процессов, о технологических свойствах материалов деталей, технологическом оборудовании, инструменте, которые могут быть применены в объекте

проектирования. Информация, представляется в виде, пригодном для обработки автоматизированной системой при возможном участии человека, в данном случае в виде базы данных. Для качественного проектирования системы необходимо сначала спроектировать базу данных. Инструментом может служить диаграмма, поддерживаемая программным пакетом *Open Model Sphere* – диаграмма ERD (*Entity-Relationship Diagram*). Диаграмма определяет сущности и связи между ними, модель представления данных, отображающая структуру БД, атрибуты сущностей. Эта модель данных обеспечивает последующее расширение или изменение БД, так как она автоматически генерирует программный код запроса, на основе которого можно создать БД для различных СУБД, что позволяет модернизировать БД и перейти к более мощным СУБД.

Пример диаграммы «Сущность-связь», описывающей модель базы данных для реальной системы информационной логистики, представлена на рис. 2.5. Данная модель базы данных состоит из восьми таблиц, но пользователи в основном работают с четырьмя базовыми:

- товар;
- склад;
- поставщик;
- накладная.

Таблицы «Аккаунт» и «События» служат для обеспечения безопасности информации. В таблице «Аккаунт» содержится информация обо всех сотрудниках компании, которые имеют доступ к разрабатываемой автоматизированной системе посредством собственного уникального логина и пароля.

В таблице «События» хранится вся информация об изменениях базы данных. Заполнение таблицы происходит при изменении любой таблицы. Данное действие осуществляется при помощи триггеров, описанных для каждой таблицы кроме самой таблицы «События». В эту таблицу заносятся такие данные, как:

- дата изменения;
- тип изменения;
- данные о пользователе, изменившем информацию;
- описание изменения.

При случайном не правильном изменении информации или при намеренной порче базы данных информация об этих изменениях будет храниться в таблице «События», и при помощи непосредственного взаимодействия с базой данных можно произвести восстановительные работы.

На основе данной логической модели можно сгенерировать текст запросов для создания БД для различных СУБД, в частности, рассмотренной выше Microsoft SQL Server 2008, на которой можно реализовать базу данных.

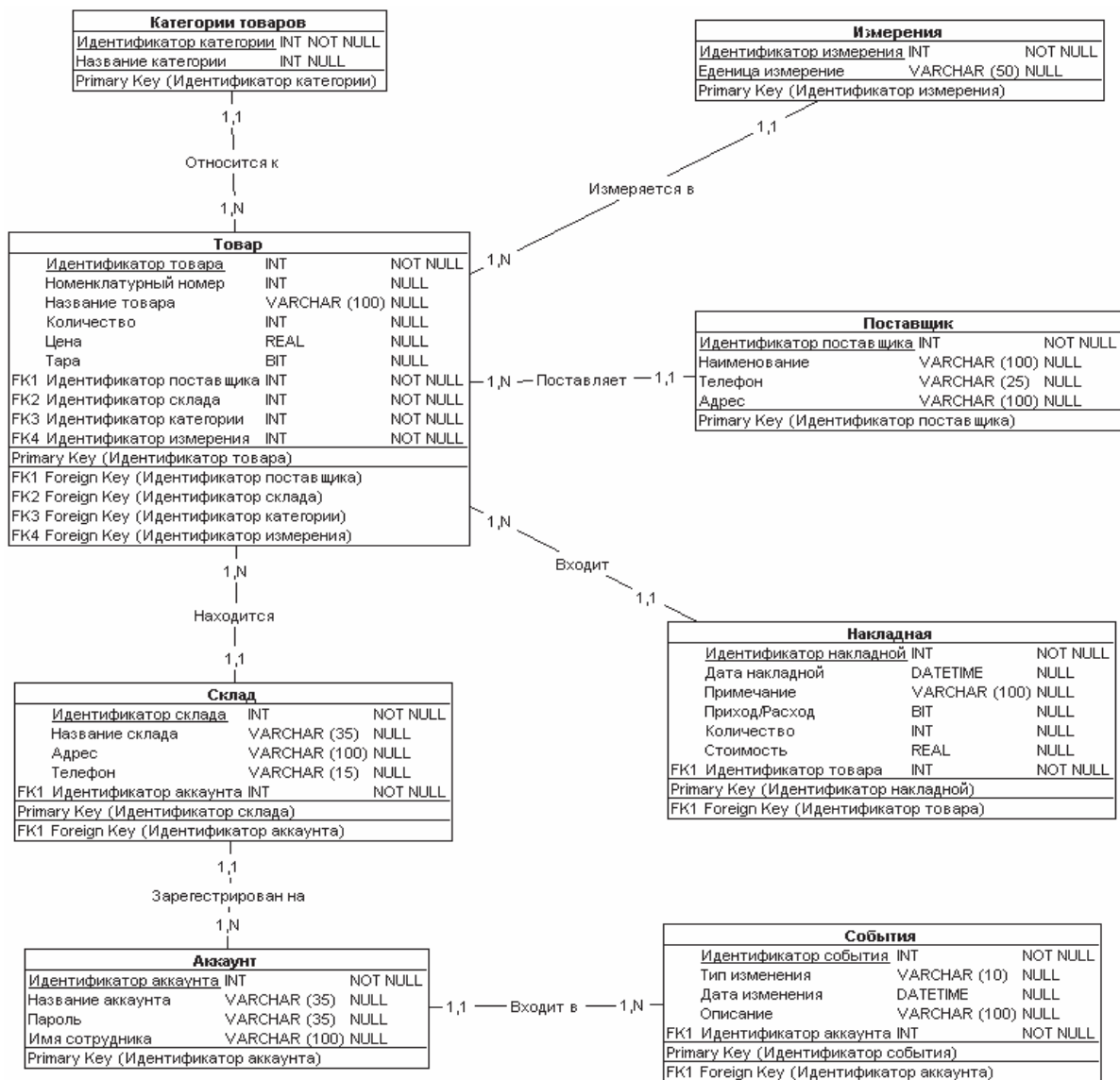


Рис. 2.5. ER-диаграмма

Моделирование динамики системы, взаимодействия с пользователем, порядка выполнения, состояния системы, аппаратного обеспечения, программных компонентов и классов осуществляется при помощи языка UML.

Язык UML (*Unified Modeling Language* – унифицированный язык моделирования), является языком диаграмм, обозначений для спецификации, визуализации, проектирования и документирования модели объектно-ориентированных программных систем. Этот язык не является методом разработки, то есть он не определяет последовательность действий при разработке программного обеспечения. Он помогает описать идею разработки. Язык UML является промышленным стандартом, описывающим модели программного обеспечения.

Язык состоит из множества модельных элементов, которые представляют различные компоненты разрабатываемой системы. Элементы UML используются для создания диаграмм, которые описывают определенную часть системы. Есть два типа диаграмм:

- диаграммы поведения описывают динамику системы, взаимодействие с пользователем, порядок выполнения и состояние системы;
- структурные диаграммы описывают систему как набор элементов и взаимодействие между ними, а именно архитектуру системы, аппаратное обеспечение, программные компоненты и классы.

Каждая диаграмма описывает систему с определенной позиции. Также можно отметить, что при помощи UML можно генерировать программный код.

Первый тип: диаграммы поведения, а именно диаграмма вариантов использования (*Use Case*) системы. Каждый вариант представляет собой некоторые действия, которые выполняет система в ответ на воздействие внешнего объекта. Внешним объектом может быть пользователь. Варианты использования являются описаниями типичных взаимодействий между пользователями системы и самой системой. Они отображают внешний интерфейс системы и указывают форму того, что система должна сделать.

Диаграмма вариантов использования изображена на рис. 2.6, где видно, что система имеет один основной класс сотрудников: «Сотрудник компании». К ним относятся все штатные сотрудники, каждый сотрудник поддерживает свои варианты использования системы. В системе есть варианты использования, которые наследует основной класс, а есть варианты, которые относятся только к определенному штатному сотруднику. Все варианты использования – это основные действия, которые может выполнять система. Каждое действие относится к процедуре, хранящейся в самой базе данных SQL Server. Класс сотрудников описан как пользователь базы данных, а каждый сотрудник получает роль. Для разграничения доступа к данным и доступа на изменение базы данных каждая роль получает разрешение на использование хранимых процедур. Варианты использования со связью «extend» тоже относятся к хранимым процедурам, но их запуск зависит от запуска варианта использования, на который они ссылаются.

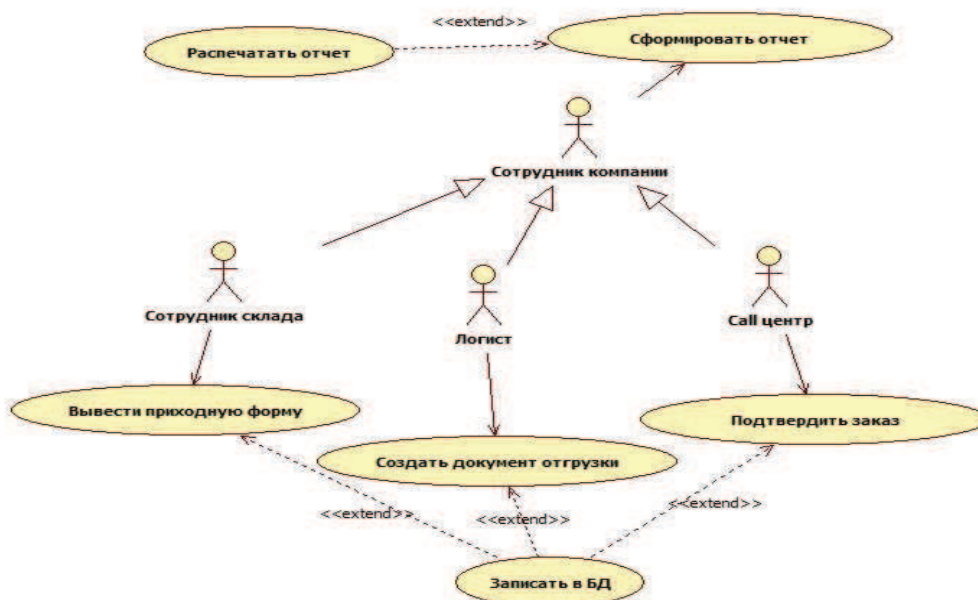


Рис. 2.6. Диаграмма поведения Use Case

Диаграмма вариантов использования дает представление о возможностях системы. Рассмотрим структурную диаграмму состояния системы и условия

переходов между ними (*StateChart*). Пример такой диаграммы, которая характеризует состояния и их изменения в системе, представлен рис. 2.7. Она представляет собой граф переходов, где состояния – это вершины, а ребра – это переходы, взвешенные условием перехода.

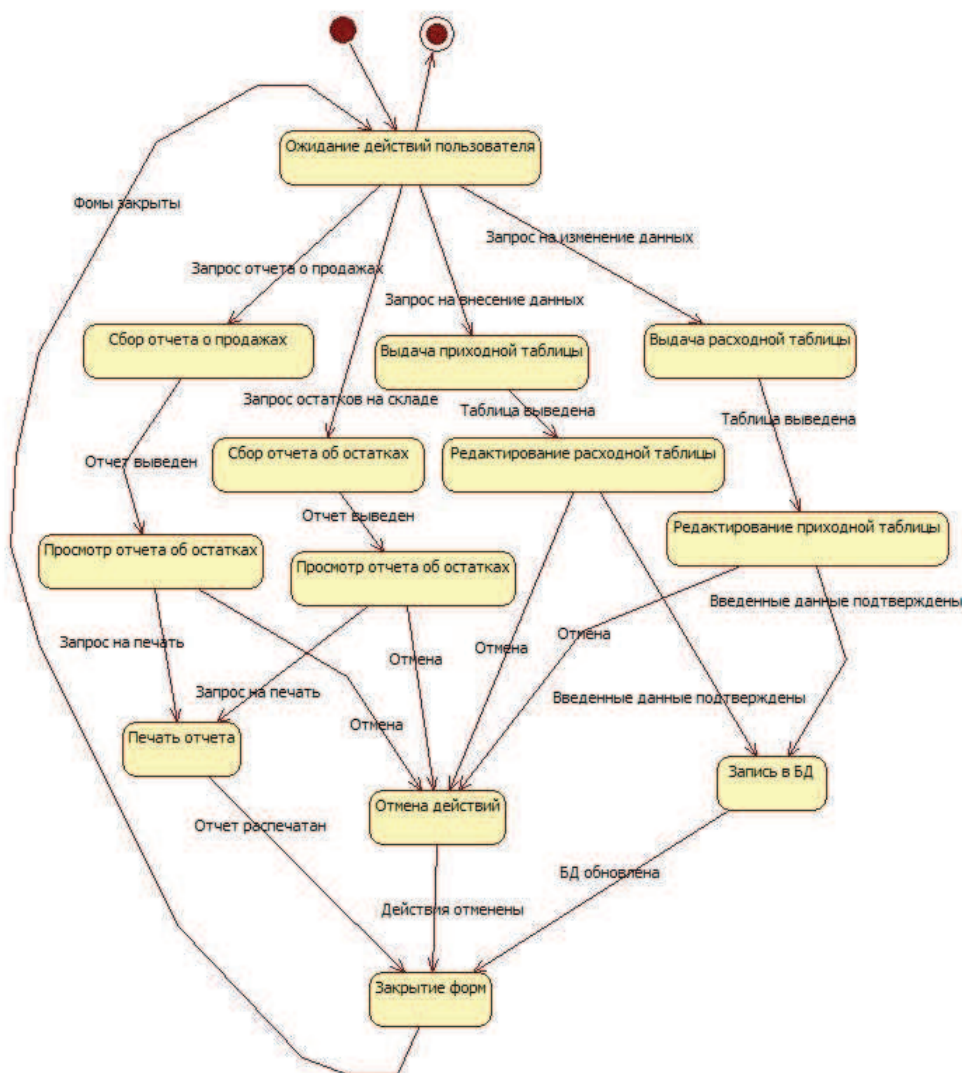


Рис. 2.7. Диаграмма состояний StateChart

На диаграмме видно, что начальное и конечное состояния связаны с одним и тем же блоком, описывающим состояние системы «Ожидание действий пользователя». Это показывает, что действия пользователя все равно ведут к главной форме приложения. Переходы между состояниями осуществляются при каком-либо условии, описанном на диаграмме рис. 2.6. Любая цепь действий, выполняемых в рамках данного приложения, заканчивается закрытием всех вспомогательных форм и переходом в начальное состояние системы.

После рассмотрения общего устройства автоматизированной системы, можно проектировать состав программных модулей и компонентов [35].

2.5. ЛИС в технологиях добычи полезных ископаемых

Рассмотрим в качестве примера ЛИС для добычи полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ), которое является одним из перспективных методов разработки месторождений. Данная информационная система применима на геотехнологических предприятиях, разрабатывающих месторождения урана, золота, меди и др., методом СПВ.

Применение ЛИС обеспечивает надежность хранения и достоверность информации о работе добычного комплекса, оперативность доступа к любым данным на различных уровнях, облегчает подготовку отчетов по работе предприятия (за смену, неделю, месяц, год), обеспечивает анализ отработки блоков, выявление факторов, влияющих на эффективность. Информационная система даст возможность проводить количественные прогнозы и планировать работу предприятия на краткосрочный и долгосрочный периоды.

При СПВ добыча полезных ископаемых ведется путем их избирательного растворения на месте залегания и последующего извлечения на поверхность в виде химических соединений, образованных в зоне реакции [37, 38]. Добычный комплекс геотехнологического предприятия включает в себя систему технологических скважин, объединённых в технологические ячейки и блоки. Через нагнетательные скважины в продуктивный горизонт подается выщелачивающий (рабочий) раствор, содержащий реагенты, способные растворять минералы, содержащие полезный компонент (ПК).

С помощью системы откачных скважин на поверхность выдается продуктивный раствор, который образуется в подземном водоносном горизонте в результате физико-химического взаимодействия выщелачивающих реагентов с рудными минералами и вмещающими породами. Далее, в процессе переработки, из продуктивного раствора производится извлечение ПК, а оставшиеся маточные растворы доукрепляются выщелачивающими реагентами и снова подаются в нагнетательные скважины в качестве рабочего раствора.

Сложность управления СПВ связана с *недостатком информации* о состоянии продуктивного горизонта и происходящих там процессах, их высокой инерционностью, а также необходимостью оперативного анализа большого количества разнородных пространственно распределенных данных о параметрах технологического процесса. В связи с этим возрастает роль современных информационных технологий в повышении эффективности управления процессом СПВ. Рассмотрим ЛИС, предназначенную для сбора, хранения, обработки и визуализации информации о работе добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом СПВ [36].

2.5.1. Информационные потоки добычного комплекса

Все исходные первичные данные о работе добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом СПВ можно разделить на три типа: химические, гидродинамические и технологические.

Гидродинамические данные представляют собой динамические уровни подземных вод, дебиты закачных и откачных скважин, расходы растворов в трубопроводах. Химические данные включают в себя значения концентрации рабочего агента, полезного продукта и других компонентов в растворах на разных участках технологического процесса. К технологическим данным относится информация о характеристиках оборудования (способы раствороподъема, марки насосов, даты их ввода в эксплуатацию, диаметры труб и т.д.) и структуре добычного комплекса (блокировка, определяющая соответствие между трубопроводами, технологическими блоками, ячейками и скважинами). Виды первичных данных, собираемых на различных участках технологической цепочки, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Виды первичных данных о работе добычного комплекса

№ п/п	Место контроля	Химические данные	Гидродинамические данные	Технологические данные
1	Трубопроводы откачных растворов	Концентрации полезного продукта, рабочего агента	Расходы растворов	Блокировка
2	Трубопроводы закачных растворов	Концентрации рабочего агента	Расходы растворов	Блокировка
3	Закачные скважины	Концентрации рабочего агента	Дебиты, динамические уровни пластовых вод	Блокировка, параметры фильтров
4	Наблюдательные скважины	Концентрации полезного продукта, рабочего агента	Динамические уровни пластовых вод	Координаты скважин, параметры фильтров
5	Откачные скважины	Концентрации полезного продукта, рабочего агента	Динамические уровни пластовых вод, дебиты	Тип подъема раствора, марки насосов, сроки ввода в эксплуатацию насосов, блоки, ряды, параметры фильтров
6	Склад готовой продукции	Концентрации готового продукта	Масса готового продукта	

В процессе работы добычного комплекса геотехнологического предприятия можно выделить три информационных потока (рис. 2.8). Первый поток связан со сбором первичных данных (химические, гидродинамические и технологические данные (табл. 2.1)).



Рис. 2.8. Потoki информации в процессе работы добычного комплекса

Второй поток заключается в определении значений геотехнологических параметров отработки месторождения (масса извлеченного ПК, суммарный и удельные расходы реагентов, объем продуктивного раствора, направляемого на переработку, и др.) на основе фактических данных первого потока. Кроме этого, проводится согласование всех данных о работе добычного комплекса, полученных из различных источников.

Первые два потока действуют постоянно (ежедневно, ежесуточно и т.д.) в рамках выполнения должностных обязанностей сотрудников предприятия.

Третий поток данных формируется при подготовке управляющих решений и поэтому функционирует не регулярно, а по мере необходимости. Он включает в себя прогнозные расчеты геотехнологических показателей отработки блоков, оценку эффективности работы добычного комплекса, динамику геотехнологических показателей, подготовку решений на основе всестороннего анализа имеющихся данных.

2.5.2. Принципы функционирования и структура ЛИС

Информационная система добычного комплекса состоит из трех подсистем: общения, обработки данных и управления базой данных (представлена на рис. 2.9, подобно диаграмме потоков данных). Подсистема общения обеспечивает сопряжение с внешними источниками данных и взаимодействие персонала с информационной системой. Подсистема состоит из блоков взаимодействия с пользователями, импорта и экспорта данных. Блок импорта данных запрашивает информацию от внешних источников (например, от геологической базы данных [39]), а также получает данные от системы контрольно-измерительных приборов.

Блок экспорта данных передает информацию во внешние моделирующие и экспертные системы. Блок взаимодействия с пользователями позволяет персоналу предприятия вводить первичные данные в информационную систему, редактировать и визуализировать данные, управлять работой блока расчетов геотехнологических параметров, выполнять оценки эффективности работы добычного комплекса и проводить прогнозные расчеты разработки месторождения. С помощью блока взаимодействия на основе результатов оценок и расчетов формируются отчеты о работе добычного комплекса и подготавливаются управляющие решения, направленные на повышение эффективности работы предприятия.

Подсистема обработки данных состоит из блоков сопряжения с внешними системами, проверки и обработки вводимых данных, геотехнологических расчетов, экспертной оценки и прогнозирования отработки блоков. Блок сопряжения с внешними системами выполняет подготовку результатов автоматического измерения расходов растворов, дебитов скважин для дальнейшего использования и запись информации в базу гидродинамических данных. Также блок сопряжения на основе информации, полученной от геологической базы данных, определяет значения параметров скважин и блоков. Полученные значения сохраняются в базу технологических данных. Блок проверки и обработки вводимых данных производит проверку

достоверности вводимых персоналом значений и их запись в соответствующие базы. Блок геотехнологических расчетов обеспечивает согласование данных, полученных от различных источников, восстановление недостающей информации и расчет геотехнологических показателей отработки блоков за определенный интервал времени (сутки, недели) по соответствующим алгоритмам.

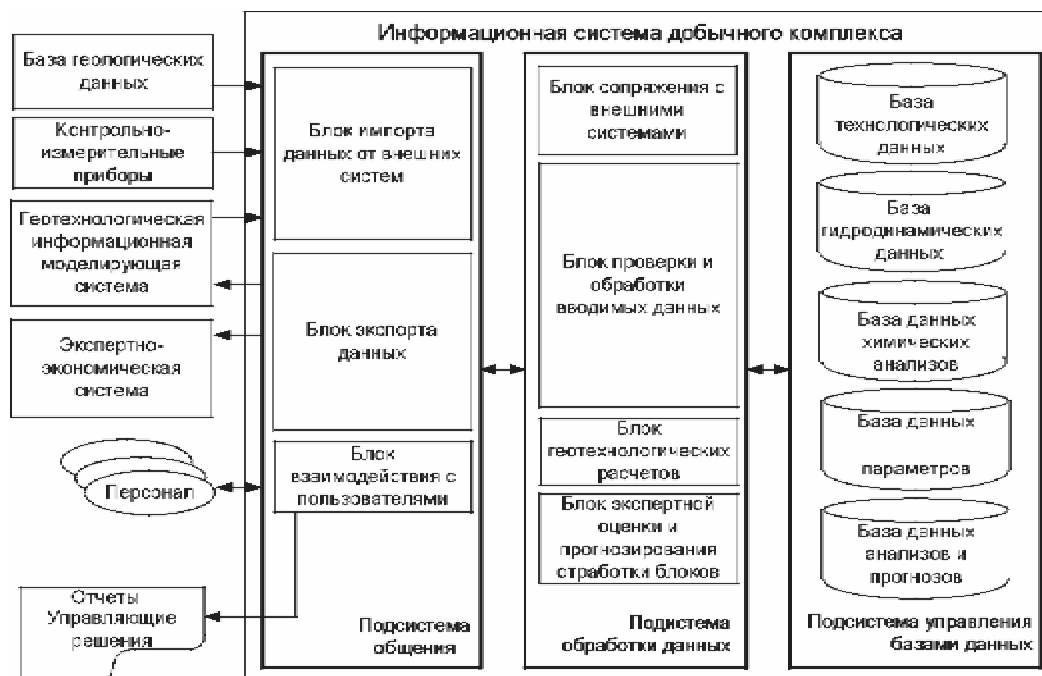


Рис. 2.9. Структура информационной системы

При этом блок запрашивает необходимые для расчета данные из баз геотехнологических, гидродинамических данных и базы данных химических анализов, выполняет расчеты и записывает полученные результаты в базу данных параметров. Блок экспертной оценки и прогнозирования отработки блоков позволяет персоналу оценивать работу добычного комплекса за необходимый ему период времени по соответствующим алгоритмам. Блок запрашивает данные из базы данных геотехнологических параметров, выполняет расчеты с использованием этих данных и записывает результаты расчета в базу данных анализов и прогнозов. Подсистема управления базами данных обеспечивает хранение всей информации о работе добычного комплекса. Подсистема содержит пять логически разделенных баз данных. База гидродинамических данных хранит фактические данные о гидродинамических показателях добычного комплекса. В базе технологических данных находится информация о характеристиках оборудования и технологической структуре предприятия. База химических анализов содержит первичные данные о концентрациях полезного продукта, рабочего агента и других компонентов растворов. В базу геотехнологических параметров поступает информация, полученная на основе первичных данных (согласованные, восстановленные данные, показатели отработки блоков, средние концентрации полезного продукта, рабочего агента и других

компонентов раствора за определенный период). База анализов и прогнозов содержит результаты оценок и прогнозов работы блоков и предприятия в целом. Информация, хранящаяся в подсистеме управления базами данных, может использоваться в работе моделирующей системы для геотехнологических расчетов отработки месторождения. Результаты расчетов геотехнологических показателей находятся в базе данных анализов и прогнозов, используются руководителем для подготовки управленческих решений.

2.5.3. Реализация информационной системы

Информационная система создана на основе клиент-серверной технологии и работает в многопользовательском режиме. Ядром является Сервер СУБД, с которым взаимодействуют клиентские программы: «Технологические схемы полигонов», «Сменные и суточные отчеты», «Механик», «Электрик», «Химик», «Отчеты по воздуху», «Аппаратчик ГТП», «Отчеты по энергии» (рис. 2.10). В качестве инструментального средства для разработки и управления базой данных информационной системы выбрана СУБД Microsoft SQL Server 2005 Express. Клиентские программы созданы в среде разработки программного обеспечения Borland Developer Studio 2006. Взаимодействие программ с СУБД осуществляется при помощи языка запросов SQL. Подготовка отчетной документации осуществляется на основе OLE-сервера Microsoft Excel. Клиентские программы представляют собой многопоточные, 32-битные приложения, работающие на персональных компьютерах под управлением операционной системы Windows 2000–XP. Качество разработанных программ оценивалось в соответствии с ГОСТом. Восстановление данных обеспечивается автоматическим сохранением и регулярным резервным копированием. Наличие в программах системы проверок вводимых значений обеспечивает устойчивость к ошибкам пользователя. Эргономичное расположение пунктов меню, их дублирование кнопками панели инструментов способствуют быстрому обучению и оперативной работе персонала с программами [36].

Использование методов объектно-ориентированного программирования позволяет модифицировать и добавлять программные модули без значительного изменения программ в целом, что обеспечивает их мобильность и эффективное сопровождение.

Клиентские программы, установленные на связанных в локальную вычислительную сеть персональных компьютерах, образуют автоматизированные рабочие места (АРМ) энергетика, механика, аппаратчика геотехнологического поля (ГТП), геотехнолога, лаборанта химической лаборатории и руководителя. Состав и назначение АРМ персонала представлены в табл. 2.2. Регулярное согласованное использование персоналом АРМ обеспечивает достоверность и бесперебойность всех трех информационных потоков добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом СПВ.

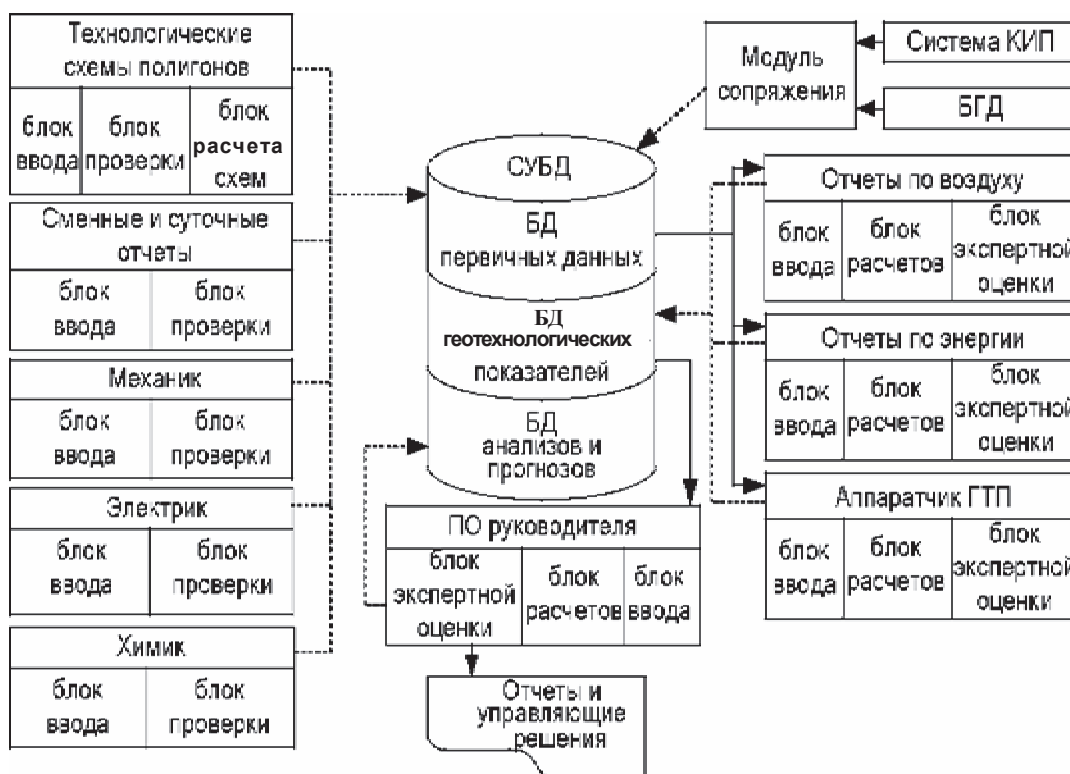


Рис. 2.10. Реализация информационной системы

Таблица 2.2
Характеристики автоматизированных рабочих мест

АРМ	Клиентские программы	Назначение программы
Геотехнолог	«Технологические схемы полигонов»	Ввод, редактирование и визуализация данных по технологической схеме добычного комплекса
	«Сменные и суточные отчеты»	Контроль и согласование данных, расчет геотехнологических показателей, подготовка сменного и суточного отчетов
Лаборант	«Химик»	Ввод, редактирование и визуализация данных химических анализов
Энергетик	«Электрик»	Ввод, редактирование и визуализация первичных данных службы главного энергетика, подготовка ежемесячного технического отчета
	«Отчеты по энергии»	Подготовка ежемесячного отчета по расходу электроэнергии
Механик	«Механик»	Ввод, редактирование и визуализация первичных данных службы главного механика, подготовка ежемесячного отчета
	«Отчеты по воздуху»	Подготовка ежемесячного технического отчета по расходу сжатого воздуха
Аппаратчик ГТП	«Аппаратчик ГТП»	Ввод, редактирование и визуализация гидродинамических данных
Руководитель	«Руководитель»	Анализ, оценка эффективности и прогнозирование работы добычного комплекса, подготовка отчетов и управляющих решений

Данная система представляет собой пример практического применения методов информационной логики. Этот пример рассмотрен в работе [36].

3. СЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИКИ

Сложные системы различных областей науки, техники, экономики отличаются друг от друга. Считается, что для каждой системы надо разрабатывать свои методы исследования и расчета. Вместе с тем у них немало общего. Все технические, экономические системы состоят из элементов, обладающих теми или иными материальными свойствами; соединения элементов образуют структуру. Элементы и структура связей составляют сеть. Будем рассматривать в качестве элементов одномерные ветви – отрезки, границами которых являются узлы-вершины. Структура меняется при соединении или разъединении ветвей; при этом увеличивается или уменьшается число узлов. Расчеты потоков в сетях с переменной структурой, в том числе в системах логистики, обеспечивают алгоритмы на основе инварианта двойственных сетей.

Материальные и информационные потоки можно представить сетевыми моделями, которые связывают процессы, происходящие в элементах системы, и структуру связей элементов системы. Поведение систем логистики можно тогда рассчитать с помощью алгоритмов расчета сетей, используя полученные результаты для контроля и управления.

Информационные потоки в ЛИС кодируют на внутренних языках программирования, которые обычно скрыты от рядового пользователя и служат для представления алгоритмов расчета, а также информации, передаваемой между различными подсистемами автоматизированной системы и ЭВМ.

3.1. Процессы и структура сложных систем

Воздействия на систему вызывают в ней отклики, которые зависят как от величины воздействий, так и от параметров материи, «сопротивления» элементов. В системе возникают процессы. Под процессами, как правило, понимают потоки энергии, а также информационные потоки, которые передаются и преобразуются в элементах системы, меняются при изменении структуры связей элементов системы.

Общими для разных систем являются процессы в элементах и структура связей между элементами; именно связи делают отдельные элементы системой. Процессы и структура составляют две стороны любой системы – от уровня микромира до космических масштабов, от физических явлений до производства продукции и управления цепями поставок.

Эволюция технических, логистических, экономических систем в сторону усложнения, как по количеству элементов, так и по количеству связей между ними, требует создания методов и средств их описания, исследования, расчета, анализа и управления. Развитие знаний об окружающем мире, развитие общества и создаваемых им технологий увеличивает влияние структуры связей между элементами на поведение системы. Рост числа связей требует совместного анализа процессов и структуры сложных систем.

3.1.1. Тензорный метод в теории систем

Тензорный метод обеспечивает возможность исследовать процессы и структуру сложных систем, особенности систем с переменной структурой. Параметры процессов (воздействия, отклики) рассматриваются как проекции геометрических объектов (например, векторов) в системы координат, которые определяют пути в структуре. При изменении структуры меняются пути-координаты, меняются параметры процессов. Таким образом, изменение процессов при изменении структуры можно рассчитать как преобразование координат. Обычно это проще, чем получать для каждой новой структуры уравнения поведения и решать их заново. Особенностью тензорного метода является применение измеримых величин и двойственных сетей. Это позволяет создавать сетевые модели для сложных систем различных предметных областей по единой технологии, которая объединяет процессы и структуру.

Структура определяет суть процессов, которые происходят в физических, технических и экономических системах. Структура соединения элементов играет важную роль в информационных и биологических системах. Все физические явления порождены возникновением новых связей между элементами, структура которых образует системы новых уровней сложности. Элементарные частицы (нуклоны и мезоны) связаны в ядро, в котором возникают ядерные процессы. Само ядро, вместе с электронными оболочками, составляет структуру атома. На уровне атома возникают электромагнитные явления, когда нуклоны ядра и электроны составляют единую систему. Многообразие химических процессов возникает при соединении атомов в молекулы за счет обмена электронами на внешних оболочках. Число способных к взаимодействию электронов определяет валентность. И так далее.

В сетевых моделях процессы рассматриваются как потоки энергии и информации, протекающие в структуре связанных элементов физических и (или) технических систем, а также производства и логистики. При изменении связей меняются сами процессы, что приводит к изменению в поведении систем. Например, разрыв производственных и логистических связей при распаде СССР на 15 независимых государств вызвал двукратное падение производства и тяжелые социальные последствия.

Сетевые модели позволяют проводить расчеты и анализ поведения систем при изменении связей, разделении на подсистемы или объединении частей в целое. Это касается сетей с потоками энергии и сетей с потоками информации. Для сетей получены эффективные алгоритмы расчета по частям, с изменением соединений, которые могут применяться для систем с переменной структурой в различных предметных областях без существенных изменений.

Методология создания сетевых моделей различных предметных областей с использованием аналогий процессов и структуры, а затем расчета систем по частям под названием «диакоптика» первоначально была разработана в 40–60-х гг. прошлого столетия Г.Кроном. Диакоптика включена в образовательный стандарт специальности САПР по курсу «Модели и методы анализа проектных решений» (СД.03) под названием «Моделирование больших систем на основе методов диакоптики».

Технология применения тензорного метода. Все системы одного класса можно рассматривать как одну «обобщенную» систему, а разные конкретные системы – как проекции в частные системы координат и применять для них один метод исследования, расчета, анализа. Процессы и структура являются неразрывными сторонами состояния сложных систем разных предметных областей. Структура играет роль пространства, в котором процессы являются объектами. Объект остается тождественным самому себе при любых его представлениях с разных точек зрения.

Среди систем каждого класса выделяется своя собственная эталонная система, в которой наиболее явно представлены соответствующие процессы и структура, т.е. конкретизация абстрактной категории системы. Такая система может служить эталонным представителем данного класса, использоваться для разработки эквивалентных моделей всех систем, относящихся к данному классу. Виды используемых моделей даны на рис. 3.1.

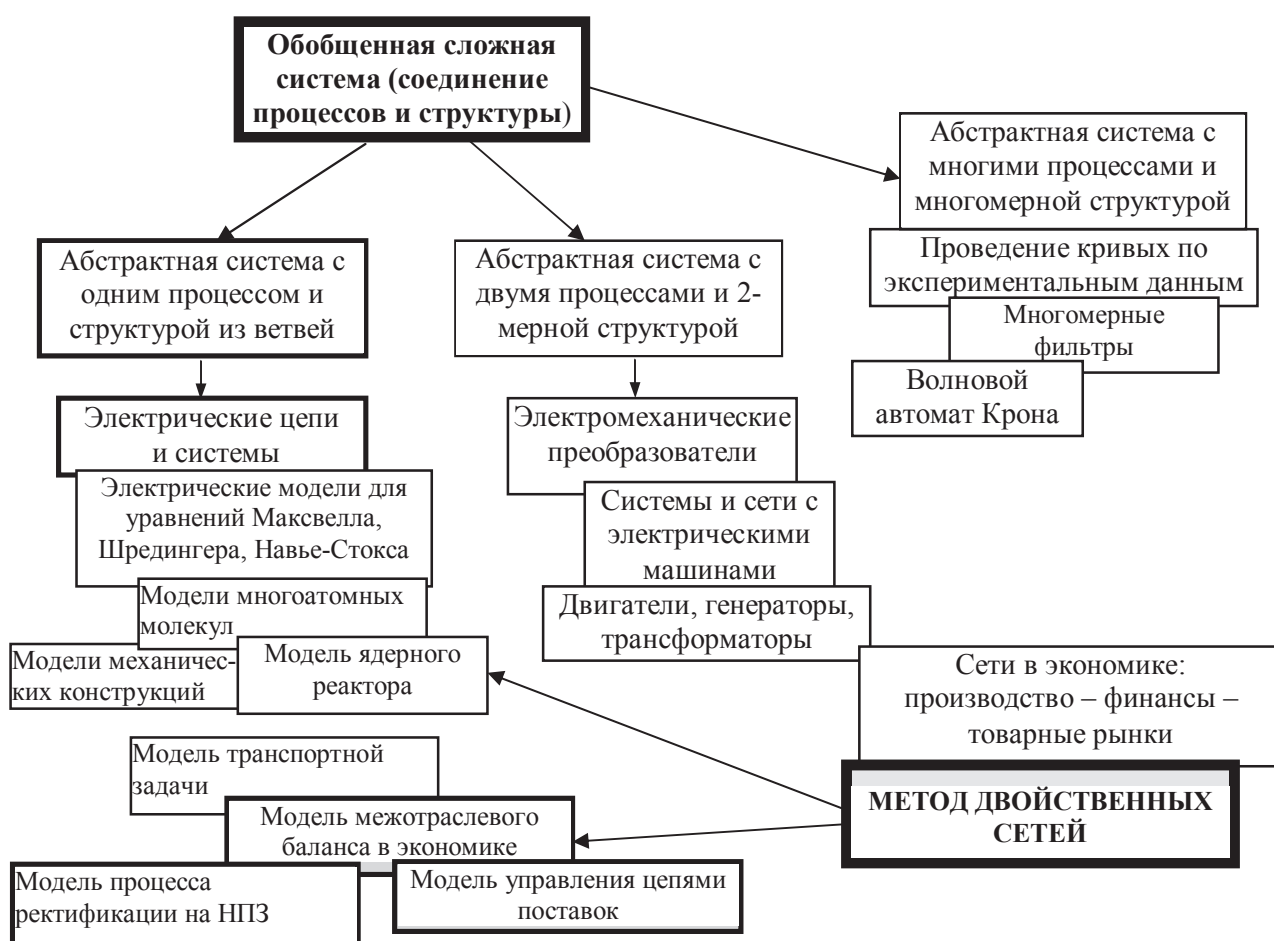


Рис. 3.1. Виды тензорных сетевых моделей, сферы их приложения

Для всех систем одного класса разрабатывается одна математическая модель, в которой отображены процессы и структура, т.е. абстрактное представление эталонной системы, обобщающей данный класс систем. Например, для класса систем, в элементах которых протекает один процесс, описываемый линейными уравнениями, а сами элементы можно представить одномерными отрезками (ветвями), в качестве математической модели должны использоваться двойственные сети.

Тензорный метод расчета изменения процессов при изменении структуры математической модели предназначен для исследования и расчета всех систем данного

класса. Для этого описание каждой системы класса приводится к виду описания эталонной системы, т.е. выражается математической моделью, которая описывает все особенности ее структуры и протекающих в ней процессов. Исследование поведения конкретной системы производится как расчет и анализ вариантов откликов в математической модели для различных видов структуры и значений воздействий, характеристик элементов.

Результаты исследований на модели интерпретируются на реальной системе для определения изменения ее состояния и поведения при различных условиях.

Тензорный метод, или метод диакоптики, требует знаний и умений в разных предметных областях, что сдерживает его применение. Рассмотрим его в достаточно доступной форме с применением двойственных сетей [16–18].

3.1.2. Процессы как потоки в элементах систем

Система представляет собой совокупность элементов, которые определяют свойства протекающих в них процессов и соединяющей их структуры связей. Эти свойства присущи материи в целом. Причиной изменения положения или состояния материи является воздействие. Реакцией на приложенное воздействие является отклик системы. Мерой сопротивления воздействию является инерция материи. В технических и физических системах это могут быть масса, сопротивление, теплоемкость, вязкость, магнитная проницаемость. В экономических системах это могут быть коэффициенты прямых затрат, ставки привлечения и размещения денежных средств, доходность финансовых инструментов на фондовых рынках. Отклик на приложенное воздействие проявляется в изменении положения или состояния материи системы; появлении или изменении протекающих в ней потоков. Вместе это составляет суть процессов, которые протекают в элементах материи. *Процессы в логистических системах – это передача и преобразование потоков материи, энергии, информации.*

В каждом элементе системы может протекать процесс. *Процесс представляет собой поток (материи, энергии, денег, информации, людей), который поступает на вход элемента и покидает его на выходе.* Материя элемента оказывает определенное сопротивление потоку, которое надо преодолевать. Для поступления потока на вход необходимо воздействие. Результатом взаимодействия воздействия и материи является отклик; вместе они определяют две характеристики элемента и системы в целом. Это характеристика материи, т.е. мера сопротивления элемента проходящему потоку (метрика). Также это мера самого потока, его величина, мощность. Для определения всех этих показателей необходимо выбрать единицы измерения.

Описание потока энергии как отклика материи на воздействие можно записать соотношением (простейшая форма уравнения поведения):

$$\text{воздействие} = \text{сопротивление} * \text{отклик}.$$

Такой вид имеют все уравнения описания процессов в элементах. Для совокупности элементов получим систему уравнений. Решением всегда считается получение обратного соотношения. Считается, что воздействие и сопротивление можно измерить, а отклик надо рассчитать, т.е.:

$отклик = \text{воздействие} / \text{сопротивление}.$

Если взаимодействует много элементов, то составляют систему уравнений, в которой воздействие и отклик представляют векторы, а сопротивление есть матрица, которую надо обратить; тогда это решение задачи принимает вид:

$отклик = (\text{сопротивление})^{-1} * \text{воздействие}.$

Величина потока энергии измеряется как произведение воздействия и отклика. Эту величину называют *мощность* и определяют в зависимости от ситуации следующим образом: энергия, потребляемая в единицу времени; или энергия, производимая в единицу времени; или энергия, рассеиваемая в единицу времени. Это можно записать так:

$(\text{поток энергии}) = \text{мощность} = \text{воздействие} * \text{отклик}.$

Итак, единица мощности равна единице воздействия, *умноженной* на единицу отклика. Это перекликается с представленной выше связью воздействия, отклика и метрики, которую можно записать так:

$(\text{метрика}) = \text{сопротивление} = \text{воздействие} / \text{отклик}.$

Таким образом, единица меры сопротивления материи равна единице воздействия, *деленной* на единицу отклика. Инвариантность, или постоянство, мощности при изменении соединений элементов (структуры) систем определяется двойственностью структуры сетей. Характеристики измеримых откликов показывают, в какой степени система соответствует тем требованиям, которые заложены в нее при проектировании и управлении.

Сетевые понятия находят все большее применение в практических приложениях. В основе информационно-компьютерных технологий логистики лежат расчеты задач, имеющих различную математическую основу. Методы решения задач оптимизации производства и транспортной задачи снабжения производства были рассмотрены в первой части данной работы. Было показано, что по самой сути *задачи логистики имеют сетевой характер*. Необходимо установить связи между элементами системы, и структура связей должна удовлетворять определенным характеристикам. Также и потоки, протекающие по этим связям (материальные, финансовые, информационные), должны удовлетворять заданным характеристикам.

Вместе с тем сама структура сетей обладает присущими ей свойствами, которые надо учитывать при создании сетевых моделей для управления цепями поставок в логистических системах. Свойства структуры определяют законы преобразования сетей и отношения между двумя сторонами любой системы:

- структура связи элементов;
- протекающие в этих элементах процессы.

Особую роль играет инвариант преобразования структуры двойственных сетей. Это фундаментальное свойство структуры, которое существует даже в отсутствие каких-либо потоков. Если в сети (сетевой модели системы) возникают потоки (энергии), то инвариант двойственных сетей представляет собой проявление физического закона сохранения потока энергии.

3.2. Основные понятия сетей

Определим *сеть* как совокупность протяженных элементов, обладающих границами и ориентацией (направлением). Элементами не могут быть точки (0-симплексы), поскольку они не имеют границ. Элементами сети могут быть отрезки линий (1-симплексы), границами которых являются точки (узлы). Такие элементы будем называть *ветвями*. Элементами могут быть поверхности – 2-симплексы, границами которых являются линии и точки; и т.д.

3.2.1. Свойства ветвей

Далее будем рассматривать сети из ветвей. Каждая ветвь определяет одно измерение в абстрактном пространстве сети. Размерность такого пространства равна количеству ветвей, составляющих данную сеть.

Под *структурой* сети будем понимать схему связей элементов, независимо от того, отделены границы элементов друг от друга или совпадают. Сеть представляет собой неоднородное пространство-структуру, которое есть только вдоль ветвей. При изменении структуры, т.е. соединении и разъединении ветвей, число границ-узлов меняется, однако сама сеть не меняется, пока состоит из тех же ветвей. Это позволяет применять сеть для моделирования процессов при изменении структуры систем, например сетей логистики.

Ветви назовем *свободными*, если их границы отделены друг от друга, в противном случае назовем элементы *связанными*. Ветви можно соединять путем совмещения, слияния их границ. Ветви можно разъединять путем разделения соединенных границ. Изменение соединений рассматривается как преобразование координат в пространстве-структуре. При этом меняются не только параметры *структуры* (например, замкнутые и разомкнутые пути), но также параметры *процессов*, происходящих в системе (значения величин, характеризующих воздействия, отклики, метрику). Изменение связей ветвей, т.е. соединение, разъединение границ назовем *преобразованием структуры*.

Ориентация ветви определяется заданным порядком прохождения от одной границы до другой границы. Ориентация ветви, одна из двух возможных, задается произвольно и далее не меняется на протяжении анализа. Выбор и изменение ориентации ветвей является преобразованием координат в сети.

Имеется двойственность ориентации замкнутой и разомкнутой частей ветви в смысле дополнения. *Если в замкнутой части ветвь имеет одну ориентацию, то в разомкнутой она должна иметь противоположную ориентацию.* В разомкнутой ветви можно указать порядок границ: что считать началом, а что – окончанием ветви. Тогда можно менять ориентацию с направления «от начала к концу» на направление «от конца к началу».

Для замкнутой ветви нет начала и конца, как в песне «а у кольца начала нет и нет конца». Задать порядок двух точек можно на метрическом параметре, который сосредоточен в одной точке или распределен по ветви. В электрической цепи Г. Крон задавал числами 1 и 2 начало и конец участка сопротивления ветви (пренебрегая сопротивлением оставшейся части ветви) и

считал направление от 1 к 2 положительным [32]. Если метрический параметр распределен по всей длине замкнутой ветви, то нельзя указать точки его начала и окончания. Таким образом, для ветвей с сосредоточенными параметрами проще задать ориентацию ветвей.

Путь – это маршрут по ветвям сети. Путь задан узлом начала, узлом окончания и ветвями, через которые он проходит. Пути играют роль координат в пространстве сети. Если начальный и конечный узлы пути совпадают, то путь *замкнутый* (обозначим m – *mesh*, контур), в противном случае – *разомкнутый* (обозначим j – *junction*, узел). Ориентацию, направление пути определяет порядок прохождения по элементу (или элементам) от одной границы к другой. Ориентация пути может совпадать с ориентацией составляющих его ветвей или быть противоположной; это определяют знаки плюс или минус, с которыми каждая ветвь входит в состав пути.

Метрическая характеристика. Ветвь может иметь *вес*, который представляет собой метрическую характеристику ее «масштаба», по аналогии с массой, электрическим сопротивлением, теплоемкостью в физике или коэффициентом прямых затрат, ставками привлечения и размещения денежных средств в экономике и т.д. Вес ветви задается изначально и не меняется в данной сети. Вес можно задать целым числом, рациональным, действительным или комплексным числом, функцией.

Если веса всех ветвей равны единицам, то метрика единичная. Это не означает отсутствия метрики как таковой – материальные свойства элементов, их физическая размерность (массы, сопротивления, и т.д.) сохраняются при любых числовых значениях. Эти величины определяют пропорции между воздействиями и откликами. Материя ветви преобразует воздействие в отклик. Если метрика единичная, то значения воздействия и отклика численно равны.

3.2.2. Двойственность ветвей

Рассмотрим двойственность ветви. На рис. 3.2 представлена ветвь, которая состоит из двух частей – замкнутой и разомкнутой. Эти две части ветви расположены в двойственных подпространствах, т.е. ортогональных и дополняющих друг друга до полного пространства сети.

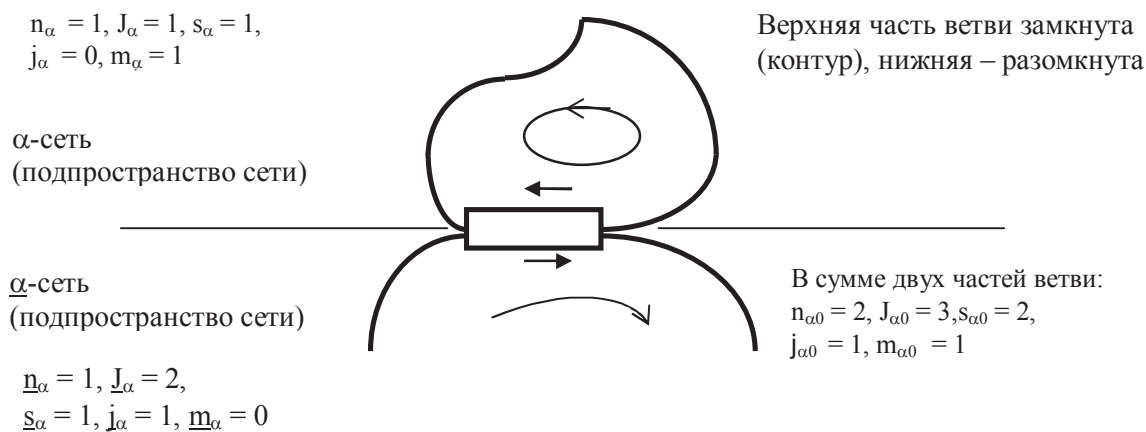


Рис. 3.2. Двойственная структура одной ветви

Все величины, индексы, относящиеся к двойственной сети, будем обозначать теми же буквами, что и в заданной сети, но с подчеркиванием. Например, заданную сеть обозначим как α -сеть, а двойственную – как $\underline{\alpha}$ -сеть.

Ветвь, состоящая из двух двойственных частей, может представлять в простейшем виде преобразования структуры. Например, размыкание замкнутой линии в одной части приводит к замыканию разомкнутой линии в другой части ветви. И наоборот. Однако ветвь не может в полном объеме представить структуру связей с другими ветвями и все те преобразования, которые происходят в сети при изменении структуры. В отношении преобразования структуры минимальной ячейкой сети, как бы «молекулой», обладающей всеми свойствами сети, следует считать сеть из двух ветвей.

Процессы в сети представим как векторы (или другие объекты), которые воздействуют на сеть, т.е. наложены на нее извне. Источники воздействия могут располагаться как вне ветвей сети, так и внутри ветвей сети. Это соответствует аналогии с процессами и структурой реальных систем.

Сетевые модели. Сеть может применяться для моделирования сложных технических, экономических, биологических систем. Для этого используют аналогии между математическими понятиями сети (к ним относятся элементы, структура, векторы) и физическими процессами, протекающими в элементах реальных систем. Системы состоят из многих элементов, связанных между собой, и эти связи могут изменяться. В элементах происходят *физические* процессы в виде потоков (например, потоков энергии или материальных потоков), которые распространяются, преобразуются в структуре системы.

Задача расчета сети состоит в определении значений откликов на приложенные воздействия, а также изменения значений параметров потоков (процессов) при изменении структуры. Например, при соединении сложной системы из отдельных элементов, при разделении системы на элементы или подсистемы, состоящие из ряда элементов или отсоединении (выходе из строя) отдельных подсистем и т.д. Для повышения эффективности вычислений целесообразно использовать результаты расчета одной из структур системы, которые можно преобразовать в результаты решения задачи расчета для других структур, не делая весь расчет заново.

Обозначим количество ветвей в сети через n , узлов – J , подсетей – s , независимых замкнутых путей – m (в теории графов это цикломатическое число графа), независимых разомкнутых путей – j (ранг графа). Для каждой схемы, конфигурации соединения ветвей эти пять параметров имеют значения, определяемые известными топологическими соотношениями:

$$j = J - s, \quad (3.1)$$

$$n = m + j. \quad (3.2)$$

Рассмотрим процедуру последовательного соединения ветвей друг с другом. При соединении двух ветвей два узла из четырех сливаются в один. На один узел становится меньше, но меньше и на одну подсеть. Присоединяя ветви одним узлом к узлам сети, получим, что каждый раз в сети на один узел станет

меньше и на одну подсеть меньше. Когда все ветви подключены одним из своих узлов в такую конфигурацию, то общее число узлов составит $J = n + 1$.

Пример изменения числа узлов и подсетей показан при переходе от сети из четырех свободных ветвей на рис. 3.3.а к связанной сети, представляющей собой граф типа «дерево» на рис. 3.3.б. Если сеть состоит из s отдельных связанных подсетей, то, проводя такие рассуждения, получим, что в каждой подсети есть один «лишний» узел сверх числа ветвей, тогда общее количество узлов в полной сети $J_s = n + s$, а число ветвей:

$$n = J_s - s \quad (3.3)$$

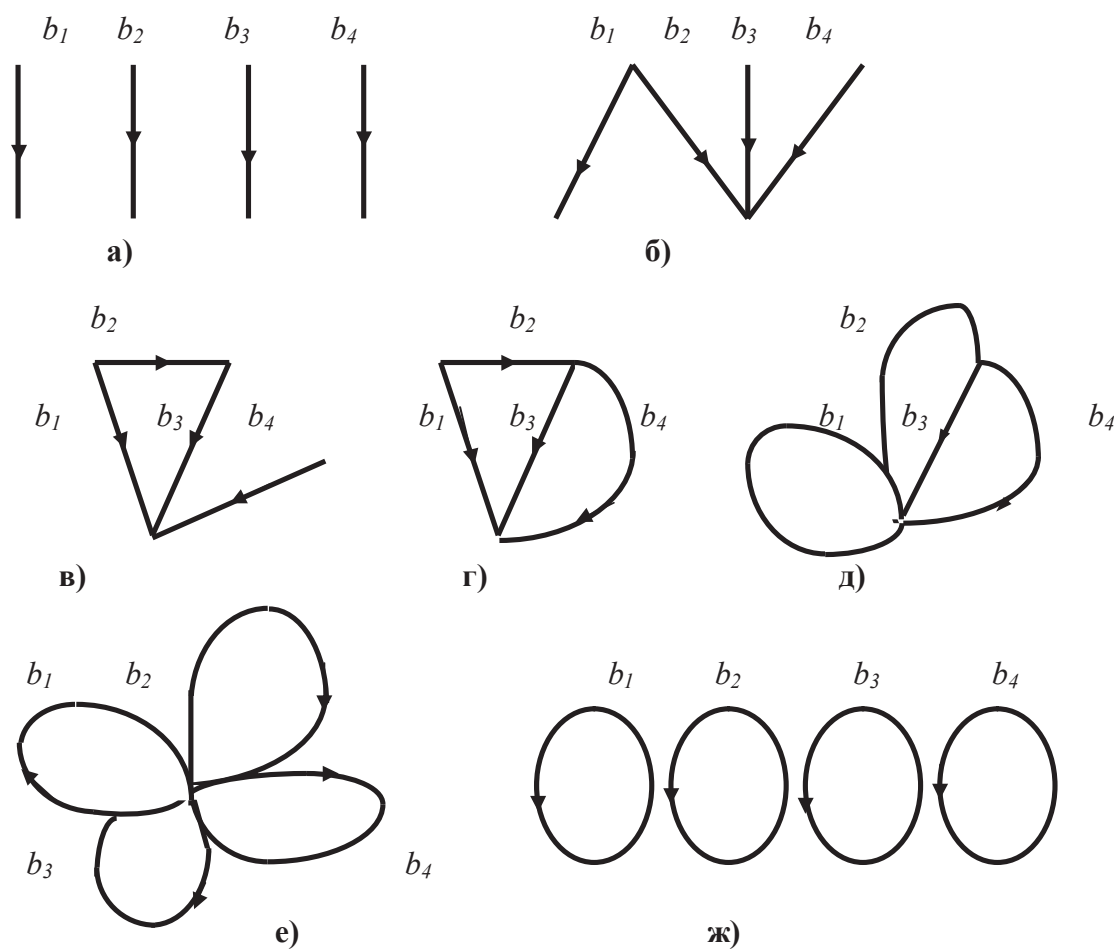


Рис. 3.3. Преобразование структуры при соединении ветвей

а – свободные ветви, образующие разомкнутые пути; б – ветви связаны в сеть, граф которой – «дерево», контуров нет; в, г, д – замыкание, соединение любых двух узлов дает каждый раз один новый независимый контур, один независимый разомкнутый путь при этом исчезает; е – остался один узел, связывающий все ныне замкнутые ветви и пути, разомкнутых путей нет; ж – свободные ветви, образующие контуры

Каждый разомкнутый путь входит в один узел и выходит из другого узла. Выбрав любой путь, охватим два узла. Проведем каждый новый путь так, чтобы он проходил через один новый узел. Добавляя по одному узлу в каждый новый путь, охватим все узлы за j шагов. Далее новые пути будут проходить через уже охваченные узлы. Их можно выразить через уже построенные пути, т.е. новые пути линейно зависимы.

3.2.3. Преобразование путей

Таким образом, число линейно независимых разомкнутых путей для каждой подсети $j = J - 1$, а их совокупность можно рассматривать как базис пространства разомкнутых путей. Суммируя разомкнутые узлы по s подсетям, получим их общее число j_s , которое равно разности количества узлов и подсетей: $j_s = J_s - s$, т.е. (3.1). Сравнивая с (3.3), можно видеть, что число разомкнутых путей для данной сети равно числу ветвей, т.е. разомкнутые пути охватывают все измерения пространства сети. Подключение ветвей (или подсетей) к сети одним узлом не меняет типов путей, поскольку при слиянии двух узлов в один исчезает также одна подсеть.

Согласно построению (и свойствам графа-дерева), из любого узла можно перейти в любой другой. Соединим один узел с любым другим. На один узел в сети станет меньше, а значит и на проходивший через него разомкнутый путь. Однако появится замкнутый путь, контур (рис. 3.3.в). Поскольку соединены произвольные узлы, то они не обязательно были связаны одним из выбранных ранее линейно независимых разомкнутых путей. Это значит, что новый контур, замкнутый путь, по набору ветвей может не совпадать с ранее выбранными разомкнутыми путями. В частности, если до этого каждый разомкнутый путь проходил по одной ветви, то теперь он должен проходить по нескольким ветвям, составляющим контур. Это играет важную роль в алгоритмах расчета сети при изменении структуры связей, например, при расчете сети по частям.

Замкнутый путь можно представить комбинацией разомкнутых путей – хотя бы тех, которые проходят через составляющие его ветви. Но до этого в дереве независимые пути строили присоединением нового узла, а значит, и ведущей к нему ветви (узлы в сети будем рассматривать только как границы ветвей, в отличие от графов, где возможны узлы как изолированные вершины). Это означает, что в состав контура войдет хотя бы одна ветвь, не входящая в другие независимые разомкнутые пути. Например, это может быть ветвь, которая определяла разомкнутый путь, ставший замкнутым путем, контуром. Кроме того, по построению любая ветвь, замыкающая контур, линейно зависима от остальных ветвей, его составляющих, поскольку соединяет уже охваченные другими путями узлы. Таким образом, полученный контур нельзя представить комбинацией оставшихся независимых разомкнутых путей. Он представляет собой новое измерение и относится к подпространству замкнутых путей. Его появление уменьшает базис подпространства разомкнутых путей на единицу. Пример представлен на рис. 3.3.в. Общее число путей остается прежним и равно числу ветвей.

При соединении затем любой пары из оставшихся узлов в связанной подсети число разомкнутых путей будет каждый раз уменьшаться на единицу, а число контуров – увеличиваться на единицу. Если соединять узлы из разных подсетей, то число контуров и разомкнутых путей не изменится, поскольку уменьшение числа узлов уменьшает число подсетей. Соединив последние два узла в один, получим, как показано на рис. 3.3.е, «цветок с лепестками» – контурами, число которых равно числу ветвей, а разомкнутых путей теперь нет.

Разрывая затем оставшийся узел и отделяя по одной ветви, получим каждый раз один новый узел, соответствующий отдельному контуру, и одну новую подсеть. Это, в соответствии с (3.1), не меняет числа разомкнутых путей, равное теперь нулю. Разъединив все ветви, получим набор отдельных, свободных контуров, показанный на рис. 3.3.ж.

Таким образом, при всем изменении структуры сети суммарное число независимых замкнутых и разомкнутых путей оставалось постоянным, равным количеству ветвей: $n = m + j$, то есть выполняется соотношение (3.2).

Полный набор линейно независимых путей для данной сети образует базис. Другие возможные пути, не вошедшие в базис, выражаются линейными комбинациями путей базиса. Коэффициенты выражения путей одного базиса через пути другого базиса составляют матрицу преобразования путей. При соединении и/или разъединении ветвей пути также могут изменяться.

Заметим, что при индексе β' штрих является избыточным, т.к. сам индекс указывает базис. Штрих нужен для обозначения конкретных путей, например p_3' , для указания его принадлежности данному базису. Штрих проще писать, чем обозначение каждого пути, например, ${}^m p_3^\beta$, что означает путь под номером 3 из базиса β' , причем m указывает, что это замкнутый путь в данном базисе.

Пример построения базиса путей дан на рис. 3.4, где базис путей сети α из четырех свободных ветвей на рис. 3.4.б преобразуется в базис путей сети β из тех же ветвей (одна подсеть), $n = 4$, $s = 1$, с тремя узлами, $J = 3$ на рис. 3.4.а.

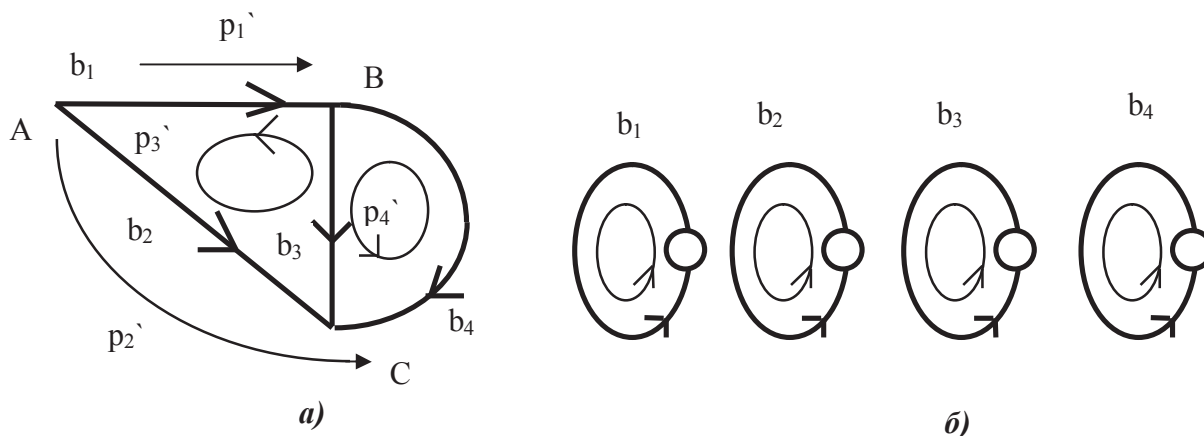


Рис. 3.4. Базис m и j путей в сети и его преобразования
 а – базисные пути в связанной сети; б – базисные пути в свободной сети

Выбранные в связанной сети пути выражаются через пути в ветвях:

$p_{\beta'}$	$=$	$C_{\beta'}^\alpha$	p_α	
p_1'	$=$	$b_2;$	$p_1 = b_1$	
p_2'	$=$	$b_1;$	$p_2 = b_2$	$p_{\beta'} = C_{\beta'}^\alpha p_\alpha$
p_3'	$=$	$-b_1 + b_2 + b_3;$	$p_3 = b_3$	
p_4'	$=$	$b_3 - b_4;$	$p_4 = b_4$	

Пути в сети из четырех свободных ветвей на рис. 3.4.б обозначены как p_α , а пути в сети из четырех связанных ветвей на рис. 3.4.а – как p_β , где α, β принимают значения от 1 до 4, перечисляя все пути. В сети из свободных ветвей пути совпадают с ветвями, но могут отличаться по ориентации.

Коэффициенты выражения путей базиса в связанной сети через пути в свободных ветвях можно представить в виде матрицы:

$$C_\beta^\alpha = \begin{array}{c|cccc|c} & \alpha & & & & \\ & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 & \\ \beta & p_1 & & & & j \\ & p_2 & & & & j \\ & p_3 & & & & m \\ & p_4 & & & & m \end{array} \quad (3.4)$$

Индексы около косой черты в левом верхнем углу матрицы указывают, какой набор путей, базис, перечисляется по данным строкам или столбцам. Соответствие индексов и элементов матрицы ввел Крон. Буквы сбоку матрицы обозначают тип пути, например, j – разомкнутый путь, m – замкнутый путь.

Базис путей можно представить разложением по отдельным ветвям, которое показывает, из каких ветвей состоит данный путь и какая ориентация пути относительно направления этих ветвей. В матрице C_β^α строки перечисляют, какие ветви (пути в отдельных ветвях), с какой ориентацией, составляют данный путь. Элементы столбцов показывают, в какие пути, сколько раз и с какой ориентацией входит данная ветвь.

Обратное преобразование, т.е. выражение путей в свободных ветвях через пути в связанной сети, а также матрица преобразования от базисных путей в связанной сети к базисным путям в сети свободных ветвей, имеет вид:

$$\begin{array}{l} p_1 = b_1 = \quad + p_2' \\ p_2 = b_2 = \quad + p_1' \\ p_3 = b_3 = -p_1' + p_2' + p_3' \\ p_4 = b_4 = -p_1' + p_2' + p_3' - p_4' \end{array} \quad C_\alpha^\beta = A_0^{\alpha t} = \begin{array}{c|cccc|c} & \beta & & & & \\ & p_1' & p_2' & p_3' & p_4' & \\ \alpha & p_1 & & & & j \\ & p_2 & & & & j \\ & p_3 & & & & m \\ & p_4 & & & & m \end{array}$$

$$p_\alpha = C_\alpha^\beta \cdot p_\beta$$

В матрице C_α^β строки показывают, сколько путей, каких и с какой ориентацией надо взять, чтобы получить данную ветвь; столбцы показывают: в представлении каких ветвей участвует данный путь, сколько раз, с какой ориентацией он используется. Базис свободных ветвей будем обозначать как p_0 , матрицу преобразования свободных путей в связанные – как C_α^0 , матрицу преобразования связанных путей в свободные – как C_0^α . Эти соотношения можно записать как $p_\alpha = C_\alpha^0 p_0$ и как $p_0 = C_0^\alpha p_\alpha$, что отличает базис свободных ветвей от базисов связанных в сети ветвей.

Матрица C_β^α содержит коэффициенты преобразования путей из свободной сети в связанную сеть, а матрица $C_\alpha^\beta = (C_\beta^\alpha)^{-1}$ содержит коэффициенты

обратного преобразования путей из связанной сети в сеть свободных ветвей. Это взаимно обратные преобразования; перемножение соответствующих им матриц дает единичную матрицу. *Студентам предлагается это проверить.*

Разорванные пути. При определении пути как набора ветвей не делалось предположения, что ветви, составляющие путь, следуют друг за другом. То есть не предполагалось, что путь начинается с одной границы ветви, проходит по всей ее протяженности к другой границе, которая уже соединена с начальной границей следующей ветви, и. т.д. Следовательно, можно предположить, что ветви пути не обязательно связаны друг с другом непосредственно. Или что от второй границы ветви путь продолжается сразу по двум и более ветвям, которые соединены с этой границей, т.е. разветвляется.

С точки зрения потоков в сети (структуре сложной системы) пути, как координаты, должны быть непрерывны, т.е. нормальны. Тогда можно говорить о постоянстве потока в пределах данного пути. Однако есть определенный смысл рассматривать прерывистые пути хотя бы на уровне принципиальной возможности. Дело в том, что при изменении структуры сети ветви могут оказаться соединенными так, что прежние непрерывные пути окажутся разорванными или получат разветвления. Нет оснований считать, что такие пути окажутся «плохими» или недостойными называться путями, хотя для представления потоков они становятся неудобными. Непрерывность потока предполагает, что он не меняется, остается постоянным на протяжении выбранного пути. При разрывании пути этого гарантировать нельзя. Вместе с тем, пока нет воздействий и в сети отсутствуют потоки, все возможные пути остаются равноправными наборами ветвей.

В сети можно выбирать пути произвольно только до тех пор, пока на сеть не наложены внешние векторы, представленные воздействиями и откликами. Когда появляются такие векторы и возникает задача расчета сети – т.е. необходимость расчета в каждой ветви откликов на приложенные воздействия, то практика показывает, что решения существуют только при выборе в качестве базисных «правильных» путей в указанном выше смысле. Представление путей в матрице преобразования, которая формирует решение, воспринимается так, как если бы разорванные или ветвящиеся пути соответствовали другой структуре. Такой структуре, в которой данный набор ветвей составляет «правильный» непрерывный путь. Это может вступать в противоречие с возможностью построения структуры сети с любым заданным набором «правильных» путей в качестве базиса, однако это уже задача синтеза.

В теории графов для построения базисных наборов циклов и разрезов выбирается (строится) остов графа (как строится и дерево разомкнутых путей), включением на каждом шаге по одному новому узлу. Получается независимое (базисное) множество разрезов. Затем подключают по одному ребра, не вошедшие в остов (хорды), каждое из которых определяет базисный цикл, поскольку каждый построенный так цикл содержит хотя бы одну новую ветвь (ребро), не входящую в другие циклы – по построению.

Такой подход не всегда дает однозначное построение базиса, т.е. не является общим. Пример этому представлен на рис. 3.5.

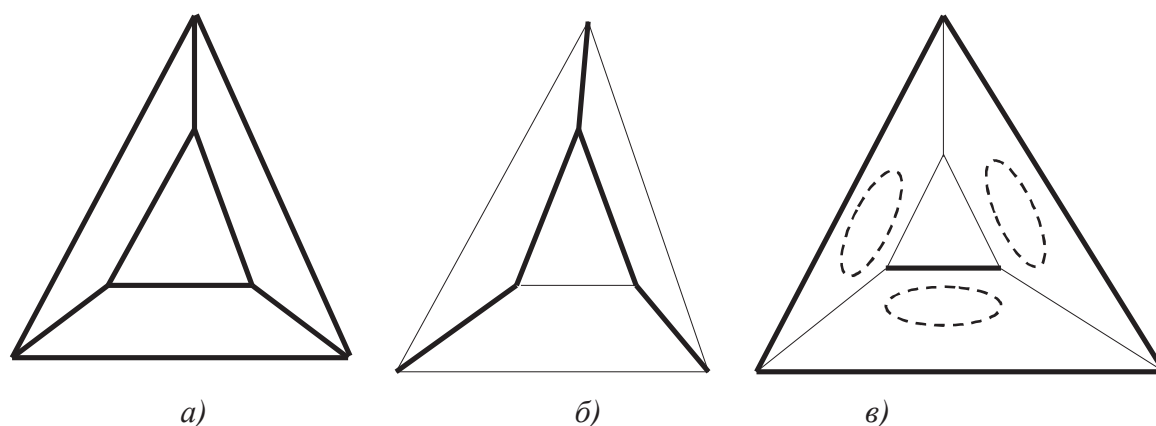


Рис. 3.5. Построение базисных циклов с помощью базисных хорд и остова не всегда однозначно

Построение остова дает набор независимых j -путей, но замыкание хордами набора базисных циклов может привести к охвату всех ветвей прежде, чем будут замкнуты все базисные хорды. Построим для сети на рис. 3.5 базисную систему циклов как пример того, что независимый контур может не содержать *новой* хорды.

Остов для графа на рис. 3.5.а представлен на рис. 3.5.б жирными линиями. Базисные хорды для него представлены жирными линиями на рис. 3.5.в. Замыкая остов наружными хордами, получим не только три базисных цикла, обозначенных кривыми линиями, но также и четвертый базисный цикл, составленный из наружных хорд. При этом базисная хорда внутри схемы еще не использована. В теории графов каждый базисный цикл должен включать только одну хорду, которая не входит в другие базисные циклы. Здесь же хорды сами образуют цикл, который не является линейной комбинацией уже построенных циклов (базисный), а еще не все базисные хорды использованы.

Аналогичная ситуация для двойственного графа, который показан на рис 3.6.а жирными линиями. Он дан отдельно на рис. 3.6.б, где остов показан пунктиром, а замыкание хорд дает *два* отдельных цикла-контур, которые могут быть базисными, но не включают ребер-ветвей остова.

Условия построения базиса путей в пространстве сети:

- разомкнутые пути должны охватить все узлы;
- замкнутые пути должны охватить все ветви.

Замкнутые и разомкнутые пути превращаются друг в друга: при замыкании узлов-границ разомкнутого пути получим замкнутый путь, при расщеплении точки-узла в контуре на два узла получим разомкнутый путь; размерность их базисов подчиняется условиям (3.1) и (3.2).

Для построения простейшего базиса разомкнутых путей достаточно построить остов, а затем считать каждую ветвь этого остова разомкнутым путем. Поскольку первая ветвь при этом охватит два узла, а каждая следующая добавит еще один узел, то ветви окажутся независимыми друг от друга. Чтобы

представить любой другой разомкнутый путь, связывающий два любых узла, достаточно перечислить все ветви, связывающие эти узлы в остове, что, по определению остова, всегда возможно.

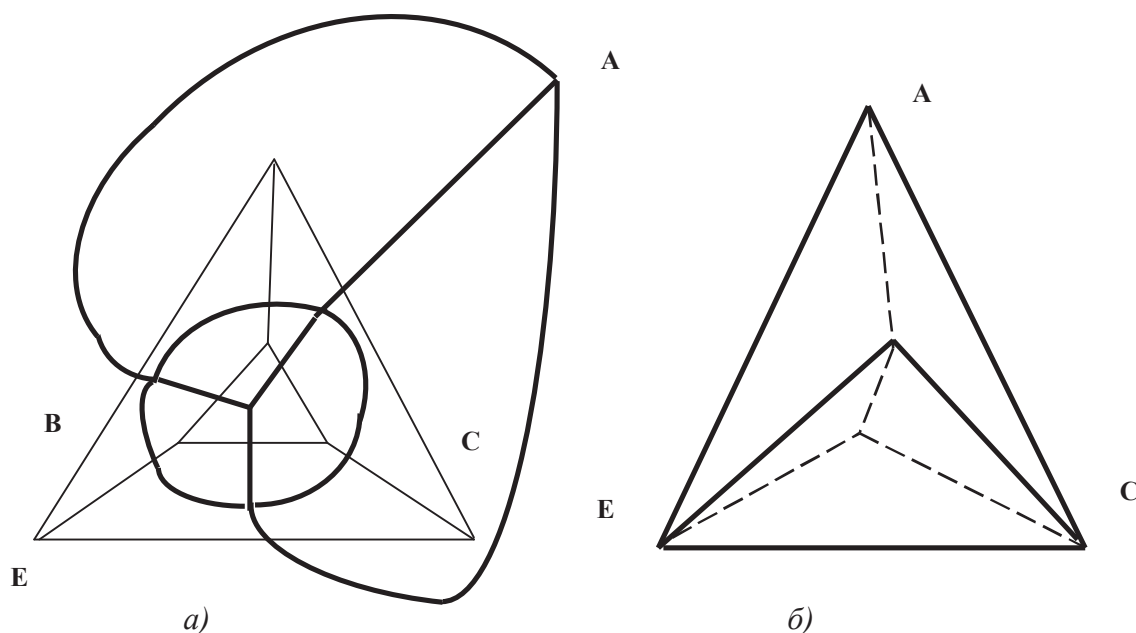


Рис. 3.6. Построение базисных циклов в двойственном графе также не всегда однозначно

Нельзя представить разомкнутый путь с помощью замкнутых путей. Было показано, что *набор линейно независимых разомкнутых путей не может представить замкнутый путь (контур)*. Следовательно, замкнутые пути и разомкнутые пути линейно независимы друг от друга.

Вместе с тем набор разомкнутых путей, пусть даже зависимых, может представить замкнутый путь. Набор замкнутых путей не может представить разомкнутый путь. По этой причине в матрицах преобразования путей есть *фундаментальная асимметрия*. Она состоит в том, что подматрица, которая показывает участие замкнутых путей в представлении разомкнутых путей, т.е. связывает замкнутые пути и разомкнутые пути, состоит из нулевых элементов; т.е. они составляют нулевой блок (как на представленных выше матрицах).

Существование нулевого блока в матрицах преобразования путей позволяет создать алгоритмы для расчета изменения процессов в сетях (и моделируемых сетями сложных системах) с переменной структурой. Преобразования структуры сетей состоят не только в изменении соединения элементов в связанной сети, но и в разделении сети на произвольные подсети либо в соединении отдельных подсистем в связанную сеть. Возможность разделения целого на части или соединения целого из частей позволяет производить расчет и анализ сложных систем по частям, с использованием параллельных расчетов подсистем, с использованием вычислительных систем с параллельной архитектурой.

3.3. Инварианты сети и двойственность

Сеть как математический объект интересна тем, что через нее могут проходить потоки, характеризующие процессы. Например, потоки энергии, информации. Величины потоков при изменении структуры меняются. Эти изменения можно рассчитать с помощью матриц преобразования путей. Зная состояние системы при одной структуре, можно произвести расчет ее состояния при любой другой структуре как преобразование координат. То есть не надо для каждого нового соединения или разъединения проводить вывод и расчет уравнений поведения системы заново. Таким образом, сеть, сетевая модель системы представляет собой геометрический объект, определенный набором элементов-ветвей, а разные структуры – проекции этого объекта в разные системы координат.

Пути играют роль координат в пространстве сети. Выбор в качестве базиса других путей, или изменение структуры связей, но с прежними путями, или изменение структуры с другим выбором путей – все это рассматривается как преобразование координат. В сетях существуют характеристики, которые остаются постоянными, инвариантными при изменении структуры. Например, соотношение (3.2) показывает, что сумма базисных замкнутых и разомкнутых путей постоянна и равна числу ветвей в сети.

Если величины в сети при изменении структуры преобразуются по линейным законам с помощью умножения на матрицы преобразования, то они соответствуют тензорам в геометрии. Пространство геометрии непрерывно и всюду одинаково плотно, в окрестности каждой точки существует бесконечное множество таких же точек. Это верно для прямолинейных систем координат пространства Декарта, криволинейных (например, Лобачевского, Римана), пространств с кривизной (Римана-Кристоффеля).

Пространство сети отличается тем, что оно дискретно, существует только вдоль ветвей, т.е. выделенных линий и их границ. По этой причине свойства пространства сети отличаются от свойств обычного пространства декартовой или римановой геометрии. Большую роль в пространстве-структуре сетей играет двойственность основных понятий.

3.3.1. Двойственность в науке

Понятие двойственности известно давно. Двойственность многообразно проявляет себя в различных областях.

Двойственные понятия широко используются в философии и различных отраслях специального знания (в физике, математике, химии и др.). Однако до сих пор не систематизировано с учетом достижений современной науки все то, что «действительно удивительно и божественно для вдумчивого мыслителя – это присущее всей природе удвоение числовых значений, и наоборот, раздвоение – отношение, наблюдаемое во всех видах и родах вещей» (Платон, 1999) [33].

Это понятие, которое было замечено в глубокой древности и связано с взаимным дополнением противоположностей в окружающем мире, имеет разные названия: дуализм, диада, дихотомия, бинарная оппозиция, противоположность, полярность. Идея двойственности дошла до нас в мифах древних народов. Геб и Нут у египтян, Ки и Ан у

шумеров, Праkritи и Пуруша у индийцев, Инь и Ян у китайцев, Ометикутль и Омесигуатль у ацтеков, Ахриман и Ормюзд у персов – все это названия богов или активных двойственных начал, взаимодействие которых, по мнению древних, приводит в движение мир. Стороны двойственности вступают в союз, где их различия теряются, образуя целое, обладающее способностью к движению, развитию. Так, Праkritи и Пуруша объединяются в Прадхане, Ян и Инь сливаются в Дао, Ахриман и Ормюзд соединяются в Митре, Ометеотль образует единое для Ометикутля и Омесигуатля (Попков, 2002) [10].

Двойственные начала символизируют тепло и холод, день и ночь, черное и белое, добро и зло, мужское начало и женское начало, любовь и ненависть. Эти взаимодействующие противоположности лежат в основе формирования порядка из первоначального мирового хаоса, вводя в него различия и создавая наблюдаемые структуры окружающего мира. Объединенные в союз, но разделенные как чистые полярности, двойственные начала преобразуют неопределенную энергию в активный потенциал, который способен произвести изменения в окружающем мире. В таком описании содержатся элементы современных представлений о порядке, хаосе, дифференциации, потоке, колебаниях, связности и др.

Двойственность и математика. В геометрии, особенно в проективной геометрии, понятие двойственности появилось в начале прошлого века. Здесь наибольший интерес представляют свойства двойственности, связанные с изменением структуры в математике, производстве, логистике, теории систем. Наличие двойственности позволяет установить симметрию в рассуждениях. Например, если заменить в любом верном предложении все входящие в него понятия на двойственные им понятия, то можно получить верное предложение, двойственное первому. Этот принцип двойственности проявляется, например, в существовании прямой и обратной теорем в геометрии.

Теоремой, обратной данной, называется такая теорема, условием которой служит заключение данной теоремы, а заключением – условие данной теоремы. Часто говорят о двух взаимно обратных, или двойственных друг другу, теоремах. Взаимно обратные теоремы, истинность которых доказана, важны в математических исследованиях. Часто необходимо знать, какие свойства можно принять за основные, вполне определяющие объект исследования. Эти свойства объектов (геометрических фигур, множеств) выделяются посредством доказательства обратных теорем. Возможность выделить таким путем некую сущность объекта (свойство, инвариант) показывает важность двойственных утверждений.

Принцип двойственности проективной геометрии утверждает, что если верно предложение, касающееся точек, прямых, плоскостей и отношений инцидентности между ними, то верно и двойственное предложение, получаемое из данного. Можно в суждениях поменять местами слова «прямая» и «точка» (для проективного пространства слова «плоскость» и «точка»). Например, предложению «три плоскости определяют точку» соответствует двойственное предложение «три точки определяют плоскость». На плоскости этому соответствует аналогичная пара утверждений. «Две точки определяют прямую» (известно, что через две точки можно провести единственную прямую). «Две прямые определяют точку» (известно, что две прямые пересекаются в одной точке, а параллельные прямые в проективной геометрии пересекаются в несобственной, т.е. бесконечно удаленной точке). Именно признание

равноправия собственных и несобственных элементов в проективной геометрии позволило использовать принцип двойственности, иначе параллельные прямые оказались бы не имеющими общей точки.

Другим примером двойственности является задача линейного программирования [5, 16, 17]. Прямая задача заключается в нахождении максимума целевой функции *изнутри* выпуклого многогранника, расположенного в n -мерном пространстве. В этом пространстве многогранник задается линейной формой с n ограничениями, наложенными на m -мерный вектор-аргумент целевой функции. Обратная, или двойственная, задача – нахождение минимума обратного функционала *снаружи* на поверхности многогранника, т.е. в пространстве, дополняющем внутренность многогранника прямой задачи до полного пространства, но в линейном программировании это m -мерное пространство. При этом компоненты «прямого» вектора преобразуются по правилам обращения матриц в коэффициенты-ограничения для обратной задачи.

3.3.2. Двойственные сети

Сети и двойственность. В сети двойственными являются замкнутые и разомкнутые пути, воздействия и отклики, сеть и двойственная к ней сеть. Две сети с двойственной структурой обладают постоянством размерностей дополняющих друг друга подпространств замкнутых и разомкнутых путей. Например, при соединении двух ветвей в сети – два узла сливаются (уменьшается число узлов). В результате возникает один новый независимый замкнутый путь, увеличивается размерность подпространства замкнутых путей. При этом исчезает один независимый разомкнутый путь, уменьшается размерность подпространства разомкнутых путей. Общая размерность пространства путей сети не меняется, она постоянна и равна количеству элементов – ветвей. Итак, при изменении числа узлов в сети меняется число независимых контуров (замкнутых путей), но противоположно меняется число разомкнутых путей, т.е. меняется размерность их подпространств.

Рассмотрим сети, двойственные к данной сети. В теории графов двойственность связана с понятием планарности, т.е. определяется только для графов, которые укладываются на плоскости без пересечений. Планарный граф делит плоскость на *области* конечные, если конечна их площадь, и бесконечные – в противном случае. Ветви, охватывающие конечные области, образуют контуры, которые в теории графов называют *ячейки*. Каждая ветвь графа сети является общей не более чем для двух областей. Ячейки внутри графа имеют конечную площадь, а ячейка, дополняющая граф до всей плоскости, – бесконечную площадь. Внутренние ячейки-контуры охватывают все ветви. Это ограничивает свободу выбора путей, в частности, *контур должен составлять непрерывную замкнутую линию*.

В двойственных сетях каждому замкнутому пути в одной сети соответствует разомкнутый путь в другой сети, и наоборот.

Для построения двойственного графа в каждую область помещается один узел, затем через каждую ветвь проводится линия, связывающая узлы в

соединяемых ею областях. Эта линия представляет ветвь в двойственной сети. Совокупность таких ветвей и есть *двойственная сеть*. Таким образом, двойственными являются контуры и узлы. Примеры такого построения даны на рис. 3.6.a и рис. 3.7. Из теории графов известно, что двойственным к двойственному является исходный граф. Это касается и сетей.

Инвариантом сетей является количество ветвей – оно одинаково для заданной и двойственной сети – и обозначается $n = \underline{n}$. Ранг одного из двойственных графов равен цикломатическому числу другого графа. В сетях это означает равенство числа линейно независимых замкнутых путей (контуров) данной сети числу линейно независимых разомкнутых путей двойственной сети.

Структуру двойственной сети можно определить с помощью ортогональной матрицы преобразования, которая является единственной к заданной матрице преобразования путей базиса. Знаки при ненулевых элементах матриц преобразования определяют направление ориентации каждой ветви по отношению к базису путей. В каждой сети возможны две равноправные ориентации ветвей и путей. Т.е. если сменить направления у всех ветвей и всех путей в сети на противоположные, то матрица преобразования не изменится. Таким образом, построив «каркас» структуры двойственной сети с помощью областей и узлов, можно выбрать в этой сети два варианта ориентации связанных ветвей и ориентации путей, выбранных в такой сети.

Пути – это координаты в заданном пространстве сети, они вторичные по отношению к основным элементам. Сеть определяют ветви, а их границы образуют узлы, и эти узлы определяют данную структуру. Если задать ориентацию каждой из свободных ветвей и сохранять ее при соединении ветвей в сеть, то каждая ветвь будет выходить из одного своего узла (границы) и входить в другой свой узел. Таким образом, ориентация ветвей по отношению к узлам (границам) задана еще до введения путей. Это тензорное свойство сети, которое существует независимо от того, введены координаты, т.е. пути, или не введены. При введении координат-путей ориентация ветвей принимает по отношению к этим путям определенное положительное или отрицательное значение, которое выражается знаком при соответствующем элементе в матрице преобразования путей.

Для представления связи ветвей и узлов с учетом их взаимной ориентации вводят *матрицу инцидентностей* (если ветвь соединена с узлом, то говорят, что они инцидентны). Эту матрицу обозначим как M_0^1 , где индекс 0 обозначает узлы (т.е. 0-симплексы), которые связаны с 1-симплексами, т.е. ветвями. Столбцы M_0^1 перечисляют узлы, а строки перечисляют ветви сети. В каждой строке знак -1 стоит в столбце узла, из которого данная ветвь выходит, а знак $+1$ стоит в столбце узла, в который данная ветвь входит. *Степень узла A* обозначим q_A и определим как алгебраическую сумму по столбцу, который данному узлу соответствует. Матрица инцидентностей однозначно определяет структуру сети, т.е. как соединены между собой ветви. При соединении и разъединении в сети, если меняется количество узлов или меняется инцидентность узлов и ветвей, то меняется и матрица инцидентностей.

В заданной сети можно выбрать два варианта ориентации ветвей и ориентации путей. В двойственной сети также можно изменить направления у всех ветвей и всех путей на противоположные, и при этом матрица преобразования не изменится, т.е. также можно выбрать два равноправных варианта ориентации ветвей и ориентации путей. Однако при изменении ориентации ветвей (по отношению к узлам) соответствующие матрицы инцидентности для заданной сети и для двойственной сети хотя и останутся прежними по составу ненулевых элементов, но знаки при этих ненулевых элементах поменяются.

Двойственность является естественным свойством пространства-структуры, которое связано с понятием направления, ориентации. Если задано одно направление, то оно должно дополняться и противоположным направлением. Для двух двойственных сетей при изменении связей ветвей все измерения пространства-структуры сохраняются и остаются доступными для анализа. Увеличение числа базисных замкнутых путей в одной сети приводит к уменьшению числа базисных замкнутых путей в двойственной сети, но их сумма постоянна. При этом одновременно обратные изменения происходят с разомкнутыми путями.

Рассмотрим матрицы инцидентности для сети и двойственной к ней сети, которые представлены на рис. 3.7. Здесь двойственная сеть представлена жирными линиями, а исходная – тонкими линиями.

Топологические параметры этих двойственных сетей одинаковые.

- В данной сети: $n = 6, J = 4, s = 1, j = 3, m = 3$.
- В двойственной сети: $\underline{n} = 6, \underline{J} = 4, \underline{s} = 1, \underline{j} = 3, \underline{m} = 3$.

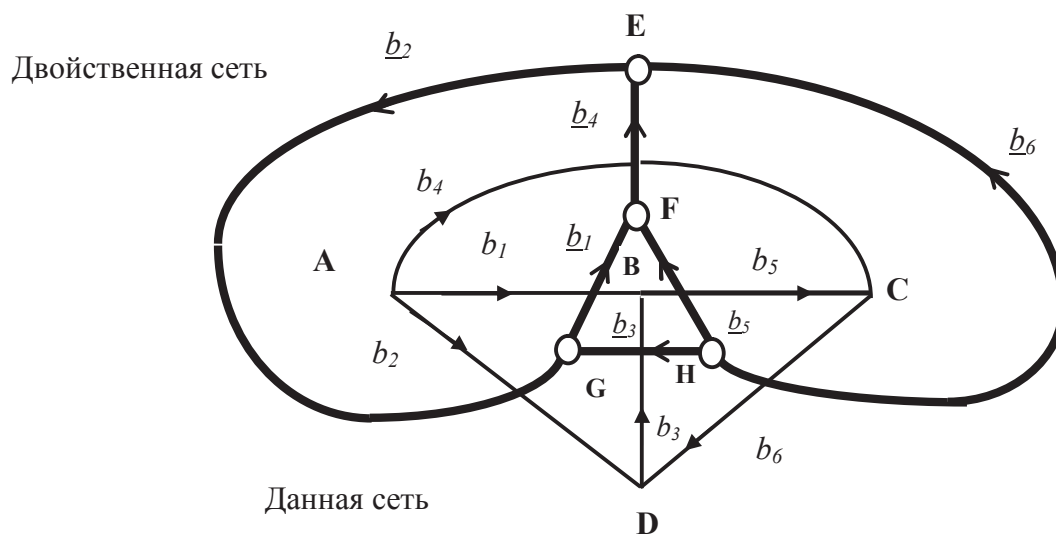


Рис. 3.7. Две двойственные сети из 6 ветвей

Матрицы инцидентности у этих сетей разные. Ориентация ветвей в исходной сети задана на рис. 3.7. Ориентацию ветвей в двойственной сети получим в соответствии с алгоритмом, который рассмотрен в [16, 17]. Для этого начнем с узла F двойственной сети, контур-ячейку для которого составляют ветви b_1, b_4 и b_5 в данной сети, выберем первые ориентации для ветвей $\underline{b}_1, \underline{b}_4$ и \underline{b}_5 и так далее. Полученные ориентации ветвей даны стрелками на ветвях двойственной сети.

Матрица инцидентности M_0^1 для данной сети, с узлами A, B, C и D на рис. 3.7, имеет следующий вид (сумма степеней узлов равна нулю):

$$M_0^I = \begin{array}{c|cccc} & A & B & C & D \\ \hline b_1 & -1 & +1 & & \\ b_2 & -1 & & & +1 \\ b_3 & & +1 & & -1 \\ b_4 & -1 & & +1 & \\ b_5 & & -1 & +1 & \\ b_6 & & & -1 & +1 \\ \hline \text{Сумма} & -3 & +1 & +1 & +1 & = 0 \end{array} \quad (3.5)$$

Матрица инцидентий для M_0^I для двойственной сети, с узлами E, F, G и H , которые выделены кружками на рис. 3.7 имеет следующий вид (сумма степеней узлов равна нулю):

$$\underline{M}_0^I = \begin{array}{c|cccc} & E & F & G & H \\ \hline \underline{b}_1 & & +1 & -1 & \\ \underline{b}_2 & -1 & & +1 & \\ \underline{b}_3 & & & +1 & -1 \\ \underline{b}_4 & +1 & -1 & & \\ \underline{b}_5 & & +1 & & -1 \\ \underline{b}_6 & +1 & & & -1 \\ \hline \text{Сумма} & +1 & +1 & +1 & -3 & = 0 \end{array} \quad (3.6)$$

Сумма модулей степеней узлов в двух двойственных сетях равна удвоенному количеству ветвей, т.е. равна 12.

$$q_0 = q_\alpha + \underline{q}_\alpha = \sum |q_i| + \sum |\underline{q}_i| = (|q_A| + |q_B| + |q_C| + |q_D|) + (|\underline{q}_E| + |\underline{q}_F| + |\underline{q}_G| + |\underline{q}_H|) = \\ = |-3| + |+1| + |+1| + |+1| + |+1| + |+1| + |+1| + |-3| = 6 + 6 = n + \underline{n} = 12.$$

Найденная закономерность, которая состоит в том, что *сумма модулей степеней узлов в двух двойственных сетях равна сумме числа их ветвей*, дает алгоритм получения ориентации ветвей в двойственной сети. С помощью этого алгоритма можно получить матрицу инцидентий двойственной сети, которая определяет ее структуру.

Задание студентам: составить блок-схему алгоритма.

То есть, имеется соответствие между ориентацией ветвей в двойственных сетях еще до введения координат-путей. После этого в структуре двойственной сети можно выбрать пути и получить матрицу преобразования путей.

Но можно поступить наоборот и использовать матрицу преобразования путей в двойственной сети. Она равна транспонированной матрице обратного преобразования путей в исходной сети, и ортогональна матрице преобразования путей от свободных ветвей к связанным ветвям в исходной сети. Ортогональность обеспечивает единственность, т.е. соединяя ветви в соответствии с составом ненулевых элементов в путях-столбцах матрицы преобразования $\underline{C}_\alpha^0 = A_{\alpha^0}$, можно построить структуру двойственной сети. По ней можно *затем* построить матрицу инцидентий двойственной сети.

Исходная сеть с выбранными путями представлена отдельно на рис. 3.8.

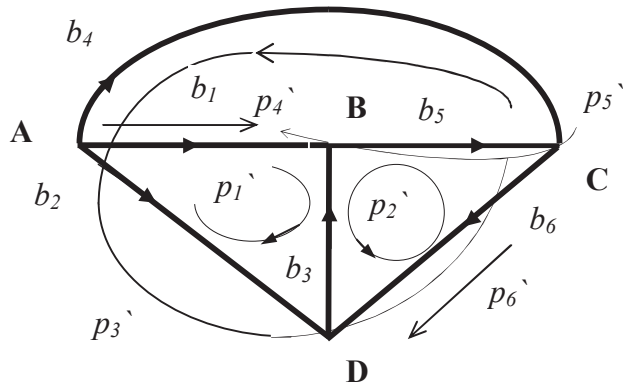


Рис. 3.8. Выбор путей в исходной сети из 6 ветвей

Матрица преобразования путей свободных ветвей в пути связанных ветвей для сети на рис. 3.8 имеет вид:

	p_1^0	p_2^0	p_3^0	p_4^0	p_5^0	p_6^0	
p_1'	1	-1	-1				m
p_2'			-1		-1	-1	m
p_3'		1		-1		-1	m
$C_\alpha^0 = p_4'$	1						j
p_5'					-1		j
p_6'						1	j

Далее выразим ветви, точнее пути в базисе свободных ветвей, через пути соответствующих базисов в сети связанных ветвей, тогда получим матрицу обратных преобразований. Матрица *обратного* преобразования путей связанных ветвей в пути свободных ветвей $A_0^{\alpha_t}$ имеет следующий вид:

	p_1'	p_2'	p_3'	p_4'	p_5'	p_6'	
p_1^0				1			
p_2^0	-1	1		1	-1	1	
p_3^0		-1			1	-1	
$A_0^{\alpha_t} = p_4^0$	-1	1	-1	1	-1		
p_5^0					-1		
p_6^0						1	
	m	m	m	j	j	j	(3.7)

Студентам предлагается самостоятельно проверить, что эти матрицы обратные, т.е. $C_\alpha^0 A_0^{\alpha_t} = I$. Таким образом, для заданной сети получены прямые и обратные матрицы преобразования от базиса путей свободных ветвей к базису путей связанных ветвей и обратно. При этом:

- матрица C_α^0 преобразует пути свободных ветвей в пути связанных ветвей;
- матрица $A_0^{\alpha_t}$ преобразует пути связанных ветвей в пути свободных ветвей.

Транспонированная к $A_0^{\alpha_t}$ матрица A_0^α является матрицей *прямого* преобразования базиса путей свободных ветвей в базис пути связанных ветвей *двойственной сети* \underline{C}_α^0 , которая, соответственно, имеет вид:

Помимо транспонирования, в матрице преобразования двойственной сети замкнутые и разомкнутые пути меняются местами. Эти пути показаны в

двойственной сети на рис. 3.9, кроме пути p_2 , который соединяет узлы H и F , а проходит по ветвям $+b_2$, $-b_3$ и $+b_4$.

$$C_\alpha^0 = A_0^\alpha =$$

	p_1^0	p_2^0	p_3^0	p_4^0	p_5^0	p_6^0	
p_1		-1		-1			i
p_2		1	-1	1			i
p_3				-1			i
p_4	1	1		1			m
p_5		-1	1	-1	-1		m
p_6		1	-1			1	m

Матрица инцидентий однозначно определяет конфигурацию структуры сети, граф сети. Использование матрицы инцидентий имеет практическое значение для применения тензорного метода двойственных сетей в информационно-аналитических системах управления системами логистики, в том числе управления цепями поставок. Матрица инцидентий позволяет автоматизировать процесс построения матриц преобразования путей.

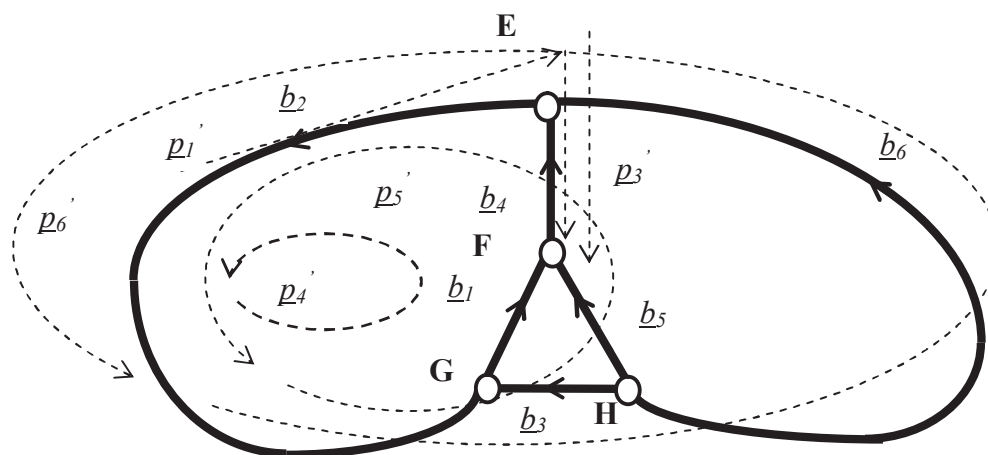


Рис. 3.9. Выбор путей в двойственной сети из 6 ветвей

Изменения структуры двойственных сетей имеют следующие особенности. При разъединении одного узла на два в одной сети происходит слияние двух узлов в двойственной сети. При связывании замкнутых свободных ветвей в сеть часть контуров размыкается, в двойственной сети соединяются разомкнутые ветви и столько же разомкнутых путей замыкается. Если в одной сети происходит разъединение узла, связывающего ветви, и контур размыкается, то в двойственной сети происходит слияние узлов тех же ветвей, а соответствующий разомкнутый путь замыкается.

При изменении структуры меняется количество замкнутых и разомкнутых путей в каждой сети, однако в двух двойственных сетях сумма замкнутых и сумма разомкнутых путей остается прежняя. Основные свойства изменения структуры двойственных сетей представлены в табл. 3.1.

Соответствие преобразования структуры двойственных сетей

	Заданная сеть	Двойственная сеть
Тип соединения ветвей	параллельное	последовательное
Ориентация ветвей	встречная	одинаковая
Преобразование структуры	слияние узлов	разделение узлов
Изменение соединений	$J' = J - 1$	$\underline{J}' = \underline{J} + 1$
• изменение замкнутых путей (контуров)	возникает контур, тогда: $m' = m + 1$	исчезает контур, тогда: $\underline{m}' = \underline{m} - 1$
• изменение разомкнутых путей	исчезает разомкнутый путь, тогда: $j' = j - 1$	возникает разомкнутый путь $\underline{j}' = \underline{j} + 1$

Таким образом, существуют следующие *инварианты двойственных сетей*, которые имеют место при любой структуре связи ветвей:

- количество ветвей в каждой сети одинаково и постоянно $n = \underline{n} = const$;
- сумма независимых контуров в двух сетях постоянна: $m + \underline{m} = n = const$;
- сумма независимых разомкнутых путей в двух сетях постоянна:
 $j + \underline{j} = n = const$;
- полное число узлов в двух сетях постоянно: $J + \underline{J} = n + 2s = const$;
- постоянна сумма модулей степеней узлов в двух сетях, которая определяет ориентацию ветвей относительно узлов: $q_\alpha + \underline{q}_\alpha = q_0 = n + \underline{n} = 2n = const$.

Первый инвариант показывает, что размерность полного пространства сети постоянна при данной группе преобразований структуры, т.е. число элементов-ветвей не меняется. Меняется только размерность подпространств замкнутых и разомкнутых путей при разделении или соединении узлов. Второй и третий инварианты показывают, что в двух двойственных сетях суммарная размерность подпространств, как замкнутых путей, так и разомкнутых путей, постоянна при любых изменениях структуры, хотя в каждой из сетей эти размерности меняются. Четвертый инвариант показывает, что в двух сетях не меняется суммарное число узлов, которые определяют структуру сетей. Пятый инвариант показывает, что ориентации в двух двойственных сетях дополняют друг друга и каждая ветвь имеет обе своих возможных ориентации.

Существует также более важный *инвариант двойственности* при изменении структуры сетей, который представляет собой новую, неизвестную ранее закономерность. Дело в том, что изменение структуры одномерной сети определяет изменение количества узлов. В теории графов предполагается, что количество узлов (вершин графа) не меняется. Изменение количества вершин приводит к изменению самого графа, поскольку он определяется *двумя инвариантами*: набором вершин и набором ветвей-ребер. Сеть определяется *одним инвариантом* – набором ветвей, а набор узлов может меняться.

Вместо набора узлов-вершин графа для сети существует другой инвариант, который сохраняет алгебраическую полноту «конструкции» этого математического объекта. Этот инвариант связывает матрицы преобразования путей в двух двойственных сетях при изменении структуры и представляет собой фундаментальную закономерность. При единичной метрике инвариант связывает «матрицы решения», или метрические тензоры двойственных сетей, которые дополняют друг друга до «целого», до единичной матрицы:

$${}^m C ({}^m C_t {}^m C)^{-1} {}^m C_t + {}^j A ({}^j A_t {}^j A)^{-1} {}^j A_t = {}^m C ({}^m C_t {}^m C)^{-1} {}^m C_t + {}^m \underline{C} ({}^m \underline{C}_t {}^m \underline{C})^{-1} {}^m \underline{C}_t = I, \quad (3.8)$$

где ${}^m C$ – матрица преобразования замкнутых путей в данной сети; ${}^m \underline{C}$ – матрица преобразования замкнутых путей в двойственной сети (или разомкнутых путей в данной сети ${}^j A$); I – единичная матрица.

В это выражение входят только матрицы преобразования, т.е. это свойство самих сетей, без весов-метрики, без потоков, процессов в сети.

Инвариант двойственности позволяет преобразовать решения при любом изменении структуры сетей (соединении, разъединении, разделении на части или соединении из частей целого). Эта закономерность связывает процессы и структуру в сетях, сетевых моделях сложных систем в их взаимодействии и взаимном изменении.

Если материальные характеристики ветвей отличаются от единичных, то их можно представить как веса (собственные и/или взаимные), выражаемые матрицей Z ($Z = Y^{-1}$). Тогда инвариант примет, например, вид:

$$(Z)^{-1} = Y = {}^m C_t ({}^m C Z {}^m C)^{-1} {}^m C + Y {}^j A_t ({}^j A Y {}^j A_t)^{-1} {}^j A Y. \quad (3.9)$$

В данном случае инвариант представляет связь формул расчета сетей.

Если на сеть наложен вектор (воздействие), то его компоненты принимают значения в базисе замкнутых (внутреннее воздействие) или разомкнутых (внешнее воздействие) путей. В таком случае инвариант – это постоянство длины вектора: часть вектора в одной сети, часть в двойственной сети, но их сумма постоянна и не зависит от изменения соединений. Для вектора ${}^m \mathbf{d}$, заданного в замкнутых путях, формула преобразования компонент при изменении структуры имеет вид:

$${}^m d_0^\alpha = {}^m d_c^\alpha + {}^m \underline{d}_c^\alpha = {}^m d^\alpha {}^m C_{\alpha'}^\alpha + {}^m \underline{d}^{\alpha'} A_{\alpha'}^\alpha Y^{\alpha\beta} = ({}^m C_{\alpha'}^\alpha)_t {}^m d^\alpha + ({}^j A_{\alpha'}^\alpha)_t Y^{\alpha\beta} {}^m \underline{d}^\beta, \quad (3.10)$$

где ${}^m d_c^\alpha$ и ${}^m \underline{d}_c^\alpha$ – компоненты вектора соответственно в данной сети и двойственной сети. Нельзя получить компоненты вектора ${}^m \mathbf{d}$ для связанной сети по их значениям в свободных ветвях, поскольку в связанных ветвях они распадаются на совокупность компонент вектора в двойственных сетях и только в сумме дают компоненты полного вектора.

Для разомкнутых путей данный инвариант имеет такой же вид, а преобразования такой же смысл, но при двойственной замене величин.

Новый инвариант позволил построить алгоритмы расчета процессов при изменении структуры сетей и сетевых моделей сложных технических, экономических систем единым методом. С точки зрения физики данный инвариант является проявлением закона сохранения потока энергии и измеряется, как мощность, энергия, в единицу времени.

Эту матрицу надо слева и справа умножить на исходную матрицу преобразования путей ${}^m C_\alpha^0$. Тогда по формуле (3.8) получим:

$${}^m C_t ({}^m C^m C_t)^{-1} = \begin{array}{c} 1' \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline \end{array} \quad 1' \begin{array}{|c|} \hline 1/3 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{c} 1' \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 1/3 \\ \hline 2 & 1/3 \\ \hline 3 & 1/3 \\ \hline \end{array}$$

Затем умножим результат справа на ${}^m C$, получим первое слагаемое – квадратную матрицу. Порядок этой матрицы равен размерности пространства сети, т.е. числу ветвей:

$${}^m C_t ({}^m C^m C_t)^{-1} {}^m C = \begin{array}{c} 1' \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 1/3 \\ \hline 1/3 \\ \hline 1/3 \\ \hline \end{array} \times 1' \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline \end{array} \quad (3.12)$$

Вычислим второе слагаемое в (3.8) для двойственной сети. Произведение в скобках матриц для этого слагаемого имеет вид:

$${}^m \underline{C}^m \underline{C}_t = \begin{array}{c} \underline{2}' \\ \underline{3}' \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline \underline{1} & \underline{2} & \underline{3} \\ \hline -1 & 1 & \\ \hline -1 & & 1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{c} m \\ m \end{array} \times \begin{array}{c} \underline{2}' \\ \underline{3}' \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline -1 & -1 \\ \hline 1 & \\ \hline & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{c} \underline{2}' \\ \underline{3}' \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline 2 & 1 \\ \hline 1 & 2 \\ \hline \end{array}$$

Обратная матрица к этой матрице имеет вид:

$$({}^m \underline{C}^m \underline{C}_t)^{-1} = \begin{array}{c} \underline{2}' \\ \underline{3}' \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline 2/3 & -1/3 \\ \hline -1/3 & 2/3 \\ \hline \end{array}$$

ее надо слева и справа умножить на исходную матрицу ${}^m \underline{C}_\alpha^0$. Тогда в соответствии с соотношением (3.8):

$${}^m \underline{C}_t ({}^m \underline{C}^m \underline{C}_t)^{-1} = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline -1 & -1 \\ \hline 1 & \\ \hline & 1 \\ \hline \end{array} \begin{array}{c} \underline{2}' \\ \underline{3}' \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline 2/3 & -1/3 \\ \hline -1/3 & 2/3 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline -1/3 & -1/3 \\ \hline 2/3 & -1/3 \\ \hline -1/3 & 2/3 \\ \hline \end{array}$$

умножая полученное выражение справа на ${}^m \underline{C}$, получим второе слагаемое. Это слагаемое также представляет собой квадратную матрицу, с порядком, равным размерности пространства двойственной сети: ${}^m \underline{C}_t ({}^m \underline{C}^m \underline{C}_t)^{-1} {}^m \underline{C} =$

$$= \begin{array}{c} \underline{2}' \\ \underline{3}' \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline -1 & -1 \\ \hline 2 & -1 \\ \hline -1 & 2 \\ \hline \end{array} \frac{1}{3} \times \begin{array}{c} \underline{2}' \\ \underline{3}' \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline \underline{1} & \underline{2} & \underline{3} \\ \hline -1 & 1 & \\ \hline -1 & & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 2 & -1 \\ \hline -1 & -1 & 2 \\ \hline \end{array} \frac{1}{3} \quad (3.13)$$

Суммируя слагаемые, как показано в (3.8), получим единичную матрицу:

$$\begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{c} \underline{1}' \\ \underline{2}' \\ \underline{3}' \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2/3 & -1/3 & -1/3 \\ \hline -1/3 & 2/3 & -1/3 \\ \hline -1/3 & -1/3 & 2/3 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & & \\ \hline & 1 & \\ \hline & & 1 \\ \hline \end{array}$$

Полученный результат наглядно показывает выполнение инварианта двойственности для сетей на рис. 3.11. Очевидно, что если взять матрицу ${}^j A_0^\alpha$ и выполнить те же расчеты по аналогичной формуле, то результат не изменится. Важно то, что закономерность, представленная в соотношении (3.8), связывает параметры подпространств сетей с переменной размерностью, связывает матрицы преобразования, число строк и столбцов в которых меняется при изменении соединения ветвей.

3.3.3. Расчет сетей тензорным методом

Матрицы (3.12) и (3.13), полученные выше в примере, как раз и представляют собой матрицы решений данных сетей. Т.е. если задать вектор источников напряжения в ветвях, то умножая на него матрицу решения, сразу получим отклики – токи в ветвях связанной сети. Эти токи и соответствующие им напряжения на ветвях удовлетворяют законам Кирхгофа, т.е. являются решением сети. Покажем это, взяв в качестве вектора воздействия источники напряжения.

Это источники воздействия внутри сети. Зададим вектор \mathbf{e} в контурах (замкнутых путях) свободных ветвей компонентами ${}^m e_\alpha$, например, в виде:

$${}^m e_\alpha = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 \\ \hline 2 & & 1 & 3 \\ \hline \end{array} \quad (3.14)$$

Заметим, что в простейшей сети из свободных ветвей отклики-токи и напряжения на каждой ветви численно равны ${}^m e_\alpha^0 = {}^m i_0^\alpha$, т.е.:

$${}^m i_0^\alpha = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 \\ \hline 2 & & 1 & 3 \\ \hline \end{array}$$

Мощность, рассеиваемая в сети свободных ветвей,

$${}^m P_0 = {}^m e_\alpha^0 {}^m i_0^\alpha = 2 \times 2 + 1 \times 1 + 3 \times 3 = 14.$$

Используя полученные матрицы решения (3.12) и (3.13), рассчитаем для заданных источников отклики на ветвях данной сети и двойственной сети.

Получим токи в ветвях ${}^m i_c^\alpha$ и численно равные им напряжения на ветвях ${}^m e_c^\alpha$ связанной сети (поскольку метрика, в данном случае – сопротивления ветвей, равны единицам). Значения токов в ветвях для заданной сети:

$${}^m i_c^\alpha = {}^m C_t ({}^m C {}^m C_t)^{-1} {}^m C {}^m e_\alpha = \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 2 \\ \hline 3 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline & 1 & 2 & 3 \\ \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 2 \\ \hline 3 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline 2 \\ \hline 2 \\ \hline 2 \\ \hline \end{array} \quad (3.15)$$

Такие же значения имеют напряжения ${}^m e_c^\alpha = {}^m i_c^\alpha$. Мощность, рассеиваемая в сети, вычисляется по формуле

$${}^m P_c = {}^m e_c^\alpha {}^m i_c^\alpha = 2 \times 2 + 2 \times 2 + 2 \times 2 = 12.$$

Для двойственной сети также получим токи в ветвях и численно равные им напряжения на ветвях связанной сети (поскольку метрика, в данном случае – сопротивления ветвей, равны единицам). Значения в ветвях двойственной сети:

$${}^m \underline{t}_\alpha = {}^m \underline{C}_t ({}^m \underline{C} {}^m \underline{C}_t)^{-1} {}^m \underline{C} {}^m e_\alpha = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 2/3 & -1/3 & -1/3 \\ -1/3 & 2/3 & -1/3 \\ -1/3 & -1/3 & 2/3 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1' \\ 2' \\ 3' \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1' \\ 2' \\ 3' \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.16)$$

Такие же значения имеют напряжения ${}^m \underline{e}_\alpha = {}^m \underline{i}_c^\alpha$. Мощность, рассеиваемая в двойственной сети, вычисляется по формуле

$${}^m P_c = {}^m \underline{e}_\alpha {}^m \underline{i}_c^\alpha = 0 \times 0 + (-1) \times (-1) + 1 \times 1 = 2.$$

Инвариант двойственности, в данном случае при наличии воздействий и откликов, т.е. процессов в сети (или сетевой модели сложной системы логистики), выполняется как постоянство суммарной мощности в данной и двойственной сети, т.е.:

$${}^m P_c + {}^m \underline{P}_c = 12 + 2 = 14 + 0 = {}^m P_0 + {}^m \underline{P}_0.$$

Студентам предлагается самостоятельно показать, что мощность ${}^m \underline{P}_0$ в замкнутых путях двойственной сети из свободных ветвей в данном примере равна нулю. Постоянство суммарной мощности в двойственных сетях при изменении структуры является проявлением закона сохранения потока энергии, численно выраженного мощностью.

Этот новый закон сохранения является не чисто физическим, как законы сохранения массы, импульса, момента импульса, энергии, а *физико-структурным*, поскольку связывает не только физическое явление потока энергии, но и структуру связей ветвей, т.е. элементов системы. Структура связей в системе относится не к области физики, а скорее к информации о системе. Впрочем, природа не знает, что люди разделили ее на разные науки...

Необходимо провести проверку полученного решения. В сети, в данном случае в электрической цепи, проверяется выполнение законов Кирхгофа для токов в узлах и напряжений в контурах, т.е. баланс, или сохранение *физических* величин в *структурных* элементах сети. Запишем найденные значения токов и напряжений на ветвях, т.е. величин, которые можно измерить. Отклики, как и источники воздействия, т.е. напряжения, показаны на рис. 3.11.

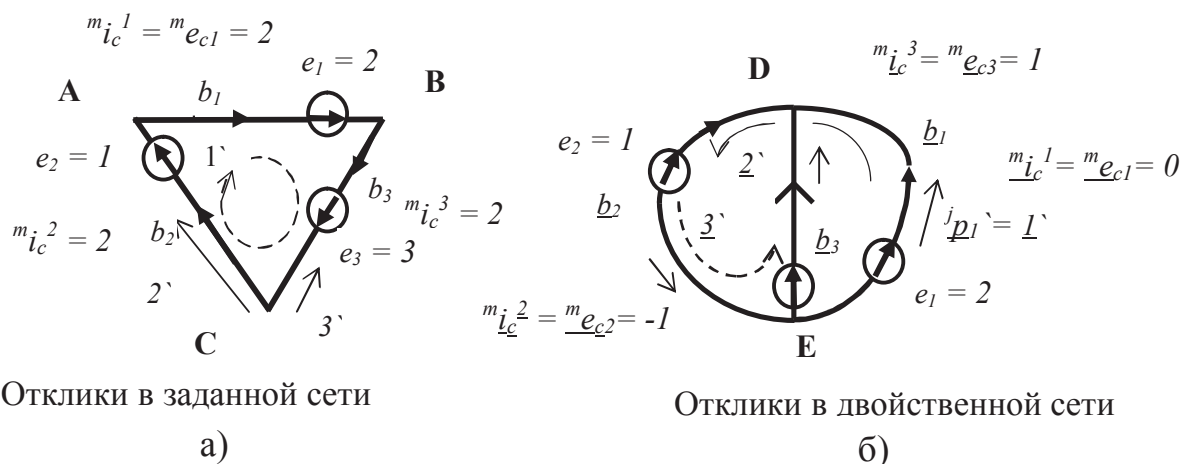


Рис. 3.11. Результаты расчета заданной и двойственной сетей

Проведем проверку в данной сети. Закон Кирхгофа для токов: сумма токов, входящих в узел и выходящих из узла, равна нулю.

$$\text{Узел А: } {}^m i_c^2 - {}^m i_c^1 = 2 - 2 = 0.$$

$$\text{Узел В: } {}^m i_c^1 - {}^m i_c^3 = 2 - 2 = 0.$$

$$\text{Узел С: } {}^m i_c^3 - {}^m i_c^2 = 2 - 2 = 0.$$

Закон Кирхгофа для напряжений: сумма напряжений на ветвях и источников напряжения в контуре равна нулю.

$$\text{Контур 1: } {}^m e_{c1} + {}^m e_{c2} + {}^m e_{c3} = 2 + 2 + 2 = 6 = e_1 + e_2 + e_3 = 2 + 1 + 3.$$

Проверка показала, что расчеты выполнены правильно.

Проведем проверку в двойственной сети. Закон Кирхгофа для токов: сумма токов, входящих в узел и выходящих из узла, равна нулю.

$$\text{Узел D: } {}^m i_c^1 + {}^m i_c^2 + {}^m i_c^3 = 0 - 1 + 1 = 0.$$

$$\text{Узел E: } -{}^m i_c^1 - {}^m i_c^3 - {}^m i_c^1 = 0 + 1 - 1 = 0.$$

Закон Кирхгофа для напряжений: сумма напряжений на ветвях и источников напряжения в контуре равна нулю.

$$\text{Контур 2: } {}^m e_{c1} - {}^m e_{c2} + e_1 - e_2 = 0 - 1 + 2 - 1 = 0.$$

$$\text{Контур 3: } -{}^m e_{c2} + {}^m e_{c3} - e_2 + e_3 = -1 - 1 - 1 + 3 = 0.$$

Проверка показала, что расчеты также выполнены правильно.

Рассмотрим физический смысл каждого этапа преобразований величин сети, которые были произведены при расчете приведенного примера.

В соответствии с соотношением (3.10) получили, что вектор потока энергии в сети (электрической цепи) разделяется на две составляющие – в данной сети и двойственной сети. Эти составляющие меняются в зависимости от изменения структуры сетей, но их сумма постоянная.

Используя соотношение (3.10), можно записать для одной из двух, например, данной сети, что компоненты вектора в связанной сети ${}^m d_c^\alpha$ вычисляются по компонентам вектора ${}^m d_\beta^0$ в свободных замкнутых ветвях так:

$${}^m d_c^\alpha = {}^m C_{\alpha'}^\alpha ({}^m C_{\alpha'}^\alpha Z_{\alpha\beta} {}^m C_{\beta\gamma}^\beta)^{-1} {}^m C_{\beta\gamma}^\beta {}^m d_\beta^0 = Y_c {}^m d_\beta^0, \quad (3.17)$$

где через ${}^m C_{\alpha'}^\alpha$ обозначена прямоугольная матрица преобразования, а через Y_c – матрица решения в случае произвольного вектора, заданного в замкнутых путях:

$$Y_c = {}^m C_{\alpha'}^\alpha ({}^m C_{\alpha'}^\alpha Z_{\alpha\beta} {}^m C_{\beta\gamma}^\beta)^{-1} {}^m C_{\beta\gamma}^\beta. \quad (3.18)$$

При расчете компонент вектора в связанной сети по формуле (3.17) необходимо выполнить ряд действий, которые состоят в перемножении и обращении матриц, умножении матрицы на вектор и каждое из которых соответствует одному из этапов перехода от сети свободных ветвей к сети связанных ветвей. Каждый из этих этапов есть преобразование определенного геометрического объекта.

Например, для формулы (3.11) имеем пять этапов решения задачи сети по преобразованию ковариантных компонент ${}^m d_\beta^0$ вектора ${}^m \mathbf{d}$ в свободных ветвях,

имеющих параметры, заданные метрическим тензором $Z_{\alpha\beta}$, в контравариантные компоненты ${}^m d_c^\alpha$ в связанных ветвях:

1. ${}^m d_\beta = {}^m C_\beta^\beta {}^m d_\beta^0$ – это ковариантные компоненты вектора ${}^m \mathbf{d}$ в базисных контурах связанных ветвей;
2. $Z_{\alpha\beta} = {}^m C_\alpha^\alpha Z_{\alpha\beta} {}^m C_\beta^\beta$ – метрический тензор связанной сети, который представляет собственные и взаимные метрические параметры базисных контуров связанных ветвей;
3. $Y^{\alpha\beta} = (Z_{\alpha\beta})^{-1} = ({}^m C_\alpha^\alpha Z_{\alpha\beta} {}^m C_\beta^\beta)^{-1}$ – обратный метрический тензор для базисных контуров связанной сети;
4. ${}^m d^\alpha = Y^{\alpha\beta} {}^m d_\beta = ({}^m C_\alpha^\alpha Z_{\alpha\beta} {}^m C_\beta^\beta)^{-1} {}^m C_\beta^\beta {}^m d_\beta$ – контравариантные компоненты вектора ${}^m \mathbf{d}$ в базисных контурах связанных ветвей;
5. ${}^m d_c^\alpha = {}^m C_\alpha^\alpha {}^m d^\alpha$ – контравариантные компоненты вектора ${}^m \mathbf{d}$ в каждой из ветвей связанной сети, т.е. это измеримые величины, представляющие решение задачи.

Эти пять этапов выполняются при расчете сети с любыми вариантами задания исходных параметров и формулами расчета компонент заданного вектора, данными в (3.17).

Для двойственной сети формулы расчета компонент вектора и матриц решения получаются двойственной заменой всех понятий. Фактически это приводит к тому, что формулы расчета для данной сети просто меняются местами. Например, в соответствии с (3.18) получим:

$$\begin{aligned} {}^m d_c^\alpha &= {}^m C_\alpha^\alpha {}^m d^\alpha = ({}^m C_\alpha^\alpha Z_{\alpha\beta} {}^m C_\beta^\beta)^{-1} {}^m C_\beta^\beta {}^m d_\beta^0 = \underline{Y}_c {}^m d_\beta^0 = \\ &= Z_c {}^m d_\beta^0 = Y Z_c Y {}^m d_\beta^0 = Y^{\alpha\beta} j A_\alpha^\alpha (j A_\alpha^\alpha Y^{\alpha\beta} j A_\beta^\beta)^{-1} j A_\beta^\beta Y^{\alpha\beta} {}^m d_\beta^0, \end{aligned} \quad (3.20)$$

где через \underline{Y}_c обозначена матрица решения для произвольного вектора, заданного в контурах двойственной сети, которая представлена в (3.9).

Формулы изменения (преобразования) матриц решения при уменьшении и увеличении числа узлов в сети для расчета двойственных сетей представлены в табл. 3.2, где даны все варианты расчета процессов в сетях с переменной структурой при изменении связей, включая декомпозицию и расчет по частям.

Таблица 3.2

Формулы расчета матриц решения при изменении структуры сети

ДАННАЯ СЕТЬ		ДВОЙСТВЕННАЯ СЕТЬ	
Уменьшение числа узлов (наложение связей)		Увеличение числа узлов (разрывание связей)	
Для замкнутых путей			
Матрица решения при росте числа контуров	$Y_c^{2+} = Y_c^1 + \Delta Y_c$	$\underline{Y}_c^{2-} = \underline{Y}_c^1 - \Delta Z_c$	Матрица решения при уменьшении числа контуров
Для разомкнутых путей			
Матрица решения при уменьшении числа j-путей	$Z_c^{2+} = Z_c^1 - \Delta Z_c =$ $= Z_c^1 - Z \Delta Y_c Z$	$\underline{Z}_c^{2-} = \underline{Z}_c^1 + \Delta Y_c =$ $\underline{Z}_c^1 + Z \Delta Z_c Z$	Матрица решения при увеличении числа j-путей
Увеличение числа узлов (разрывание связей)		Уменьшение числа узлов (наложение связей)	
Для замкнутых путей			
Матрица решения при снижении числа контуров	$Y_c^{2-} = Y_c^1 - \Delta Z_c =$ $= Y_c^1 - Y \Delta Y_c Y$	$\underline{Y}_c^{2+} = \underline{Y}_c^1 + \Delta Y_c$	Матрица решения при увеличении числа контуров
Для разомкнутых путей			
Матрица решения при увеличении числа j-путей	$Z_c^{2-} = Z_c^1 + \Delta Y_c =$ $= Z_c^1 + Y \Delta Z_c Y$	$\underline{Z}_c^{2+} = \underline{Z}_c^1 - \Delta Z_c =$ $\underline{Z}_c^1 - Z \Delta Y_c Z$	Матрица решения при уменьшении числа j-путей

Матрицы изменения решений в каждом случае обладают симметричной двойственностью и представлены в соотношениях (3.21–3.24):

$$\Delta Y_c = Y \Delta Z_c Y = (I - Y_c^l Z) \Delta C_t [\Delta C Z (I - Y_c^l Z) \Delta C_t]^{-1} \Delta C (I - Z Y_c^l), \quad (3.21)$$

$$\Delta Z_c = Z \Delta Y_c Z = Z_c^l \Delta C_t (\Delta C Z_c^l \Delta C_t)^{-1} \Delta C Z_c^l. \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \Delta \underline{Y}_c &= \underline{Y} \Delta \underline{Z}_c \underline{Y} = (I - \underline{Y}_c^l \underline{Z}) \Delta \underline{C}_t [\Delta \underline{C} \underline{Z} (I - \underline{Y}_c^l \underline{Z}) \Delta \underline{C}_t]^{-1} \Delta \underline{C} (I - \underline{Z} \underline{Y}_c^l) = \\ &= (I - Z_c^l Y) \Delta A_t [\Delta A Y (I - Z_c^l Y) \Delta A_t]^{-1} \Delta A (I - Y Z_c^l), \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$\Delta \underline{Z}_c = \underline{Y} \Delta \underline{Y}_c \underline{Y} = \underline{Z}_c^l \Delta \underline{C}_t (\Delta \underline{C} \underline{Z}_c^l \Delta \underline{C}_t)^{-1} \Delta \underline{C} \underline{Z}_c^l = Y_c^l \Delta A_t (\Delta A Y_c^l \Delta A_t)^{-1} \Delta A Y_c^l. \quad (3.24)$$

3.4. Сетевые модели в информационной логистике

Проблема моделирования технических, физических, экономических систем сетями состоит в том, что не существует общего метода установления аналогий одновременно как структуры, так и уравнений поведения. Двойственные сети позволяют решить эту проблему благодаря соединению процессов и структуры в едином описании. Процесс установления аналогий между системой и сетевой моделью требует творческого воображения и не может быть полностью автоматизирован. В этой части тензорная методология остается скорее искусством, чем наукой. Создание математической модели в любой области всегда было творчеством, которое требовало воображения и определенной фантазии. Есть легенда, что Гаусс сказал про Гете: «Он стал поэтом. Для математики у него не хватало воображения».

3.4.1. Аналогии сетей и моделируемых систем

Возможность применения тензорного метода для моделирования систем логистики, техники, экономики обеспечивают *анalogии*, которые существуют для уравнений поведения систем разных предметных областей. Аналогии позволяют исследовать различные по своей природе системы единым методом. Математические основы обеспечивают двойственные сети, обладающие тензорными свойствами, связывая описание процессов и структуры.

Рассмотрим технологию применения тензорной методологии для создания сетевых моделей систем разных предметных областей. Такие модели позволяют проводить расчет, анализ, управление поведением систем при изменении структуры и процессов единым методом двойственных сетей. Данная технология включает в себя следующие этапы:

- установление и анализ аналогий между предметной областью и сетью, включая анализ размерности элементов сети;
- определение источников информации и формирование баз данных, которые обеспечивают описание поведения исследуемой системы;
- приведение уравнений поведения исследуемой системы к тензорному виду по отношению к изменению ее структуры;
- построение сетевой модели, т.е. соответствия между величинами и структурой исследуемой системы и параметрами и структурой сети;

- расчет сетевой модели и анализ полученных результатов для различных вариантов изменения воздействий и вариантов структуры связей;
- применение результатов к исследуемой системе – анализ состояния, прогнозирование поведения, выработка управляющих воздействий;
- формирование критериев, которым должна соответствовать система и применение сетевой модели для синтеза вариантов структуры, которая обеспечит выполнение этих критериев.

Технические, логистические и экономические системы похожи в том, что в них через соединенные элементы проходят потоки материи, энергии, информации. Совокупность связей элементов составляет структуру системы. Преобразование потоков энергии, информации составляет суть процессов в системе. При математическом моделировании процессы должны быть представлены только в терминах измеримых величин, применение которых дает возможность экспериментально проверить результаты [29].

Аналогии существуют между параметрами процессов (измеримыми величинами), параметрами структуры в различных технических и экономических системах. По своей сути аналогии отражают фундаментальное единство природы процессов и структуры, присущее внешне различным системам. Такие аналогии обеспечивают сопоставление процессов и структуры систем разных предметных областей с векторами и структурой двойственных сетей. Это позволяет создавать сетевые модели, в которых одновременно представлены и процессы, и структура сложных систем.

Следует различать систему как совокупность элементов и процессы, потоки, которые протекают в системе. Системы не возбуждены (мертвы), пока на них не оказано воздействие. Не возбужденная система в промышленности – это, например, производства, структура которых составляет технологические цепочки. В топливной энергетике это сети добычи, транспортировки, переработки энергоносителей. В электроэнергетике – генераторы мощности, трансформаторные системы, сети передачи, системы преобразования электроэнергии для нужд потребления и т.д. В отсутствие воздействия, в отсутствие каких-либо потоков элементы таких систем, соединенных между собой материально или информационно, принято называть инфраструктурой.

Вот произведен, например, пуск гидроэлектростанции – и падающая вода начинает вращать турбины, которые вырабатывают ток в генераторах. Подключаются системы трансформаторов и передачи энергии – потоки электрической энергии распространяются по проводам высоковольтных линий, преобразуются, в домах загорается свет, в результате потоки лучистой энергии и тепла рассеиваются в пространстве. Или другой пример. Производство готово к пуску. Подводят энергию, подвозят сырье, материалы, комплектующие, денежные ресурсы (оборотные средства), расставляют работников на рабочие места, дают сигнал – машины и механизмы начинают работать; через определенный промежуток времени с конвейера сходят автомобили, самолеты, холодильники, химические удобрения и т.д. Или бурят скважины, создают напор, открывают заслонки – и нефть, газ, начинают поступать из глубин,

наполняют хранилища, попадают в производства очистки, далее в сети трубопроводов, по которым поступают на нефтепереработку и производство готовой продукции топливной и нефтехимической промышленности.

Так системы мертвой инфраструктуры оживают, и через них начинают распространяться потоки энергии. В каждом случае есть воздействие – подача напряжения, напора воды в плотине, пластовое или нагнетательное давление в месторождении. И есть отклики в виде потока продуктов, потока энергии по сетевой структуре сложных технических или экономических систем. Потоки энергии, которые распространяются через возбужденные системы, могут меняться. Причинами может быть изменение состояния системы или изменение процессов (потоков энергии, информации), которые приводят систему в «живое», возбужденное состояние. Потоки денежных средств распространяются в двойственной сети финансовой системы платежей и кредитов [4, 5, 17].

3.4.2. Аналогии воздействий и откликов сетей и моделируемых систем

Виды воздействия и отклика в элементах связаны со структурой. Здесь отметим различие так называемых *продольных* и *поперечных* величин. В любых системах величины воздействия и отклика по способу их измерения делятся на два типа (этому соответствуют открытые и замкнутые системы):

- величины, которые измеряют в одной точке (например, электрический ток в ветви, сила, приложенная к точке) – продольные величины;
- величины, которые измеряют как разность значений в двух пространственно различных точках (например, электрическое напряжение измеряют как разность потенциалов между эквипотенциальными поверхностями или скорость, измеряемая как разность между положениями тела в единицу времени) – поперечные величины.

Произведение воздействия и отклика в любых предметных областях по физической размерности соответствует *потоку энергии* (измеряется мощностью). Воздействие и отклик, составляющие вектор потока энергии, всегда представлены парой: продольной величиной и поперечной величиной.

Физико-геометрический смысл таких двойственных пар определяется природой потока энергии как объема, движущегося в определенном направлении. Продольная величина измеряет составляющую потока в направлении движения – например, поток жидкости или электрический ток. Поперечная величина измеряет составляющую потока по сечению, перпендикулярному (ортогональному) направлению движения. Такая парность характеристик потока (энергии, информации) определяется наличием трех измерений наблюдаемого пространства. Поперечную величину определяют как разность значений на поверхностях, ортогональных направлению движения потока и отстоящих на единицу расстояния. Таким образом, поперечная величина соответствует *двум измерениям*. Это означает, что одномерное измерение продольной величины вдоль линии, умноженное на двумерное измерение поперечной величины, соответствует объемному (трехмерному) течению потока, в данном случае – потока энергии.

Открытые системы и замкнутые системы. Физические величины воздействий и откликов, характеризующие потоки энергии, по типу измерения (продольные и поперечные) для открытых и замкнутых систем меняются местами. Базисом для процессов в открытой системе являются разомкнутые пути. Базисом для процессов в замкнутой системе являются контуры. Отношения между этими понятиями представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3
Воздействия и отклики в открытых и замкнутых системах

Тип системы	Воздействие	Отклик
Закрытая система, базис определяют замкнутые пути	Поперечная величина	Продольная величина
Открытая система, базис определяют разомкнутые пути	Продольная величина	Поперечная величина

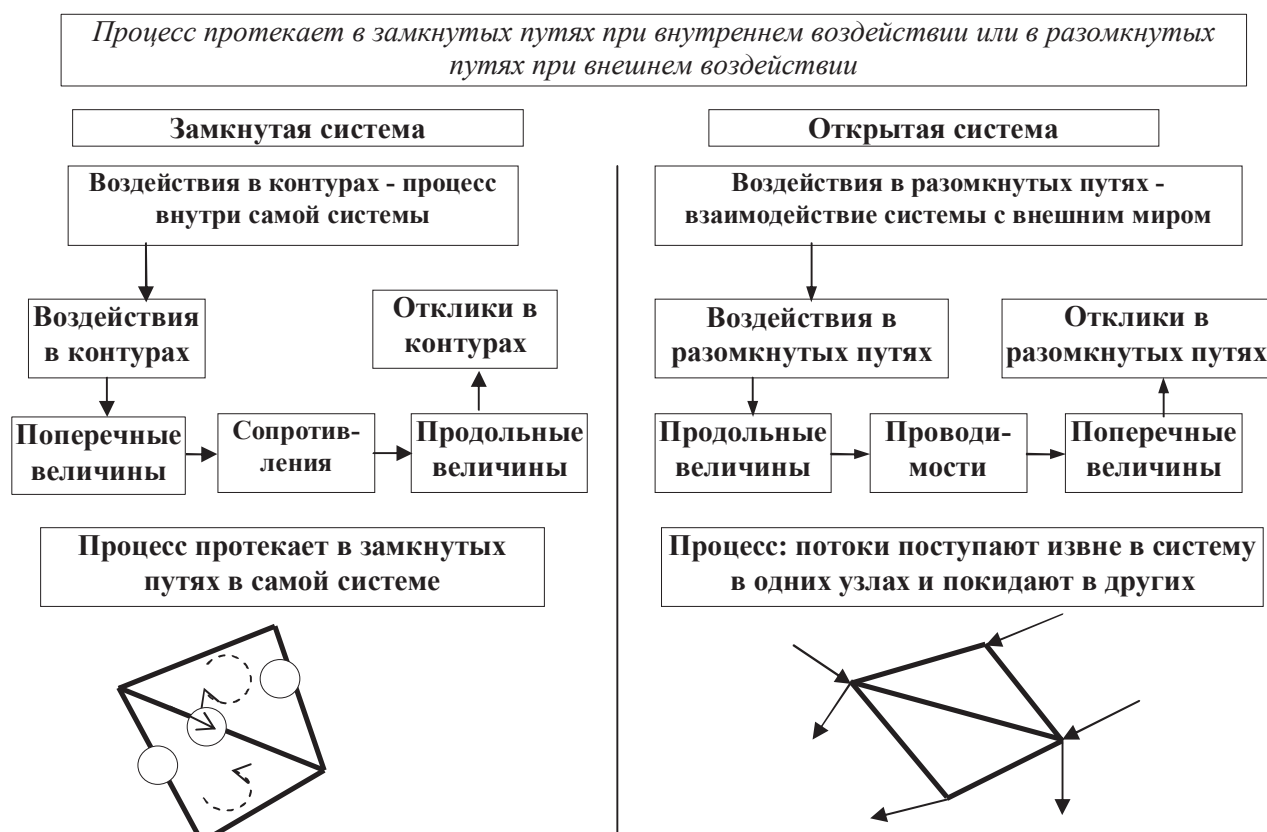
Продольные и поперечные величины в описании процессов в системах могут играть роль как воздействий, так и откликов, но содержание этой роли зависит от структуры связей элементов системы, по которой распространяются и преобразуются потоки энергии. Произведение продольной и поперечной величин по физической размерности равно мощности (характеризует поток энергии в единицу времени). Геометрическая размерность произведения продольной и поперечной величин соответствует полному объему пространства.

Например, для электрической цепи. Источники напряжения (поперечная величина) расположены в ветвях самой цепи, являются внутренними воздействиями. Отклики, токи (продольная величина) возникают в контурах, т.е. в замкнутых путях. Этому соответствует *контурный метод расчета*. Проводим расчет контурных токов (в базисных контурах), по ним – токи в ветвях и падения напряжения на ветвях. Токи и напряжения на ветвях в совокупности составляют решение задачи, описывают процесс – поток электрической энергии в цепи, как замкнутой системы.

Источники тока (продольная величина) являются внешними воздействиями, они расположены вне цепи и действуют через узлы входа и выхода. Отклики, напряжения (поперечная величина) возникают на парах узлов, т.е. в разомкнутых путях. Этому виду воздействия соответствует *узловой метод расчета*. Независимые, базисные пары узлов соответствуют разомкнутым (открытым) путям базиса. Проводим расчет напряжений между узлами (начало и конец разомкнутого пути), по ним – измеримые значения напряжений на ветвях и токов в ветвях. Напряжения и токи на ветвях в совокупности составляют решение задачи, описывают процесс – поток электрической энергии в цепи.

Продольные и поперечные величины в этом отношении представляют компоненты вектора потока энергии в системах координат *прямого базиса* (вдоль линий координат) и *взаимного базиса* (на векторах, которые касательные к гиперплоскостям, которые ортогональны к линиям координат). Электрическое напряжение измеряют как разность потенциалов между поверхностями, ортогональными проводнику с током. Произведение тока и напряжения равно мощности в электрической цепи (мощности источников или мощности, рассеиваемой на сопротивлениях ветвей цепи).

Эти отношения между открытыми и замкнутыми сетями, внешними и внутренними воздействиями и откликами, продольными и поперечными величинами, замкнутыми (контуры) и открытыми путями как базисами координат в пространстве сети – представлены на рис. 3.12.



Сетевая модель сложной системы: процессы и структура двойственных сетей

Рис. 3.12. Двойственность замкнутых и открытых сложных систем

Существуют различные системы размерностей физических величин, в которых все известные величины выражаются через ряд величин, принятых за основные величины. Это позволяет сопоставлять физические величины, которые относятся к разным предметным областям, с помощью анализа размерностей и является основой для установления аналогий между системами разных предметных областей и сетевыми моделями.

Технология применения тензорного метода расчета сложных систем представлена на рис. 3.13 и осуществляется по следующему алгоритму:

- Определить класс исследуемой системы.
- Привести уравнения поведения системы к тензорному виду, используя отношения между потоками и проверяя линейность преобразования величин при изменении координат.
- Установить соответствие между величинами (продольными и поперечными) системы, ее материальными (метрическими) характеристиками и параметрами сети для построения модели. Анализ – все ли понятия сети использованы в модели. Если да, то идем дальше.
- Если нет (в задаче баланса напряжения не имели экономической аналогии), то определить наличие понятий, которые не попали в постановку задачи. Пополнить исходное представление новыми понятиями и сопоставить с моделью.

- Если понятий сети недостаточно для представления системы, то модель не построена, надо выбрать для моделирования эталонную сеть другого класса.
- Для сетевой модели разработаны алгоритмы расчета, в том числе по частям. Программы используются для тестов и проверки на соответствие результатов расчета реальным данным из предметной области.
- Если модель показала адекватность предметной области, то производятся расчеты на реальных данных, (базы данных растут в динамике, пополняются) для получения практических результатов для сети с разными структурами, в том числе по частям.



Рис. 3.13. Технология расчета сложных систем тензорным методом

Данный алгоритм позволяет представить системы разных предметных областей сетевыми моделями. Структура связей представлена ветвями и узлами сети, а выбор путей образует системы координат. Процессы представляют компоненты векторов, наложенных на сеть, причем ковариантные и контравариантные компоненты (продольные и поперечные величины) представляют воздействия и отклики, например токи и напряжения. В зависимости от внешнего или внутреннего воздействия на систему ковариантные и контравариантные величины меняются местами в качестве воздействий и откликов.

Величину, масштаб процесса представляет вектор потока энергии, численно выраженный мощностью. Здесь возникает двойственность, появляется необходимость рассматривать сети с двойственной структурой. Например, логистическую сеть материальных потоков и двойственную сеть потоков денежных средств, которые сопровождают сети потоков передачи информации.

Процессы, протекающие в системе, описывают с помощью уравнений поведения. Эти уравнения выражают значения откликов в элементах системы через приложенные воздействия и характеристики материи (метрики) самих элементов. Отклики меняются в зависимости от изменения воздействий и характеристик материи элементов.

Структура системы представляет собой взаимное расположение, соединение элементов. Отклики меняются в зависимости от изменения структуры.

Таким образом, состояние системы может меняться:

- при изменении количества и состава элементов,
- при изменении материальных характеристик (метрики) элементов,
- при изменении структуры связей элементов, например:
 - соединение системы из элементов или разделение системы на элементы;
 - изменение соединений в связанной системе;
 - разделение связанной системы на подсистемы или соединение системы из подсистем.
- при изменении значений и точек приложения воздействий, а также их вида (внешние или внутренние).

Рассмотренный в данном разделе метод создания сетевых моделей систем логистики, вместе с расчетом систем с переменной структурой, составляет обобщенный метод диакоптики, который первоначально, но в более ограниченном виде, без применения двойственных сетей разрабатывал Г.Крон в 40-60-е гг. [30, 31].

При математическом моделировании структуры систем, включая информационные системы, конфигурацию и связи элементов в сложной системе представляют симплексы, комплексы, замкнутые и разомкнутые пути. Различные подходы к моделированию представляют: теория графов [32], теория сетей (*Форд, Фалкерсон. Поток в сетях, 1966*), графы связей (*Physical structure...*, 1974) и ряд других. Самостоятельное направление представляют мографы, характеристический анализ в работах школы В.А. Горбатова. Обобщенный анализ процессов и структуры систем обеспечивает применение сетевых моделей разных подходов и направлений, которые взаимно дополняют друг друга и расширяют возможности создания систем информационной логистики.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Список экзаменационных вопросов и заданий по дисциплине

1. Дайте определение терминов «логистика», «информационная логистика».
2. Роль информации в логистике.
3. Перечислите основные задачи информационной логистики.
4. Цель логистики и шесть условий достижения цели логистики.
5. Определите функции информационной логистики.
6. Определите, что такое логистическая цепь.
7. Что такое интегрированные цепи поставок?
8. Что такое логистическая информационная система (ЛИС)?
9. Виды информационных потоков в логистических системах.
10. Функции и подсистемы ЛИС.
11. Дать определение логистического потока, перечислить его параметры.
12. Функциональные области логистики, их информационные особенности.
13. Назовите субъектов принятия решений в логистике.
14. Технический прогресс в средствах связи и информатики для логистики.
15. Что такое «безбумажная» технология при транспортировке груза?
16. Виды информационных систем на микроуровне.
17. Принципы построения ЛИС.
18. Информационно-техническое обеспечение ЛИС.
19. Виды логистических информационных систем.
20. Организация электронного документооборота ЛИС предприятия.
21. Структура автоматизации проектирования ЛИС.
22. Что такое управление цепями поставок (УЦП)?
23. Общие принципы УЦП.
24. Технические средства контроля УЦП.
25. Применение ЛИС в горнодобывающей промышленности.
26. Примеры систем УЦП при добыче полезных ископаемых.
27. Информационные потоки добычного комплекса.
28. Примеры систем УЦП на транспорте.
29. Системы планирования ресурсов МРП, их отличие от УЦП.
30. Состав информационного обеспечения бизнес-процессов ЛИС.
31. Принципы и примеры моделирования функциональной структуры ЛИС.
32. Автоматизация ЛИС на основе функциональных диаграмм.
33. Модель организации бизнес-процессов «прямая поставка».
34. Что такое информационное обеспечение ЛИС?
35. Что такое лингвистическое обеспечение ЛИС?
36. Автоматизированное проектирование ЛИС на основе CALS-технологии.
37. Моделирование процессов информационной логистики.
38. Реализация информационной системы.
39. Сетевые методы проектирования систем информационной логистики.

40. Почему необходимо рассматривать процессы и структуру систем?
41. Процессы как потоки в элементах систем.
42. Основные отличия сетей и графов, их характеристики.
43. Свойства двойственности ветвей, примеры двойственности в науке.
44. Инварианты сети и двойственные сети.
45. Что представляет собой структура системы? преобразования путей?
46. Виды путей, матрицы преобразования путей.
47. Сетевая модель системы потоков поставок, инвариант двойственности.
48. Функции ЛИС в снабжении, производстве, распределении продукции.
49. Сетевые модели в информационной логистике.
50. Аналогии сетей и моделируемых систем информационной логистики.
51. Аналогии воздействий и откликов сетей и моделируемых систем.

Список литературы

1. Неруш Ю. М. Логистика: Учебник. – М.: Проспект, 2008. – 520 с.
2. Гайдаенко О. В. Логистика: Учебник / О. В. Гайдаенко; А. А. Гайдаенко. М.: – КноРус, 2008. – 272 с.
3. Логистика: Учебник / под ред. Б. А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 368 с.
4. Петров А.Е. Сетевые методы планирования производства: учебно-методическое пособие. – М., МГГУ, 2010. – 148 с.
5. Петров А.Е. Логистика в САПР. Часть 1. Логистика производства: учебно-методическое пособие – М.: МГГУ, 2012. – 92 с.
6. Нагина Е.К., Ищенко В.А. Информационная логистика. Теория и практика: Учебно-методическое пособие для вузов. – Воронеж, 2007. – 87 с.
7. Галкин В. И. Инженерная логистика погрузочно-разгрузочных транспортных и складских работ на горных предприятиях: Уч. пособ. / В.И. Галкин; Шешко Е.Е. – М.: Горная книга, 2009. – 156 с.
8. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник. – М.: Дашков и К, 2010. – 484 с.
9. Информационная логистика: Учебное пособие. – М.: Бранусс, 2004. – 145 с.
10. Попков В.В. Концептуально-теоретические основы экономического конструктивизма. /Препринт # ИВИ/2/2010. Екатеринбург: МИАБ, 2010. – 74 с.
11. Логистика: Учебное пособие/ под ред. Б.А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 327 с.
12. Неруш Ю.М. Логистика: Учебник. М.: – Проспект , 2007. – 520 с.
13. Синельников О.Б. Логистика перевозок гранитных блоков железнодорожным транспортом. – С. 72–74.
14. Семенов А.И., Сергеев В.И. Логистика. Основы теории: Учебник. – СПб, Изд-во «Союз», 2001.
15. Сергеев В.И. Логистика в бизнесе: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2001.
16. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей. – М.: ЦИТвП, 2007. – 496 с.
17. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей. – МГГУ, М.: Дополненное интернет-издание на сайте САПР МГГУ. – Режим доступа: <http://sapr.msmu.ru/lectmaterials/tmdc.pdf>, свободный, 2009.– 610 с.
18. Петров А.Е. Двойственные сети и сетевая модель социально-экономической системы. Режим доступа: http://www.unidubna.ru/departments/sustainable_development/Portal/Nauch_trudy_kafedry/dual_networks/, свободный, 2008. – 602 с.
19. Understanding Supply Chain Management. APICS – The Performance Advantage. # 1, 1999.
20. Миротин Л.Б., Сергеев В.И. Основы логистики. – М.: Юристь, 2006. – 298 с.
21. Чудаков А.Д. Логистика: Учебник. – М.: Изд-во РДЛ, 2007. – 275 с.
22. Русалева Л.Ю. Основы логистики. – Новосибирск, 2006. – 405 с.

23. Мазеин С.В., Попов Е.В. Системы внутрипроизводственной логистики. – Екатеринбург, 2006. – 271 с.
24. Карминский А.М. Контроллинг в бизнесе. Методология и практические основы построения контроллинга в организациях. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 312 с.
25. Анискин Ю.П. Планирование и контроллинг. – М.: Омега-Л, 2007. – 280 с.
26. www.ec-logistics.ru
27. www.logistics.ru
28. <http://www.lis-consulta.ru/3.html>
29. Кузнецов О.Л., Большаков Б.Е. Устойчивое развитие: научные основы проектирования в системе природа-общество-человек: Учебник. – Санкт-Петербург – Москва – Дубна, Изд-во «Гуманистика», 2002. – 616 с.
30. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика). – М.: Наука, 1972. – 544 с.
31. Крон Г. Тензорный анализ сетей: Пер. с англ. / Под ред. Л.Т. Кузина, П.Г. Кузнецова. – М.: Сов. Радио, 1978. – 720 с.
32. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы: Пер. с англ. /ред. В.А.Горбатов. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
33. Платон. Законы. – М.: – Мысль. – 1999.
34. Логистика: Учебное пособие. / Под общей ред. В.Е. Ланкина – Таганрог: ТРГУ, 2006.
35. Кондратенко К.А. Исследование и разработка модуля информационной логистики в САПР информационных систем. / М.: МГГУ, кафедра САПР. Магистерская диссертация, руководитель А.В. Горбатов, 2012. – 72 с.
36. Истомин А.Д. Информационная система добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания / А.Д. Истомин, М.Д. Носков, Д.В. Цигура-Косенко, А.А. Чеглоков // Доклады ТУСУРа № 2 (20). – 2009. – Т. 314.– С. 126–130.
37. Аренс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. – М.: МГГУ, 2001. – 656 с.
38. Лаверов Н.П. Подземное выщелачивание полиэлементных руд / Н.П. Лаверов, И.Г. Абдульманов, К.Г. Бровин и др. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1998. – 446 с.
39. Истомин А.Д. Информационное обеспечение геологоразведочных работ на инфильтрационном месторождении урана / А.Д. Истомин, М.Д. Носков, А.А. Чеглоков // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 5. – С. 85–90.
40. В.А.Горбатов. Интеллектуальные информационные технологии и стратегии (состояние и перспективы). Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». Инженерное образование, № 12, декабрь, 2004. – <http://technomag.edu.ru/doc/48499.html>.

Петров Андрей Евгеньевич

Логистика в САПР. Часть 2. Информационная логистика: учебно-методическое пособие. – М.: МГГУ, 2012. – 112 с.

Подписано в печать 20.12.2012 г.

Формат 60x90/16

Объем 7 п.л. Тираж 150 экз.

Заказ №

Отдел печати МГГУ. Москва, Ленинский пр., 6