

***В.И. ПОГОРЕЛОВ***

**СИСТЕМА  
И ЕЕ ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ:  
ВВЕДЕНИЕ  
В CALS-ТЕХНОЛОГИИ**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Балтийский государственный технический университет «Военмех»

*В.И. ПОГОРЕЛОВ*

СИСТЕМА  
И ЕЕ ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ:  
ВВЕДЕНИЕ  
В CALS-ТЕХНОЛОГИИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург  
2010

УДК 004.89:658.51(075.8)

П43

**Погорелов, В.И.**

**П43**

Система и ее жизненный цикл: введение в CALS-технологии: учебное пособие / В.И. Погорелов; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2010. – 182 с.

ISBN 978-5-85546-581-5

Анализируются процессы, протекающие в системе, и типовые модели жизненного цикла. Рассматриваются принципы и способы информационной поддержки жизненного цикла изделий на основе CALS-технологий. Излагается концепция CALS, описываются стандарты и программные средства, используемые в автоматизированных системах. Особое внимание уделяется системам управления данными об изделиях и способам хранения информации, представленной в цифровой форме.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Моделирование и исследование операций в организационно-технических системах». Может быть полезно преподавателям, а также всем желающим ознакомиться со структурой и основными этапами жизненного цикла сложной технической системы и программными средствами для его информационной поддержки.

**УДК 004.89:658.51(075.8)**

**Р е ц е н з е н т ы:** канд. техн. наук, доц. каф. Е4 БГТУ  
*А.С. Афанасьев*; нач. лаб. ИТ ОАО КБСМ *Д.К. Щеглов*

*Утверждено  
редакционно-издательским  
советом университета*

**ISBN 978-5-85546-581-5**

© В.И. Погорелов, 2010  
© БГТУ, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Современное проектирование и производство сложных наукоемких изделий характеризуется повышением их ресурсоемкости и стремлением к кооперации между участниками их жизненного цикла. Последняя тенденция проявляется в создании виртуальных предприятий, которые обеспечивают интеграцию и управление информационными процессами при решении задач корпоративного, отраслевого, межотраслевого и межгосударственного сотрудничества.

Курс «Система и ее жизненный цикл» является вводным по отношению к дисциплинам, в которых изучаются сведения из различных предметных областей в области ракетостроения, которые объединяются в единую систему на основе CALS-технологий. Цель курса – освоение базовых принципов и особенностей построения, создания, поддержки и управления сложными организационно-техническими системами в области ракетостроения на всех этапах жизненного цикла.

Изучение CALS/ИПИ-технологии должно стать приоритетным при подготовке специалистов.

Настоящее пособие состоит из 12 разделов.

В первом разделе излагается понятие системы и ее вариантов, реализуемых в технических приложениях. Принципам системного подхода посвящен второй раздел, в котором приводится типовый алгоритм системного анализа и описываются различные способы оценки степени сложности системы: меры Р. Хартли и К. Шеннона, аналогия с формулой Больцмана в термодинамике и термодинамическая мера.

Понятие жизненного цикла распространяется на любой изменяющийся объект или процесс, имеющий начало и конец. Для освоения этого понятия в третьем разделе рассматривается терминология, относящаяся к жизненному циклу, с различными примерами. В четвертом разделе описываются процессы жизненного цикла

продукции и схема управления процессом, основные, вспомогательные и организационные процессы. В качестве конкретных примеров рассматривается структура процессов на этапе заказа и закупки изделий.

В пятом разделе приводятся основные понятия и определения теории моделирования систем, классификация систем, особенности компьютерного моделирования с точки зрения создания информационных моделей изделий, используемых в CALS-системах.

Шестой раздел посвящен моделям жизненного цикла систем как структурам, которые определяют последовательность взаимной связи процессов, выполняемых на протяжении ЖЦ, описываются шесть моделей жизненного цикла, отмечаются их достоинства и недостатки.

В седьмом разделе приводится модель расчета прибыли предприятия, которое выпускает продукцию, на основе каскадной модели жизненного цикла. Для построения модели используется имитационное моделирование процессов на предприятии методом статистических испытаний.

В восьмом разделе излагается концепция информационной поддержки жизненного цикла наукоемких изделий на основе CALS-технологий. Излагаются стратегия, идеология и методология организации информационной поддержки жизненного цикла наукоемких изделий. Анализируются особенности перехода отечественных предприятий на CALS-технологии.

В девятом разделе описываются основные стандарты, которые используются в интегрированных информационных системах, построенных на основе CALS-технологий.

В десятом разделе приводится общая характеристика автоматизированных систем, применяемых для поддержки жизненного цикла изделий в интегрированной информационной среде. Описываются технологии управления ресурсами предприятия, качеством продукции и конфигурацией изделий.

Основные сведения и функциональные возможности системы управления данными об изделии (PDM-системы) излагаются в одиннадцатом разделе. Определяется соотношение между PDM- и PLM- системами.

Способы хранения электронных данных рассматриваются в двенадцатом разделе. Описываются особенности записи, извлече-

ния и хранения документов в базах данных и электронных архивах. Представлена структура электронного документа с цифровой подписью и порядок создания электронной цифровой подписи с помощью хэш-функции.

## **1. СЛОЖНАЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА**

### **1.1. Основные термины и определения**

**Объект** – то, что существует вне нас, не зависит от нашего сознания и выступает предметом познания или воздействия.

**Элемент (компонент) системы** – материальный, энергетический, информационный или другой объект, обладающий рядом важных для нас свойств, но внутреннее строение (содержание) которого безотносительно к цели его рассмотрения. Элемент системы не подлежит дальнейшему расчленению, т.е. это предел членения системы с точки зрения решения конкретной задачи и поставленной цели. При исследовании элемента необходимы только те свойства, которые определяют его взаимодействие с другими элементами системы

Сложные элементы систем, в свою очередь состоящие из более простых взаимосвязанных элементов, часто называют подсистемами.

**Связью** (отношением) назовем обмен между элементами системы веществом, энергией, информацией. Единичным актом связи выступает воздействие.

Связь характеризуется направлением (направленные и ненаправленные), силой (сильные и слабые), характером (связи подчинения, генетические, равноправные, связи управления), а также местом приложения (внутренние и внешние) и направленностью процессов в системе и ее частях (прямые и обратные).

**Система** есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как единое целое для достижения заданной цели.

**Подсистема** – часть системы, представляющая собой совокупность некоторых ее элементов (компонентов) и отличающаяся

подчиненностью с точки зрения выполняемых функций. Подсистемы выделяются по функциональным и (или) технологическим признакам. Названием «подсистема» подчеркивается, что такая часть должна обладать свойствами системы (в частности, свойством целостности).

**Среда** – совокупность естественных и искусственных систем, для которых данная система не является функциональной подсистемой.

Для иллюстрации соответствия цели и созданных систем для их достижения в табл. 1.1. приводятся несколько примеров различных систем.

Т а б л и ц а 1.1

**Примеры целей систем**

Система	Цель системы
Часы	Указание текущего значения времени в произвольный момент
Телевидение	Передача звуковой и зрительной информации на расстояние
Баллистическая ракета	Доставка полезного груза в заданную точку на поверхности Земли
Ракета-носитель	Доставка космического корабля на орбиту
Метро	Перемещение населения внутри большого города

Приведем еще несколько определений систем, встречающихся в литературе.

ГОСТ–12207 – комплекс, состоящий из процессов, технических и программных средств, устройств и персонала, обладающий возможностью удовлетворять установленным потребностям или целям.

ISO–15288 – комбинация взаимодействующих элементов, организованная для достижения одной или более объявленных целей.

ISO–15704 – совокупность объектов реального мира, организованная для заданной цели.

Энциклопедический словарь – система (от греч. — целое, составленное из частей; соединение) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство.

Основные характеристики системы (рис. 1.1).

**Компоненты (элементы).** Это неделимая часть системы либо агрегат, состоящий из частей, называемый подсистемой.

**Взаимодействия (отношения, связи).** Компоненты взаимодействуют между собой так, чтобы функционирование одного из них оказывало влияние на функционирование другого или других компонентов.

**Граница.** Система имеет границу, внутри которой содержатся все ее компоненты. Она устанавливает пределы системы, отделяя ее от других систем.

**Цель.** Системные компоненты работают вместе так, чтобы достичь цели существования системы.

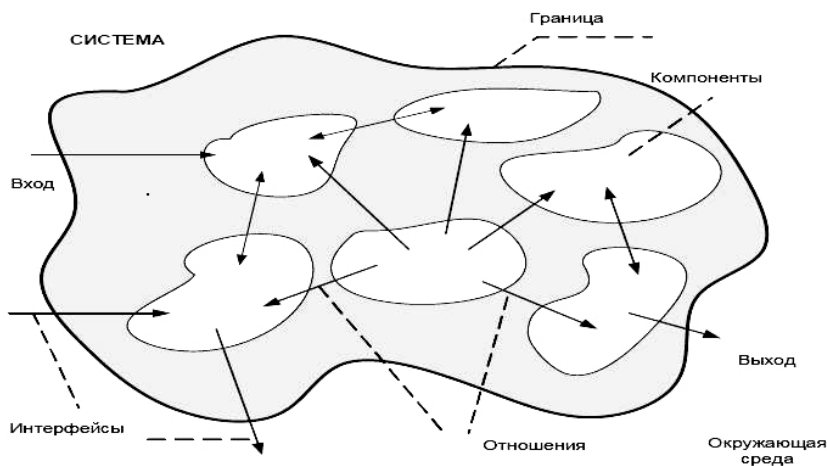


Рис. 1.1. Характеристики системы

**Внешняя (окружающая) среда.** Система оперирует внутри окружающей среды – всего, что находится за границей системы. Окружающая среда влияет на систему и подвергается влиянию со стороны системы. Например, окружающая среда университета включает будущих (потенциальных) студентов, работодателей, институциональные учреждения, службы занятости и др. Университет взаимодействует с абитуриентами и предприятиями – пользователями образовательных услуг.

**Вход.** Воздействия, которые получает система из окружающей среды, называются входами.



**Выход.** Выход – это воздействия, которые система оказывает на окружающую среду.

**Интерфейс.** Это точка, в которой система взаимодействует со средой.

**Ограничения.** Система имеет ограничения функционирования.

Примеры систем:

А. Ракета.

1. Ракета состоит из отсеков (головной, приборный, баковый, хвостовой и т.д.).

2. Между отсеками имеются связи (ракета не рассыпается, она является единым целым).

3. Связи определенным образом упорядочены и размещены в определенном порядке, следующем из решаемой ракетой задачи – цели.

4. Ракета имеет интегративные (суммарные) качества, которыми не обладает ни один из составляющих ее элементов.

Б. Автомобиль.

В. Шариковая ручка.

Г. Ракетный комплекс.

Точно так же можно показать, что такие объекты, как студенческая группа, оптовая база, совокупность взаимосвязанных предприятий, книга и многие другие привычные, окружающие нас объекты, тоже являются системами.

**Большая система** – система, включающая в себя значительное число однотипных элементов и однотипных связей.

**Сложная система** – система, состоящая из элементов разных типов и обладающая разнородными связями между ними.

Сложные системы включают большое число элементов, свойства которых не могут быть предсказаны, опираясь на знания свойств отдельных частей системы и способы их соединения.

Отличительные признаки сложных технических систем:

1. Наличие большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих между собой разнородных элементов. Физически это совокупность разных элементов, а не простая их сумма.

2. Большое количество разнообразных связей с отличными свойствами.

3. Сложность функции, выполняемой системой и направленной на достижение заданной цели функционирования.

4. Математически это нелинейная система. Принцип суперпозиции для нее не выполняется. Поведение системы описывается методами нелинейной динамики.

5. Возможность разбиения системы на подсистемы, цели функционирования которых подчинены общей цели функционирования всей системы.

6. Наличие управления, разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации.

7. Наличие взаимодействия с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных факторов.

Большой, но не сложной с точки зрения механики системой является собранная из стержней стрела крана или, например, труба газопровода. Элементами последней будут ее участки между сварными швами или опорами. Для расчетов на прогиб элементами газопровода скорее всего будут считаться относительно небольшие (порядка метра) участки трубы. Так поступают в известном методе конечных элементов. Связь в данном случае имеет силовой (энергетический) характер: каждый элемент действует на соседний.

Различие между системой, большой системой и сложной системой условно. Так, корпуса ракет или судов, которые, на первый взгляд, однородны, обычно относят к сложной системе из-за наличия шпангоутов и переборок разного вида, усилителей, слоистой конструкции и т.п.

## 1.2. Свойства системы

**Целостность** – появление нового качества в объединении именно этого набора элементов. При исключении любого из выделенных элементов системы ее свойства изменяются. Это свойства интегративные, т.е. присущие системе в целом, но не свойственные ни одному из ее элементов в отдельности.

**Разнообразие** – наличие качественно различных элементов системы, выполняющих различные функции.

**Связность** – обмен информацией между элементами системы и невозможность включения в систему элементов без информационного обмена. Между элементами имеются существенные связи, которые с необходимостью определяют ее интегративные качества. Связи могут быть вещественными, информационными, прямыми, обратными и т.д. Связи между элементами внутри системы

должны быть более мощными, чем связи отдельных элементов с внешней средой, так как в противном случае система не сможет существовать.

**Целенаправленность** – возможность управления системой путем изменения параметров в одном элементе для преобразования состояния других.

**Устойчивость** (гомеостаз) – способность сохранения перечисленных свойств при достаточно широком изменении параметров среды.

### 1.3. Организационно-технические системы и их классификация

**Техническая система** – совокупность элементов искусственного происхождения, созданная для реализации заданной цели.

**Организационно-техническая система** – техническая система, управляемая людьми для достижения заданной цели.

Сложная организационно-техническая система отличается от обычной тем, что в ней имеется значительное число разнородных элементов и различных связей между ними.

На рис. 1.2 приводится пример ракетного комплекса, созданного для поражения объекта на территории вероятного противника, – это цель ее как системы. Состоит она из множества взаимосвязанных элементов искусственного происхождения и управляется людьми для достижения заданной цели. Таким образом, можно утверждать, что это сложная организационно-техническая система.



Рис. 1.2. Ракетный комплекс как сложная организационно-техническая система

Окружение и люди не интегрируются в техническую систему и технический процесс, но они обмениваются с ней информацией и влияют на протекание технического процесса. Техническая система становится организационно-технической после включения в нее управляющего воздействия людей.

В табл. 1.2 приводятся классифицирующие признаки и соответствующие им виды систем.

Т а б л и ц а 1.2

**Классификация систем**

1. Характер взаимоотношений со средой	Открытые (непрерывный обмен) Закрытые (слабая связь)
2. Причинная обусловленность	Детерминированные Стохастические
3. Степень подчиненности	Простые (каждый с каждым) Иерархические (существует соподчиненность)
4. По отношению к времени	Статические Динамические
5. По степени сложности	Простые (число элементов меньше 9) Сложные Большие

### 1.4. Структура системы

*Структура* системы – состав, порядок и принципы взаимодействия элементов системы, определяющие ее основные свойства.

Структура системы характеризует ее внутреннее строение и описывают устойчивые связи между её элементами (рис. 1.3).

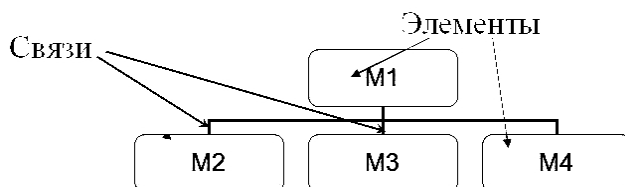


Рис. 1.3. Структура системы

В качестве примера в табл. 1.3 приводятся примеры структур, используемых в АСУ, которые различаются типами элементов и связями между ними.

Т а б л и ц а 1.3

## Примеры структур системы и связей между элементами

Тип структуры	Элементы	Связи
Функциональная	Функции, задачи, операции	Информационные
Техническая	Устройства ввода, хранения, обработки информации и другие	Линии связи между устройствами
Организационная	Коллективы людей и отдельные исполнители; связи	Информационные, соподчинения и взаимодействия
Алгоритмическая	Алгоритмы	Информационные
Программная	Программные модули	Информационные и управляющие
Информационная	Формы существования и представления информации в системе (файлы, таблицы, массивы, базы данных и т.п.)	Операции преобразования информации

*Архитектура* системы – это совокупность ее свойств, существенных для пользователя.

На рис. 1.4 приводятся различные способы соединения элементов, образующие разные структуры систем. Если результат функционирования элемента влияет на поступающие на него воздействия, то такое воздействие называется *обратной связью* (рис. 1.5).

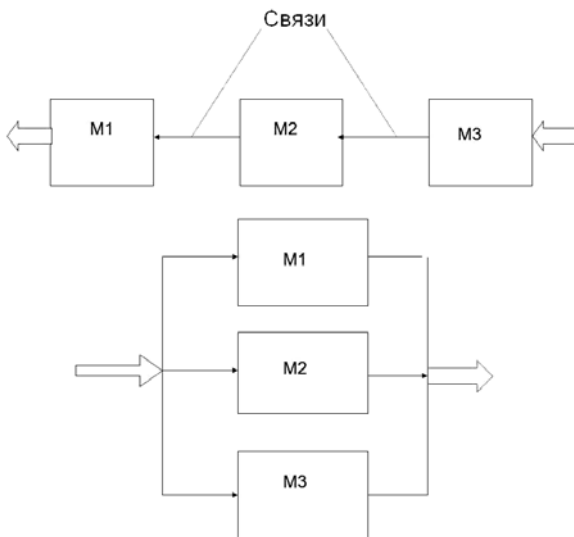


Рис. 1.4. Последовательное и параллельное соединение элементов

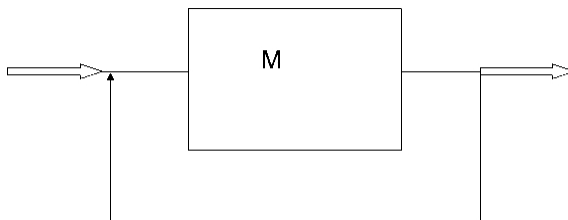


Рис. 1.5. Обратная связь

Элементы системы могут образовывать *иерархические структуры* с наличием подчиненности, т.е. неравноправных связей между элементами, когда воздействия в одном направлении оказывают гораздо большее влияние на элемент, чем в другом. В качестве примера на рис. 1.6 приведены примеры древовидной и ромбовидной иерархической структур.

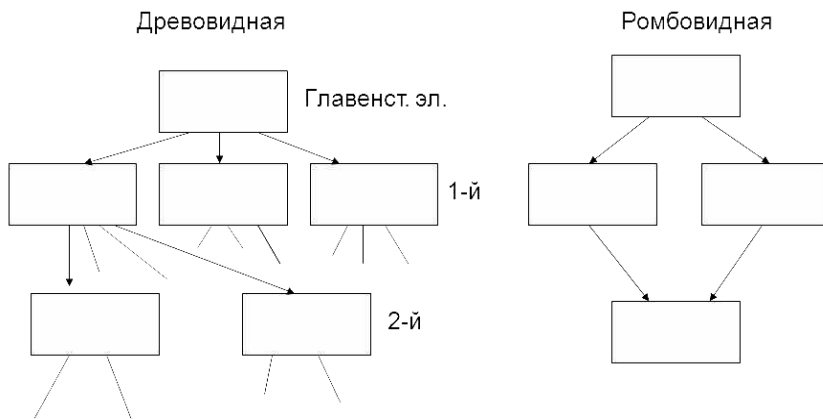


Рис. 1.6. Примеры иерархических структур

На рис. 1.7 приводится пример *сетевой структуры* – организация строительно-монтажных работ при строительстве дома, когда некоторые работы, например монтаж стен, благоустройство территории и др., выполняются параллельно.

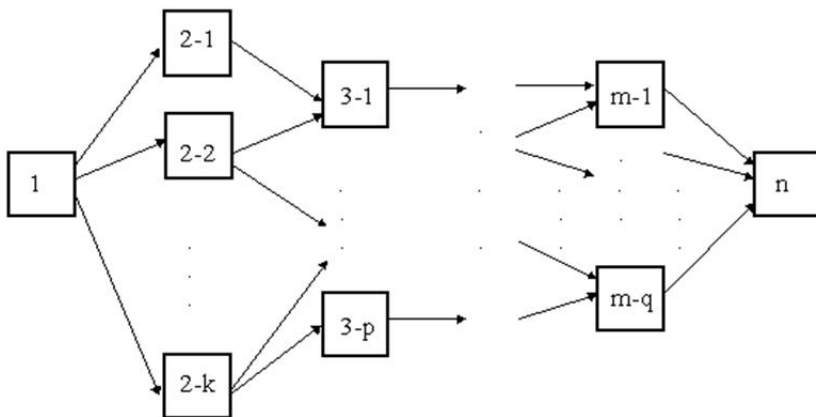


Рис. 1.7. Сетевая структура системы

В качестве *матричной структуры* можно привести структуру работников НИИ, выполняющих работы по одной и той же теме (рис. 1.8).

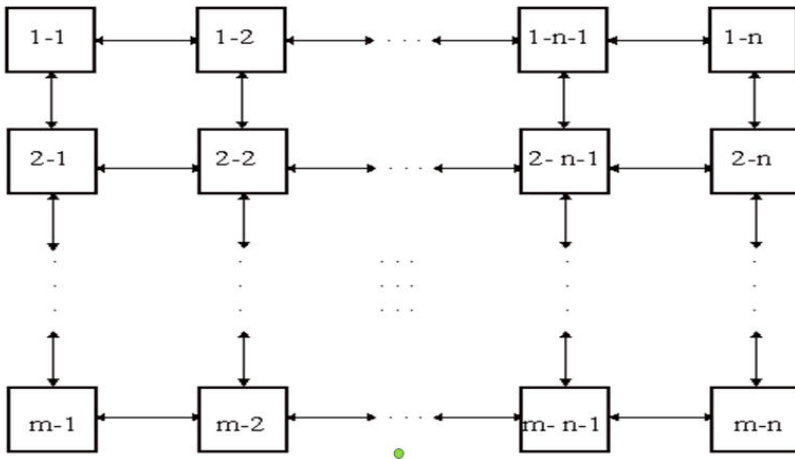


Рис. 1.8. Матричная структура работников НИИ

*Кристаллическая* или *пространственно-матричная структура* характерна для систем с тесно связанными и равноправными («по вертикали» и «по горизонтали») структурными связями

(рис. 1.9): системы открытого акционерного типа, корпорации на рынке с дистрибьютерной сетью и др.

Если система слишком сложна для рассмотрения, ее упрощают, выполняя декомпозицию.

**Декомпозиция** – это деление системы на части, удобное для каких-либо операций с ней. Суть декомпозиции состоит в замене системы на совокупность систем путем ослабления или отбрасывания несущественных связей, в использовании специальных процедур для согласования и координации частей, которые сохраняют основное назначение системы, т.е. ее целевую установку.

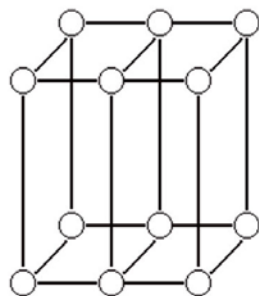


Рис. 1.9. Пространственно-матричная структура системы

## 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СЛОЖНОСТЬ СИСТЕМЫ

### 2.1. Принципы системного подхода

Принципы системного подхода являются основным ядром методологии системного анализа.

**Системный подход** – это направление методологии социально-научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем. Он ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих её механизмов, на выявление многообразных типов связей сложного объекта и сведение их в единую теоретическую картину.

**Классический подход** рассматривает систему путем перехода от частного к общему и конструирует систему слиянием ее компонентов, разрабатываемых по отдельности. Системный подход в отличие от классического рассматривает систему путем перехода от общего к частному, когда в основе лежит цель, причем исследуемый объект выделяется из окружающей среды.

**Системные исследования** – термин, введенный в 70-х гг. XX в. для обобщения прикладных научных направлений, связанных с исследованием и проектированием сложных систем. В этот период по мере развития научно-технического прогресса возрастает



наукоемкость продукции и усложняются процессы управления экологической и социально-экономическими системами и научно-техническим прогрессом. Возникают междисциплинарные направления исследований, опирающиеся на теорию систем, которые стали называться единым термином «системные исследования». Термин «системный анализ» впервые появился в 1948 г. в работах корпорации RAND в связи с задачами военного управления. В отечественной литературе получил распространение после перевода книги С. Оптнера «Системный анализ деловых и промышленных проблем».

**Системный анализ** – междисциплинарный курс, обобщающий методологию исследования сложных технических, природных и социальных систем. Это совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам политического, военного, социального, экономического, научного, технического характера в условиях неопределенности.

Процедуры и методы системного анализа направлены на установление альтернативных вариантов решения проблемы, выявление масштабов неопределённости по каждому из вариантов и сопоставление вариантов по тем или иным критериям эффективности. Специалисты по системному анализу лишь готовят или рекомендуют варианты решения. Принятие решения остаётся в компетенции соответствующего должностного лица (или органа). Иногда этот термин употребляют как синоним системного подхода.

Общие принципы системного анализа можно сформулировать следующим образом.

1. **Принцип конечной цели.** Выявление и четкая формулировка конкретных целей. Принцип имеет несколько правил:

- для проведения системного анализа необходимо в первую очередь сформулировать цель исследования. Расплывчатые, не полностью определенные цели влекут за собой неверные выводы;
- анализ следует вести на базе первоочередного уяснения основной цели (функции, основного назначения) исследуемой системы, что позволит определить ее основные существенные свойства, показатели качества и критерии оценки;
- при синтезе систем любая попытка изменения или совершенствования должна оцениваться относительно того, помогает или мешает она достижению конечной цели;

• цель функционирования искусственной системы задается, как правило, системой, в которой исследуемая система является составной частью.

2. **Принцип единства.** Рассмотрение всей проблемы как целого, как единой системы и выявление всех последствий и взаимосвязей каждого частного решения.

3. **Принцип модульности построения.** Выделение модулей в системе и рассмотрение ее как их совокупности. Выявление и анализ возможных альтернативных путей достижения цели.

4. **Принцип иерархии.** Выделение доминирующих и подчиненных связей. Цели отдельных подсистем не должны вступать в конфликт или в противоречие с целями всей системы.

5. **Принцип функциональности.** Совместное рассмотрение структуры и функции с приоритетом функции над структурой. Функция – новое свойство системы, отличное от свойств ее элементов. Придание системе новой функции требует изменения ее структуры.

6. **Принцип развития.** Учет изменяемости системы, ее способности к развитию, расширению, замене частей, накапливанию информации. Обычно развитие сводится к замене модулей.

7. **Принцип децентрализации.** Сочетание в принимаемых решениях и управлении централизации и децентрализации. Управляющие воздействия и принимаемые решения исходят не только из центра, но и изнутри системы.

8. **Принцип неопределенности.** Учет неопределенностей и случайностей в системе. Мы можем иметь дело с системой, в которой не все известно и понятно.

## 2.2. Алгоритм системного анализа

При практической реализации принципов системного подхода для анализа конкретной системы удобно представить типовую последовательность операций, выполняемых при анализе:

1. Обнаружение проблемы (задачи).
2. Оценка актуальности проблемы.
3. Формулировка целей, их приоритетов и проблем исследования. Определение цели функционирования объекта с позиций системы более высокого уровня.
4. Определение и уточнение ресурсов исследования.
5. Выделение системы (из окружающей среды) с помощью ресурсов.

6. Описание подсистем (вскрытие их структуры), их целостности (связей), элементов (вскрытие структуры системы), анализ взаимосвязей подсистем.

7. Построение (описание, формализация) структуры системы и среды:

- выделение системы осуществляется *разделением (точным) на две части* – элементы системы и среды. Процедура носит итеративный характер;

- основой отнесения элементов к системе или среде является *характер связей между элементами*. Так как внутренние связи значительно сильнее внешних, то это дает право относить элементы с внутренними связями к системе;

- при этом определяется состав системы, состав среды, характер внутренних и внешних связей.

Процесс выделения элементов и связей системы называется структуризацией. Анализ системы на этом этапе удобно представить в виде структурной схемы, один из примеров которой для динамических систем приводится на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Структурная схема алгоритма системного анализа

8. Установление (описание, формализация) функций системы и ее подсистем:

- рассмотрение функционирования всей системы в целом и ее отдельных подсистем;
- определение набора функций и их возможных изменений на различных этапах исследования;
- определение взаимодействия элементов системы между собой и со средой.

9. Согласование целей системы с целями подсистем. Последовательное раскрытие механизма функционирования системы. В результате работы по этапу должны быть получены:

- набор функций, которые реализует система;
- функции отдельных подсистем;
- функции отдельных элементов;
- описание процесса функционирования системы в целом.

10. Анализ (испытание) целостности системы. Система рассматривается на всех этапах жизненного цикла: происхождение, развитие, разрушение (гибель).

11. Анализ и оценка эмерджентности (несводимость свойств системы к свойствам элементов) системы.

12. Испытание, верификация системы (системной модели), ее функционирования.

13. Анализ обратных связей в результате испытаний системы.

14. Уточнение, корректировка результатов предыдущих пунктов. Сравнение системы с другими, близкими ей системами для обнаружения сходства. В случае обнаружения сходства полученные ранее свойства переносятся или могут быть перенесены на систему и (или) наоборот.

### 2.3. Символьное описание системы

Для символьного описания систем очень часто используются кортежные записи.

**Кортеж** – это символьная последовательность в виде перечисления. Кортежное описание системы имеет вид

$$\Sigma : \{ \{M\}, |x|, F \},$$

где  $\Sigma$  – система;  $\{M\}$  – совокупность элементов в ней;  $\{x\}$  – совокупность связей;  $F$  – функция (новое свойство) системы.

**Кортежное описание сложной системы:**

$$\Sigma: \left\{ \bigcup_{r=1}^R \{M^r\}, \bigcup_{n=1}^N |x|, F \right\},$$

$\Sigma$  – сложная система,  $\bigcup_{r=1}^R \{M^r\}$  – совокупность разнородных элементов,  $\bigcup_{n=1}^N |x|$  – совокупность разнородных связей,  $F$  – функция (новое свойство системы).

**Кортежное описание автоматизированной системы:**

$$\Sigma: \left\{ \{M^T\}, \{M^C\}, \{M^O\}, |x^Э|, |x^Ч|, F \right\}$$

$\Sigma$  – система,  $\{M^T\}$  – совокупность технических элементов,  $\{M^C\}$  – решения и другая активность человека,  $\{M^O\}$  – остальные элементы системы,  $|x^Э|$  – совокупность связей между элементами,  $|x^Ч|$  – совокупность связей с человеком,  $F$  – функция (новое свойство системы).

**Кортежное описание структуры системы:**

$$\Sigma \Sigma: \left\{ \{\tilde{M}\}, |\tilde{x}| \right\}$$

$\Sigma$  – система,  $\Sigma: \left\{ \{\tilde{M}\}, |\tilde{x}| \right\}$  – совокупность групп и связей между ними,  $\{\tilde{M}\}$  – группа элементов,  $|\tilde{x}|$  – группа связей.

Группа элементов системы, описываемая только своими входами и выходами и обладающая определенной целостностью, называется модулем. Структурная схема модуля системы изображена на рис. 2.2, где  $\{x_j^+\}$  – внешние воздействия от окружающей среды,  $\{x_{ij}^+\}$  – связи других элементов системы с элементами модуля,  $\{x_j^-\}$  – связи (воздействия) элементов модуля с окружающей средой,  $\{x_{jk}^-\}$  – связи (воздействия) элементов модуля с элементами системы.

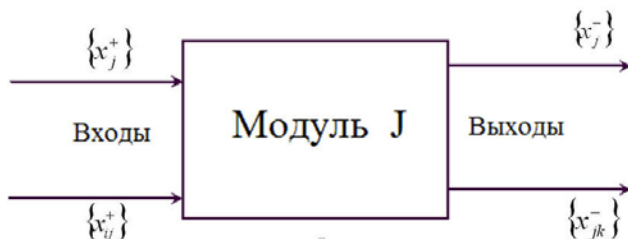


Рис. 2.2. Структурная схема модуля системы

## 2.4. Степень сложности системы

По определению академика А.Н. Колмогорова (1983 г.), сложность системы определяется следующими факторами:

- 1) количеством информации, необходимой для описания системы,
- 2) количеством элементов в системе,
- 3) количеством и природой связей элементов системы.

В качестве примера в табл. 2.1 приводится качественная оценка сложности различных технических систем.

Т а б л и ц а 2.1

Качественное деление технических систем по степени сложности

Уровень сложности	Техническая система	Характеристики	Примеры
I	Деталь; (простейший) компонент	Простейшая система, созданная без сборочных операций	Болт; пружина
II	Группа механизмов; под-сборка	Простая система, которая может выполнять некоторые сложные операции	Гидравлический насос; шпиндель станка
III	Машина; аппарат; устройство	Система или подсборка, выполняющая замкнутые функции	Авиационный или электрический мотор
IV	Завод; оборудование; сложный механизм	Сложная система, выполняющая несколько функций и состоящая из машин, групп деталей, которые объединены функционально и в пространстве	Завод; конвейер; фабричное оборудование

Количественная оценка сложности системы обычно связывается с информацией о системе.

### 2.4.1. Мера Р. Хартли

Математическое определение понятия информации было впервые дано Хартли в 1928 г., который получил формулу, позволяющую измерить количество информации. Для этого необходимо любую информацию, будь то слова, звуки или изображение, представить в цифровой форме. По многим причинам, в том числе техническим, для этих целей наиболее подходящей оказалась двоичная система счисления, в которой информация кодируется в виде последовательности нулей и единиц наиболее рациональным способом, позволяющим получить самую короткую последовательность. Количество знаков этой последовательности может служить мерой количества информации. Единицей информации является 1 бит (от английской фразы binary digit – двоичная цифра) – количество информации, которое можно закодировать при помощи нуля и единицы.

Пусть задано множество  $I = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , содержащее  $N$  элементов. Обозначим  $H(x)$  количество информации, необходимое для определения любого элемента множества. По формуле Хартли, чтобы найти  $x$ , принадлежащее множеству  $H$ , необходимо получить количество информации  $I(x) = \log_2 N$ .

Рассмотрим два примера.

**Пример 1.** В группе 32 студента. Лектор собирается вызвать одного из них. Сколько вопросов нужно задать лектору, чтобы определить фамилию этого студента?

По формуле Хартли,  $I(x) = \log_2 32 = \log_2 2^5 = 5$ , т.е. пять вопросов. Действительно, поставим в списке напротив каждой фамилии номера от 0 до 31, а затем переведем их в двоичную систему счисления. Для записи десятичного числа 31 требуется 5 двоичных цифр, так как  $31 = 11111$ .

Если двоичная запись порядкового номера окажется короче пяти знаков, слева дописываются недостающие нули (например четвертый студент имеет номер 00100). Далее задаются последовательно вопросы: верно ли, что первая (вторая,.....пятая) цифра равна 1?

**Пример 2.** Определить, сколько взвешиваний без гирь необходимо сделать, чтобы определить единственную (более легкую) монету из 27 золотых монет?

В первом примере ответ на любой вопрос имел два исхода (1 – да, 0 – нет) и поэтому давал 1 бит информации. Любое взвешивание имеет три исхода: левая чашка тяжелее, правая тяжелее и обе чашки уравновешены (взвешивание производится без гирь, поэтому на чашки кладется одинаковое количество монет). Поэтому одно взвешивание дает  $\log_2 3$  битов информации. Тогда если  $n$  – искомого количество взвешиваний, то  $n \log_2 3 \geq \log_2 27 = 3 \log_2 3$ , откуда  $n = 3$ .

### 2.4.2. Мера К. Шеннона

По формуле Шеннона, если случайная величина  $\xi$  принимает значения  $(x_1, x_2, \dots, x_N)$  ( $N$  – число состояний системы) с вероятностями  $(p_1, p_2, \dots, p_N)$ , то количество информации, необходимой для определения  $\xi$ , равно: 
$$I(\xi) = \sum_{k=1}^N p_k \log_2 \frac{1}{p_k} = - \sum_{k=1}^N p_k \log_2 p_k .$$

В частном случае, когда  $p_1 = p_2 = \dots = p_N = \frac{1}{N}$ , приходим к формуле Хартли, так как 
$$I(\xi) = N \left( \frac{1}{N} \log_2 \frac{1}{(1/N)} \right) = \log_2 N .$$

Формула Шеннона совпадает с формулой Больцмана для определения энтропии – меры неопределенности состояния молекул, образующих физическую систему.

### 2.4.3. Аналогия с формулой Больцмана в термодинамике

Если  $k$  – коэффициент Больцмана, известный в физике как  $k = 1,38 \times 10^{-16}$  эрг/град, то выражение  $S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$  в термодинамике известно как энтропия, или мера хаоса, беспорядка в системе. Сравнивая с формулой К. Шеннона, видим, что  $S$  можно понимать как информационную энтропию (из-за нехватки информации в системе).

В 1877 г. Л. Больцман дал статистическое определение энтропии и заметил, что она характеризует недостающую информацию.



Спустя 70 лет К. Шеннон сформулировал постулаты теории информации. В дальнейшем было замечено, что формула Больцмана инвариантна информационной энтропии, и была выявлена системная связь между информацией и энтропией.

Важно отметить, что нулевой энтропии соответствует максимальная информация. При этом основное соотношение между энтропией и информацией имеет вид

$$I + S \cdot (\log_2 e) / k = \text{const} ,$$

или, в дифференциальной форме,

$$\frac{dI}{dt} = -((\log_2 e) / k) \frac{dS}{dt} .$$

При переходе от состояния  $S_1$  с информацией  $I_1$  к состоянию  $S_2$  с информацией  $I_2$  возможны следующие случаи:

$S_1 < S_2$  ( $I_1 > I_2$ ) – уничтожение (уменьшение) старой информации в системе;

$S_1 = S_2$  ( $I_1 = I_2$ ) – сохранение информации в системе;

$S_1 > S_2$  ( $I_1 < I_2$ ) – рождение (увеличение) новой информации в системе.

Основным достоинством формулы Шеннона является ее отвлеченность от семантических и качественных, индивидуальных свойств системы. В отличие от формулы Хартли она учитывает различность и разновероятность состояний, т.е. имеет статистический характер (учитывает структуру сообщений), делающий ее удобной для практических вычислений.

Недостатком формулы Шеннона является то, что она не различает состояния с одинаковой вероятностью достижения, например, не может оценивать состояния сложных и открытых систем и применима лишь для замкнутых систем, отвлекаясь от смысла информации. Теория Шеннона разработана как теория передачи данных по каналам связи, а мера Шеннона – это мера количества данных, не отражающая семантического смысла.

Увеличение (уменьшение) меры Шеннона свидетельствует об уменьшении (увеличении) энтропии (организованности) системы. При этом энтропия может являться мерой дезорганизации систем от полного хаоса ( $S = S_{\text{max}}$ ) и полной информационной неопреде-

ленности ( $I = I_{\min}$ ) до полного порядка ( $S = S_{\min}$ ) и полной информационной определённости ( $I = I_{\max}$ ) в системе.

Информация подчиняется закону аддитивности, в соответствии с которым  $I(x_1, x_2) = \log_2 N_1 + \log_2 N_2 = \log_2 N_1 N_2$ , где  $x_1$  – элемент множества  $H_1$ , состоящего из  $N_1$  элементов, а  $x_2$  – элемент множества  $H_2$ , содержащего  $N_2$  элементов. Множество  $H$  из пар  $(x_1, x_2)$  содержит  $N_1 \cdot N_2$  элементов.

Из формулы Шеннона следует, что кодовый знак, который может принимать лишь два значения, содержит 1 бит информации только тогда, когда оба его значения равновероятны.

Определяя информацию как снятую неопределенность, можно установить, что сумма уже полученной и недостающей информации остается постоянной (аналогия с суммой кинетической и потенциальной энергией движущегося тела, которая остается постоянной).

**П р и м е р.** Установлено, что время  $t$  реакции человека на выбор предмета из  $N$  предметов линейно зависит от  $\log_2 N$ :  $t = 200 + 180 \log_2 N$ . Перед испытуемым большое число раз зажигалась одна из  $N$  лампочек. На нее он должен был указать в ходе эксперимента. Оказалось, что среднее время, необходимое для правильного ответа испытуемого, пропорционально не числу лампочек  $N$ , а величине  $I$ , определяемой по формуле Шеннона. Если  $p_i$  – вероятность зажечь лампочку номер  $i$ , то

$$I = -\sum p_i \log_2 p_i \leq \log_2 N.$$

Если выбор  $i$ -го варианта predetermined заранее (выбора, собственно говоря, нет, т.е.  $p_i$ ), то  $I = 0$ . Сообщение о наступлении события с меньшей вероятностью несет в себе больше информации, чем сообщение о наступлении события с большей вероятностью. Сообщение о наступлении достоверно наступающего события несет в себе нулевую информацию (и это вполне ясно: событие всё равно произойдет когда-либо).

**П р и м е р.** Если положение точки в системе известно, в частности она в  $k$ -й клетке, т.е. все  $p_i = 0$ , кроме  $p_k = 1$ , то  $I = \log_2 1 = 0$  и мы здесь новой информации не получаем (как и следовало ожидать).

#### 2.4.4. Термодинамическая мера

Информационно-термодинамический подход связывает величину энтропии системы с недостатком информации о внутренней ее структуре (невосполняемым принципиально, а не просто нерегистрируемым). При этом число состояний определяет, по существу, степень неполноты наших сведений о системе.

Пусть дана термодинамическая система (процесс)  $S$ , а  $H_0, H_1$  – термодинамическая энтропия системы  $S$  в начальном (равновесном) и конечном состояниях термодинамического процесса соответственно. Тогда термодинамическая мера информации (негэнтропия) определяется формулой

$$H(H_0, H_1) = H_0 - H_1.$$

Эта формула универсальна для любых термодинамических систем. Уменьшение  $H(H_0, H_1)$  свидетельствует о приближении термодинамической системы  $S$  к состоянию статического равновесия (при данных доступных ей ресурсах), а увеличение – об удалении.

Поставим некоторый вопрос о состоянии термодинамической системы. Пусть до начала процесса можно дать  $p_1$  равновероятных ответов на этот вопрос (ни один из которых не является предпочтительнее другого), а после окончания процесса –  $p_2$  ответов. Изменение информации при этом составит:

$$\Delta I = k \ln(p_1 / p_2) = k(\ln p_1 - \ln p_2).$$

Если  $p_1 > p_2$  ( $\Delta I > 0$ ), идет прирост информации, т.е. сведения о системе стали более определенными, а при  $p_1 < p_2$  ( $\Delta I < 0$ ) – менее определенными. Универсально то, что мы не использовали явно структуру системы (механизм протекания процесса).

П р и м е р. Предположим, что имеется развивающаяся социально-экономическая система с числом состояний 10, которая в результате эволюции развилась до системы с числом состояний 20. Нас интересует вопрос о состоянии некоторого составного элемента системы (например, предприятия). Вначале мы знали ответ на вопрос, и поэтому  $p_1 = 1$  ( $\ln(p_1) = 0$ ). Число ответов было пропор-

ционально величине  $[\ln 1 = 0]$ . После развития мы знаем уже микроэкономическое состояние, т.е. изменение информации о состоянии системы равно:  $\Delta I = k \ln(20/10) = k \ln 2$ .

### 3. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ СИСТЕМЫ

#### 3.1. Основные термины и определения

Обычно оно применяется к объекту, который существует вне нашего сознания, является предметом познания, появляется и исчезает или завершает период своего существования. В этом смысле объектом может выступать продукция, выпускаемая предприятиями, техническая система, проект, семья и т.п.

Приведем некоторые определения жизненного цикла, которые используются наиболее часто и отражают его основное содержание.

**Жизненный цикл (ЖЦ) системы** – непрерывный процесс, который начинается от момента принятия решения о необходимости создания системы и заканчивается в момент ее полного изъятия из эксплуатации.

**Жизненный цикл технической системы** – последовательность этапов существования объектов искусственного происхождения от начала их создания до момента исчезновения.

**Жизненный цикл продукта (ЖЦП)** – совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и ее утилизации.

Основным нормативным документом, регламентирующим ЖЦ, является международный стандарт ISO 9004–1 (ISO – International Organization of Standardization – Международная организация по стандартизации) и ГОСТ 22487–77. Стандарты определяют структуру ЖЦ, содержащую процессы, действия и задачи, которые должны быть выполнены во время создания системы.

Рассмотрим основные понятия, связанные с ЖЦ системы, структурная схема которой приведена на рис. 3.1.

Характер системы или объекта рассмотрения и протекающие в ней процессы определяют содержание этапов ее жизненного цикла. Остановимся на типовых примерах влияния вида системы на содержание этапов ее ЖЦ.

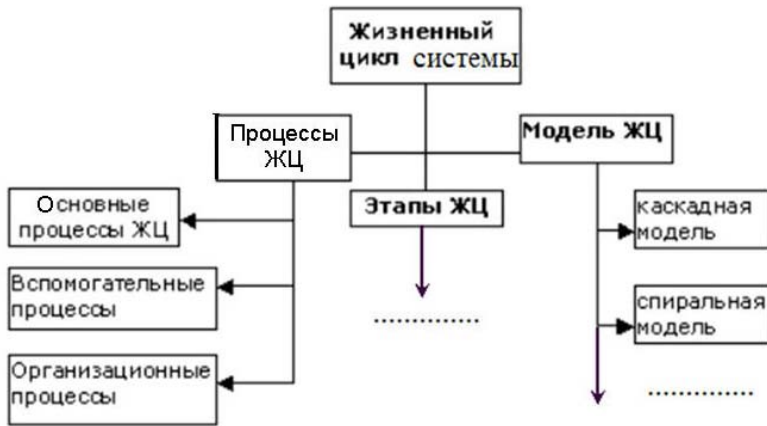


Рис. 3.1. Структурная схема ЖЦ системы

### 3.2. Жизненный цикл продукции

Жизненный цикл продукции начинается с маркетинговых исследований рынка на предприятии-изготовителе и заканчивается ее утилизацией (рис. 3.2).

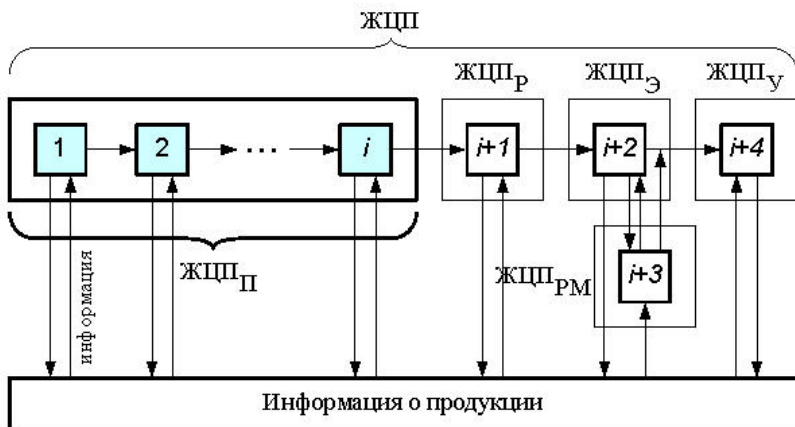


Рис. 3.2. Основные этапы жизненного цикла продукта

В укрупненном виде весь ЖЦП включает следующие основные этапы: ЖЦП<sub>П</sub> – производство (этап предприятия), ЖЦП<sub>Р</sub> – реализация, ЖЦП<sub>Э</sub> – эксплуатация (этап потребителя), ЖЦП<sub>РМ</sub> – восстановление и ремонт, ЖЦП<sub>У</sub> – утилизация.

Перечисленные этапы реализуются в различных структурах: производители, предприятия торговли, ремонтные предприятия, потребители и предприятия, отвечающие за утилизацию продукции. В большинстве случаев наиболее трудоемким является этап производства, который требует значительных финансовых вложений, поэтому предприятие-изготовитель стремится к сокращению издержек на этом этапе, к автоматизации всех производственных процессов и сокращению их длительности.

Однако если речь идет о продукции, выпускаемой для нужд потребления, то и все остальные этапы ЖЦП имеют тенденцию к постепенному сокращению. Так, например, моральное старение продукта и желание следовать моде резко сокращают длительность его эксплуатации, а расширение сети сервисных служб, оснащенных современной техникой, и модульный принцип построения конструкций большинства изделий резко сокращают длительность ремонта.

Даже этап утилизации (ЖЦП<sub>У</sub>) может оказать влияние на современное производство. Например, конструкция ампулизованных баков ракеты на жидком топливе должна быть такой, чтобы топливо можно было слить из них по истечении сроков эксплуатации ракеты.

Если не учитывать этап маркетингового анализа, то ЖЦП<sub>П</sub> в укрупненном виде можно представить в виде совокупности следующих этапов (рис. 3.3): конструкторской разработки изделия – ЖЦП<sub>К</sub>, разработки технологического процесса – ЖЦП<sub>Т</sub>, технологической подготовки производства – ЖЦП<sub>ТПП</sub>, изготовления продукции – ЖЦП<sub>И</sub>.

Между этими этапами зачастую возникает сложная взаимосвязь во времени, обусловленная порядком выполнения всего комплекса работ и принятыми на предприятии особенностями организации производства. Могут встречаться как строго последовательные варианты этапов (рис. 3.3, а), так и с перекрытием их во времени (рис. 3.3, б).

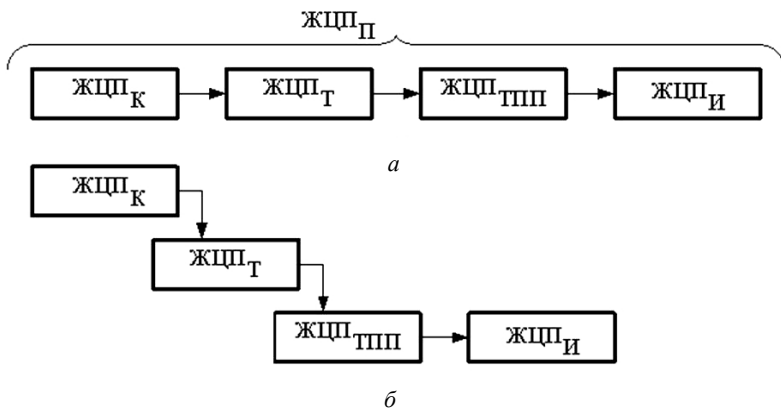


Рис. 3.3. Жизненный цикл продукции на этапе производства

Обычно предприятие выполняет несколько заказов, которые, в зависимости от степени конструкторско-технологической проработки, имеют разные точки входа на временной оси цикла ЖЦП<sub>П</sub> (рис. 3.4). При этом выполнение нескольких заказов начинается с разработки конструкции изделия, но очень часто бывает, что конструкция есть, но технология изготовления отсутствует. А иногда в портфеле предприятия имеются заказы, которые уже обеспечены конструкторской и технологической документацией. Для них требуется осуществить этап технологической подготовки производства (ТПП) и последующее изготовление.

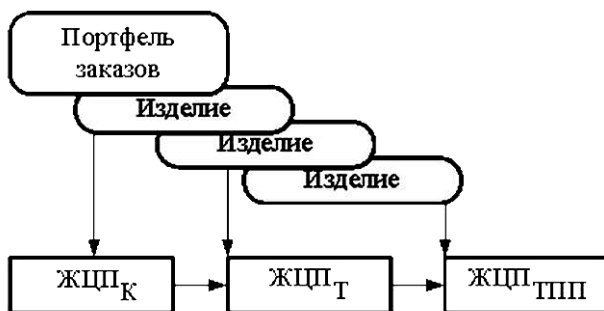


Рис. 3.4. Точки входа изделий в процессы жизненного цикла предприятия

Если посмотреть на детальную картину процессов, протекающих на предприятии (рис. 3.5), то мы увидим, что они представляют собой взаимосвязь расписаний работы соответствующих служб. При этом длительность ЖЦП тем меньше, чем меньше разница между моментами начала смежных этапов ЖЦП. Для каждого  $i$ -го изделия эти моменты равны  $\Delta t_{K-T_i}$ ,  $\Delta t_{T-ТПП_i}$ ,  $\Delta t_{ТПП-И_i}$ . Сократить эти значения можно только в том случае, если модель планирования будет включать в себя как все этапы ЖЦП, так и все исполнительные устройства, отвечающие за выполнение тех или иных работ.

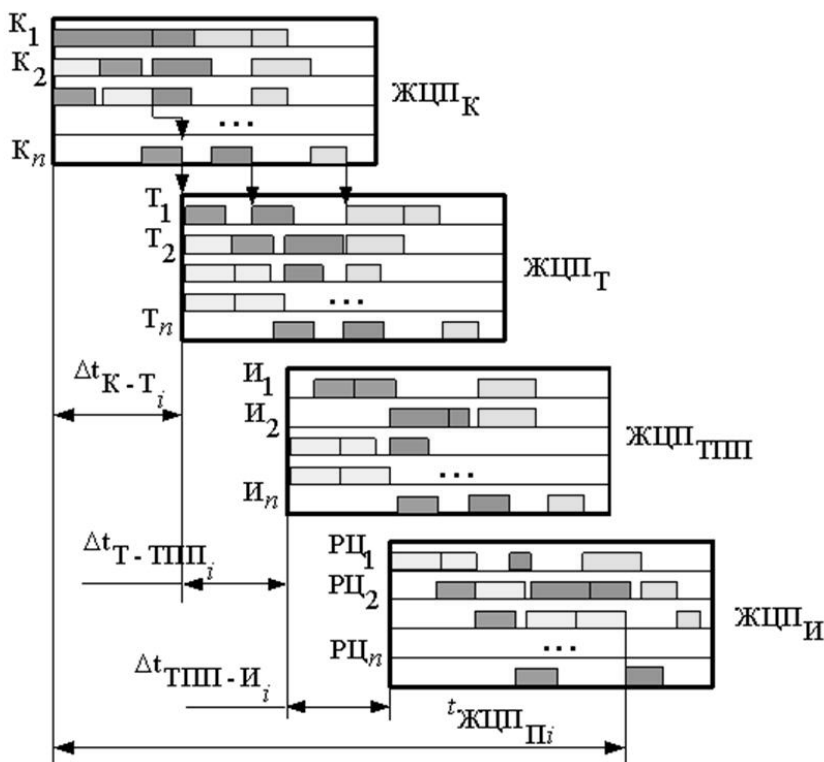


Рис. 3.5. Взаимосвязь расписаний работы различных этапов жизненного цикла продукции



Это множество инженеров-конструкторов, технологов, специалистов отделов автоматизированных систем подготовки производства (АСТПП), рабочих центров (РЦ) по всей технологической цепочке (технологическое оборудование предприятия). При этом диаграмма этапа ЖЦ<sub>и</sub> будет представлена всеми производственными подразделениями предприятия (цехами) с последующей дифференциацией на расписания отдельных подразделений.

### 3.3. Внешнее и внутреннее проектирование в жизненном цикле технической системы

На каждом этапе жизненного цикла технический объект имеет относительно стабильный набор характеристик, поэтому у разных классов технических систем набор этапов ЖЦ может несколько различаться. Тем не менее, наиболее типичный состав этих этапов выглядит следующим образом (рис. 3.6).

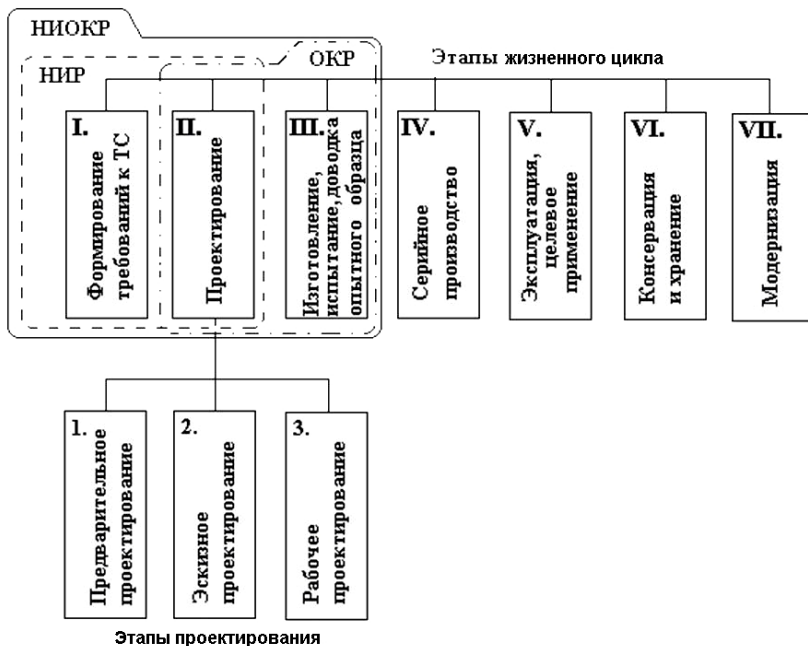


Рис. 3.6. Структура жизненного цикла технической системы

I. Внешнее проектирование (макропроектирование) – формирование требований к системе и разработка технического задания. Результатом внешнего проектирования является техническое задание на разработку проекта, содержащее основные требования к системе и взаимодействию ее с внешней средой, обеспечивающие решение стоящих перед системой задач.

II. Внутреннее проектирование (микропроектирование), или просто проектирование, функциональной структуры, принципа действия и технического решения, что соответствует разработке технического предложения или технического проекта. Цель внутреннего проектирования – разработка всей необходимой проектно-конструкторской документации, составляющей проект, удовлетворяющей требованиям внешнего проектирования.

III. Изготовление, испытание и доводка опытных образцов.

IV. Серийное производство.

V. Эксплуатация и целевое применение. Диагностика неисправностей и ремонт технической системы.

VI. Консервация и хранение.

VII. Модернизация и эксплуатация.

VIII. Утилизация технической системы в результате ее физического или морального старения.

На I и II этапах выполняются научно-исследовательские работы (НИР), на этапах II и III – опытно-конструкторские работы (ОКР). Таким образом, на стадиях I–III проводится весь цикл научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

В соответствии с ГОСТ 22487–77 этап II связывает научные исследования с практической реализацией и состоит из предварительного, эскизного и рабочего проектирования (рис. 3.7). На этапе предварительного проектирования формируются техническая концепция и основные параметры системы, обеспечивающие выполнение требований технического задания. Формируется облик системы. Проходит основное согласование требований внешнего проектирования с возможностями проектирования внутреннего.

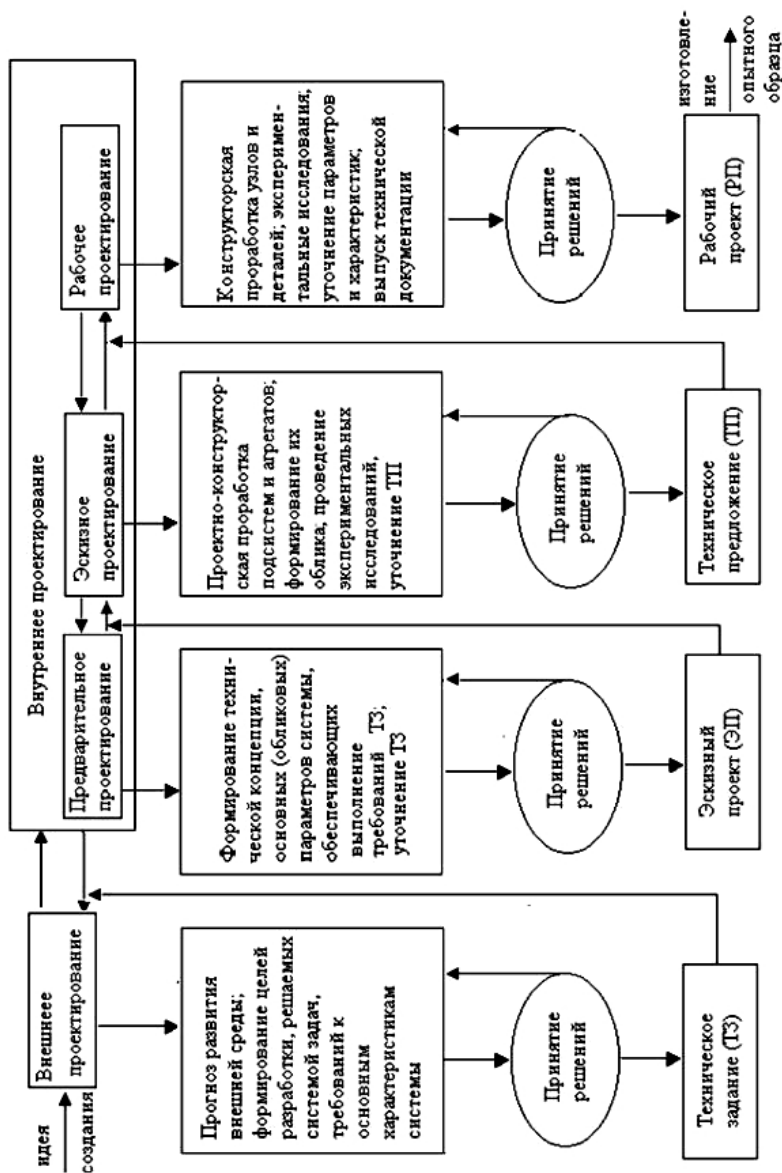


Рис. 3.7. Этапы внутреннего проектирования

Основная задача эскизного проектирования – уточнение параметров и характеристик системы, связанное с проектно-конструкторской проработкой её основных подсистем и агрегатов и формированием их облика. Результат выполнения этапа – эскизный проект.

На этапе рабочего проектирования проект окончательно детализуется. Итогом является рабочий проект, содержащий комплект конструкторской документации, инструкции по производству её элементов, эксплуатации и др.

### 3.4. Этапы жизненного цикла летательного аппарата

Рассмотрим этапы жизненного цикла такой сложной организационно-технической системы как летательный аппарат (рис. 3.8).

1. **Формирование концепции.** Формулировка требований к системе и разработка технического задания (внешнее проектирование или макропроектирование).

2. **Проектирование.** Выбор функциональной структуры технического системы и принципа ее действия. Разработка техническое предложения или технического проекта летательного аппарата.

3. **Конструирование.** Оптимизация или уточнение параметров технической системы, выбор и разработка технологии изготовления, создание проектной документации. Этот этап вместе с предыдущим называют внутренним проектированием.

4. **Производство,** изготовление и контроль технической системы.

5. **Испытания,** транспортировка и хранение технической системы.

6. **Эксплуатация,** диагностика неисправностей и ремонт технической системы.

7. **Утилизация** технической системы в результате ее физического или морального старения.

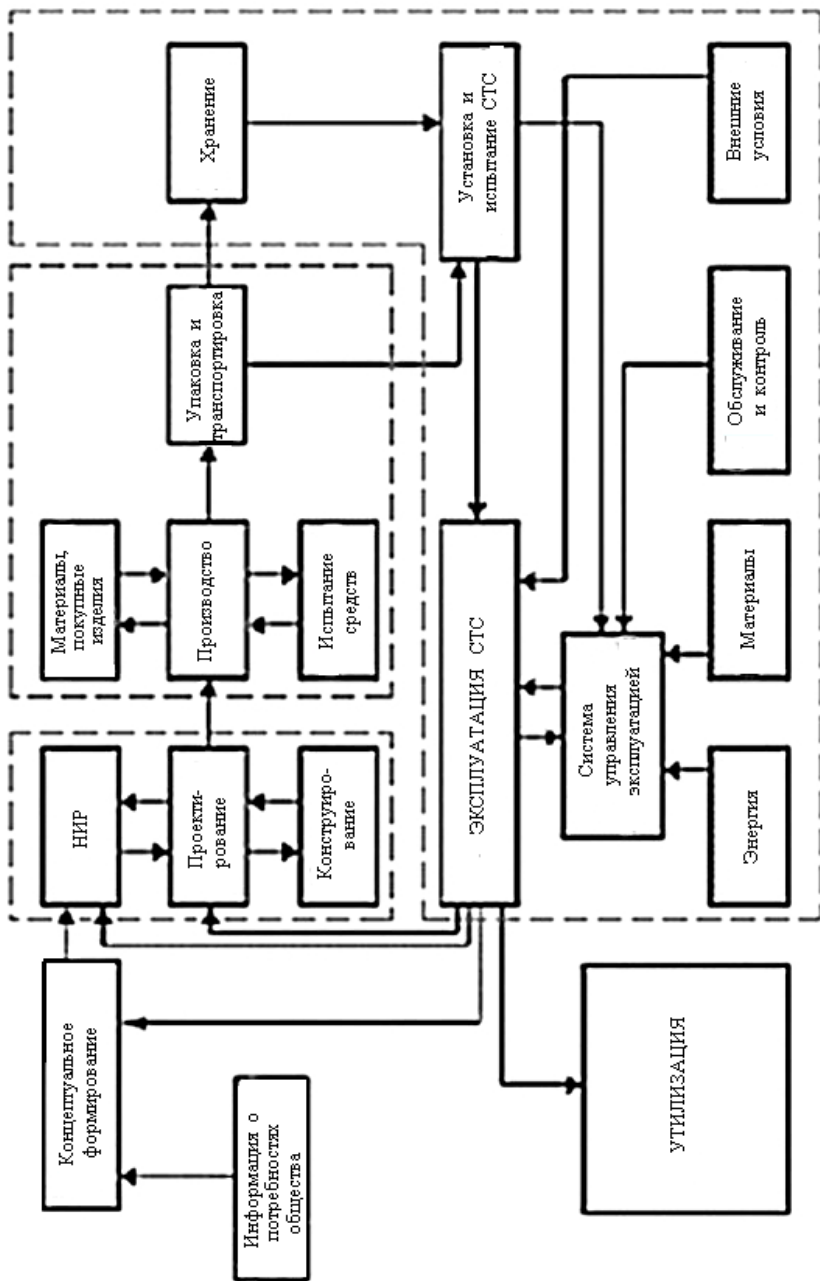


Рис. 3.8. Жизненный цикл летательного аппарата

## 4. ПРОЦЕССЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

### 4.1. Основные термины и определения

Приведем несколько примеров определения процесса:

1) набор взаимосвязанных работ, которые преобразуют исходные данные в выходные результаты (ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–99);

2) набор взаимосвязанных или взаимодействующих работ, которые преобразуют входы в выходы (ISO/IEC 15288);

3) структурированный набор функций, охватывающий различные сущности и завершающийся глобальной целью (ISO/CD 15531–1);

4) совокупность взаимосвязанных ресурсов и деятельности, которая преобразует входящие элементы в выходящие (ISO 8402:1994) (рис. 4.1).

Под ресурсами обычно понимаются не только оборудование и финансовые средства, выделяемые для реализации поставленной задачи, но и персонал, средства обслуживания, технология и методология.

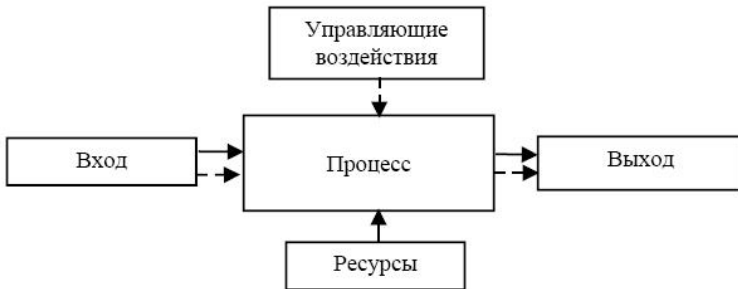


Рис. 4.1. Схема управления процессом

Как можно видеть даже из простого перечисления этапов ЖЦ любой системы, для нее характерно большое разнообразие процессов. Так, для технической системы наиболее известны производственный процесс, процесс проектирования, процесс закупок. Каждый из них в свою очередь состоит из технологических и организационно-деловых процессов.

Под *технологическим процессом* понимается часть производственного (или другого процесса), содержащая целенаправлен-

ные действия по изменению и (или) последующему определению состояния предмета труда.

Под **организационно-деловыми процессами** понимаются процессы, связанные с взаимодействием людей (подразделений, организаций), так как все процессы ЖЦ связаны между собой.

В последние годы для общей характеристики этих процессов стало широко применяться понятие «бизнес-процесс».

**Бизнес-процесс** – это совокупность технологических и организационно-деловых процессов, выполняемая целенаправленно в рамках заранее заданной организационной структуры

Бизнес-процессы могут быть разного характера и масштаба. В масштабах предприятия в него могут быть вовлечены работники нескольких подразделений. Можно говорить о внутрицеховых, внутрिलाбораторных и других процессах, характерных для конкретного предприятия или иной организационной структуры.

Очень часто бизнес-процесс можно поделить на составляющие его технологические и организационно-деловые процессы меньшего масштаба.

Некоторые технологические и организационно-деловые процессы могут состоять из операций, которые в свою очередь можно разделить на переходы.

**Операции** – это законченные части процесса, выполняемые на одном рабочем месте. Например: выписать накладную, составить договор.

**Переходы** – это законченные части операции, выполняемые одними и теми же средствами. Например: позвонить, записать, фрезеровать.

Процессы могут изменяться, перепроектироваться и рестраиваться. В этом случае говорят о реинжиниринге процессов.

Под **реинжинирингом** (Business Process Reengineering, BPR) подразумевают фундаментальное переосмысление и перепроектирование бизнес-процессов предприятия с целью повышения эффективности его работы

Если говорить о типах деятельности бизнес-процессов, то процессы жизненного цикла можно поделить на следующие три группы (рис. 4.2):

- 1) основные процессы жизненного цикла;

- 2) вспомогательные процессы, обеспечивающие выполнение основных процессов;
- 3) организационные процессы.

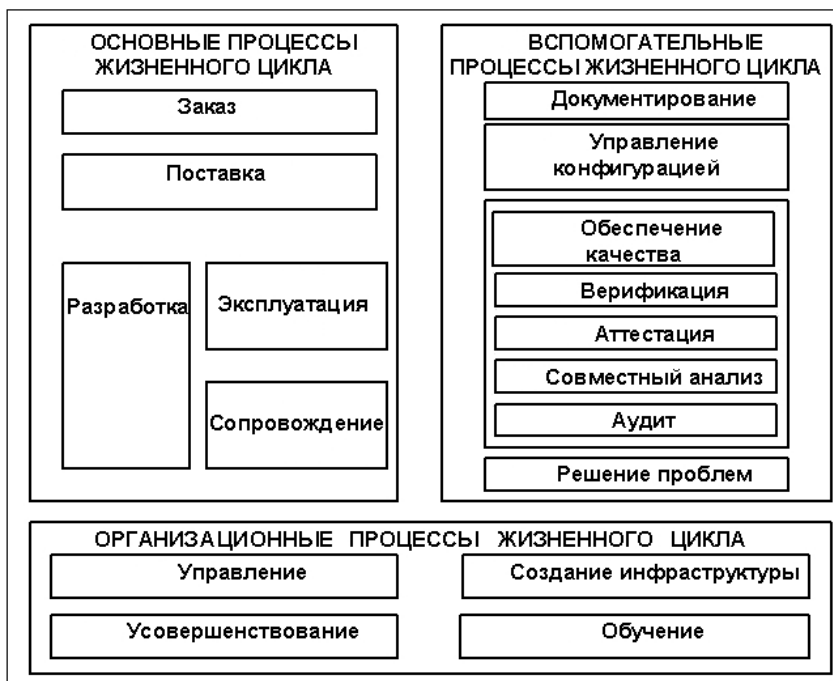


Рис. 4.2. Процессы жизненного цикла продукции

## 4.2. Основные процессы

Основные процессы жизненного цикла – это пять процессов, которые реализуются заказчиком, поставщиком, разработчиком или какой-то другой стороной, вовлеченной в эту деятельность:

- **заказ.** Определяет работы заказчика, т.е. организации, которая приобретает систему (рис. 4.3);
- **поставка.** Определяет работы поставщика – организации, которая поставяет систему или её часть;
- **разработка.** Определяет работы разработчика – организации, которая проектирует и разрабатывает систему или её часть;



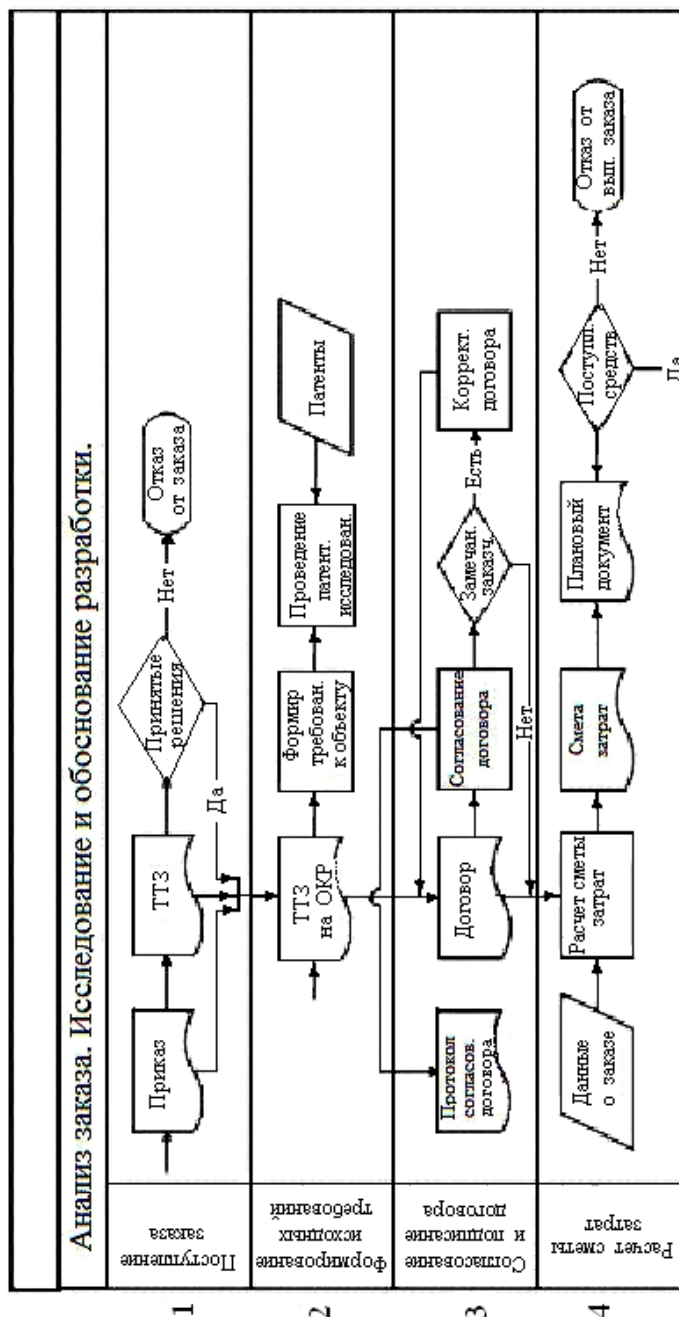


Рис. 4.3. Структура операций и переходов на этапе заказа

- **эксплуатация.** Определяет работы организации, которая обеспечивает эксплуатационное обслуживание системы в заданных условиях в интересах пользователей;

- **сопровождение.** Определяет работы персонала – организации, которая предоставляет услуги по сопровождению и технической поддержке системы, состоящие в контролируемом изменении ее с целью сохранения исходного состояния и функциональных возможностей системы.

#### **4.2.1. Процесс заказа**

Каждый из перечисленных процессов подразделяется на операции и переходы.

Для реализации заказа приведем возможный перечень работ.

##### **1. Подготовка:**

- описание концепции или потребности в заказе;
- определение и анализ требований к системе (функциональные, коммерческие, организационные, требования безопасности);
- рассмотрение вариантов реализации заказа: приобретение готового продукта. При приобретении получение следующих гарантий:
  - соответствие требованиям функциональных спецификаций,
  - наличие необходимой документации,
  - соблюдение прав собственности, использования, лицензирования и гарантии;
  - модернизация существующей системы, предусмотрена последующая поддержка.

##### **2. Подготовка, документальное оформление и выполнение плана заказа:**

- требования к системе;
- планируемая загрузка системы;
- тип реализуемого договора;
- обязанности организаций, участвующих в договоре;
- обеспечение подходов к реализации договора;
- анализ рисков и определение методов управления рисками.

##### **3. Подготовка заявки на подряд:**

- документальное оформление требований к заказу:
  - требования к системе;
  - описание области применения системы;

- указания для участников торгов;
- список программных продуктов;
- сроки и условия реализации заказа;
- правила контроля над субподрядчиками;
- технические ограничения.

- **техническое задание:**

- ТЗ является основным документом, определяющим требования и порядок создания (развития или модернизации) системы, в соответствии с которым проводится разработка и ее приемка при вводе в действие;

- ТЗ разрабатывают на систему в целом, предназначенную для работы самостоятельно или в составе другой системы.

Состав технического задания на создание системы:

- 1) общие сведения;
- 2) назначение и цели создания (развития) системы;
- 3) характеристика объектов, для которых разрабатывается система;
- 4) требования к системе;
- 5) состав и содержание работ по созданию системы;
- 6) порядок контроля и приемки системы;
- 7) требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта к вводу системы в действие;
- 8) требования к документированию.

#### **4. Источники разработки:**

- определение применимости процессов, работ и задач к условиям проекта;
- определение контрольных пунктов договора, при выполнении которых анализируется и проверяется деятельность поставщика;
- представление требований к заказу организации, выбранной для выполнения заказа.

#### **5. Подготовка и корректировка договора:**

- определение процедуры выбора поставщика;
- выбор поставщика;
- адаптация стандарта к условиям проекта;
- подготовка и обсуждение условий договора с поставщиком;
- контроль изменений в тексте договора.

Основные разделы (статьи) договора:

- преамбула;

- предмет договора;
- цена договора;
- условия платежа;
- условия поставки;
- лицензионное соглашение;
- гарантия;
- конвенциональный штраф;
- арбитраж;
- обстоятельства непреодолимой силы (форс-мажор);
- прочие условия;
- срок действия и условия прекращения действия договора;
- банковские реквизиты и адреса сторон.

#### **6. *Надзор за поставщиком:***

• собственно надзор за работами поставщика в соответствии со вспомогательными процессами:

- совместного анализа,
- аудита,
- верификации,
- аттестации;

• взаимодействие с поставщиком: обмен информацией, решение возникающих проблем.

#### **7. *Приемка и закрытие договора:***

- подготовка к приемке:
  - подготовка контрольных примеров,
  - подготовка процедур тестирования,
  - подготовка условий проведения испытаний,
  - определение степени участия поставщика при проведении приемки;
- проведение приемки в соответствии с планом заказа и ТЗ;
- принятие ответственности за управление конфигурацией.

#### ***4.2.2. Процесс закупки комплектующих изделий***

Представленный на рис. 4.4 алгоритм может быть применен для разработки процесса закупок материалов и комплектующих изделий, а также для поддержания в рабочем состоянии документированных процедур системы менеджмента качества, распространяющихся на процесс закупок.

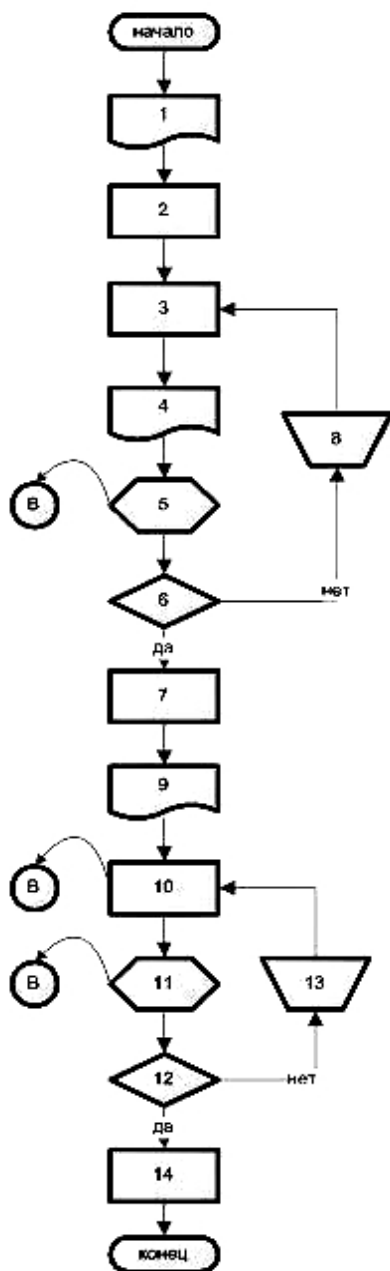


Рис. 4.4. Структура операций и переходов на этапе закупки изделий

Алгоритм применяется при управлении процессом, проверке его выполнения и действиях по улучшению показателей процесса закупок. В табл. 4.1 приводятся операции и переходы, связанные с процессом закупки, а также предполагаемый исполнитель и соответствующий регламентирующий документ.

Т а б л и ц а 4.1

**Операции и переходы на этапе закупки изделий**

№ п/п	Наименование работ	Ответственный исполнитель	Регламентирующий документ
1	Заявки на приобретение материально-технических ресурсов (МТР)	Подразделение – потребитель МТР	Стандарт предприятия
2	Определение требований к закупаемым МТР	Подразделение-потребитель МТР	Конструкторская документация, Требования договора
3	Подготовка документации	Отдел материально-технического обслуживания (ОМТО)	Стандарт предприятия
4	Документация на закупку МТР	ОМТО	То же
5	Контроль документации на закупку МТР	Руководитель работ ОМТО	»
6	Решение по документации на закупку МТР	Директор предприятия	Стандарт предприятия
7	Выбор и оценка субпоставщиков МТР	ОМТО. Отдел качества	То же
8	Корректировка документации на закупку МТР	ОМТО. Подразделение – потребитель МТР	»
9	Документы на поставку МТР (договор, счёт, письмо, заявка и т.п.)	ОМТО	»
10	Приобретение МТР и доставка	ОМТО	»
11	Контроль сопроводительной документации и входной контроль МТР	ОТК ОМТО	»
12	Решение по результатам контроля	Отдел технического контроля (ОТК). Отдел качества	»
13	Замена МТР или возврат субпоставщику	ОМТО	»
14	Передача МТР в производство или на место назначения	Планово-диспетчерский отдел (ПДО). ОМТО	»

### 4.3. Вспомогательные процессы

**Вспомогательный процесс** является целенаправленной составной частью другого процесса, обеспечивающей его успешную реализацию и качество выполнения. Вспомогательный процесс при необходимости инициируется и используется другим процессом. Вспомогательными процессами являются:

- **документирование** – описание сформированных требований, полученных результатов и т.п.;

- **управление конфигурацией** – управление конфигурацией технических и программных средств;

- **обеспечение качества** – объективное обеспечение соответствия продуктов проектирования и процессов установленным для них требованиям и реализации в рамках утвержденных планов;

- **верификация** – верификация (заказчиком, поставщиком или независимой стороной) разработанных продуктов и процессов, т.е. их соответствие предъявляемым требованиям;

- **аттестация** – окончательное утверждение (заказчиком, поставщиком или независимой стороной) соответствия продуктов проектирования предъявляемым к ним требованиям;

- **совместный анализ** – оценка состояния и результатов какой-либо деятельности. Данный процесс может использоваться двумя любыми сторонами, когда одна из сторон проверяет другую;

- **аудит** – определение соответствия требованиям, планам и договору. Данный процесс может использоваться, когда одна из сторон контролирует продукты и работы другой стороны;

- **решение проблемы** – анализ и устранение проблем (включая несоответствия), которые были обнаружены во время разработки, эксплуатации или других процессов, независимо от их характера и источника.

### 4.4. Организационные процессы

**Организационные процессы** служат для создания и реализации основной структуры, охватывающей взаимосвязанные процессы жизненного цикла и соответствующий персонал, а также для их постоянного совершенствования. Организационными процессами являются:

- **управление**, включая управление проектом, при реализации процессов жизненного цикла;
- **создание инфраструктуры** процессов жизненного цикла;
- **усовершенствование** – создание, оценка, контроль и усовершенствование (заказчиком, поставщиком, разработчиком, персоналом сопровождения или администратором другого процесса) выбранных процессов жизненного цикла;
- **обучение** – соответствующее обучение персонала заказчика, поставщика, разработчика или кого-либо другого.

## 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

### 5.1. Основные понятия

Вся человеческая деятельность направлена на окружающие объекты (от лат. *objectio* – предмет), которые существуют вне нашего сознания и взаимодействуют между собой и внешней средой.

В практической и повседневной деятельности человека и научных исследованиях большую роль играют *гипотезы*, т.е. определенные предсказания, основывающиеся на небольшом количестве опытных данных, наблюдений и догадок. При формулировке гипотез и проверке их достоверности большое значение имеют прототипирование и аналогия как метод суждения. Проверка предлагаемых гипотез может быть осуществлена в ходе специально поставленного эксперимента.

**Прототипирование** (англ. *prototyping*) – это быстрая «черновая» реализация базовой функциональности для анализа работы системы в целом путем создания опытных образцов или работающей модели для демонстрации заказчику или проверки возможности реализации.

**Аналогией** называют суждение о каком-либо частном сходстве двух объектов, причем такое сходство может быть существенным и несущественным. Существенность сходства (различия) зависит от уровня абстрагирования и в общем случае определяется конечной целью проводимого исследования. Современная научная гипотеза создается, как правило, по аналогии с проверенными на практике научными положениями. Таким образом, аналогия связывает гипотезу с экспериментом.



Гипотезы и аналогии, отражающие реальный, объективно существующий мир, должны обладать наглядностью или сводиться к удобному для исследования логическим схемам. Такие логические схемы, упрощающие рассуждения и логические построения или позволяющие проводить эксперименты, уточняющие природу явлений, называются *моделями*.

**Модель** (от лат. *modulus* – мера) это объект, который заменяет физический объект (систему, понятие) в процессе эксперимента, сохраняя его основные черты и свойства.

**Моделированием** называется замещение одного объекта другим с целью получения информации о свойствах объекта-оригинала путем изучения объекта-модели. Таким образом, моделирование – это: 1) создание и использование вспомогательных объектов для изучения оригиналов; 2) метод исследования окружающей действительности; 3) инструмент в научной и практической деятельности специалистов.

Теория замещения одних объектов (оригиналов) другими объектами (моделями) и исследования свойств объектов на их моделях называется *теорией моделирования*.

Ответим на вопрос о том, зачем нужна модель, так как ясно, что копия всегда хуже оригинала.

Эксперимент с реальным объектом может дорого стоить и долго выполняться. Если объект находится в рабочем режиме, то проводить эксперимент с ним неудобно; невозможно практически проверить все необходимые гипотезы и допущения. Кроме того, экспериментировать может быть просто опасно.

Имеет смысл использовать моделирование, например, в случаях, когда оригинал не существует или безвозвратно потерян, когда исследование оригинала опасно для жизни, дорого или вообще невозможно.

Возвращаясь к определению моделирования, остановимся на том, что означает слово «замена». Моделирование как метод исследования на основе переноса изучаемых свойств системы на объекты другой природы включает в себя три ключевых требования:

1) отбор существенных факторов и их оценка. Какие свойства? Как их оценить количественно и качественно?

2) целостность. Как они связаны внутри? Как они взаимодействуют с внешней средой?

3) адаптация. Как они существуют исторически? И т.д.

Как заметил Р. Беллман, моделирование – это «вечное балансирование перед болотами переусложнения и ... переупрощения».

Приведем еще два характерных высказывания на тему моделирования.

«Правильная постановка задачи, даже более важна, чем само ее решение» (А. Эйнштейн). Рис. 5.1 хорошо иллюстрирует это высказывание.

«Самой большой проблемой моделей управления является то, что в самом управлении их практически не используют» (Дж. Литтл).

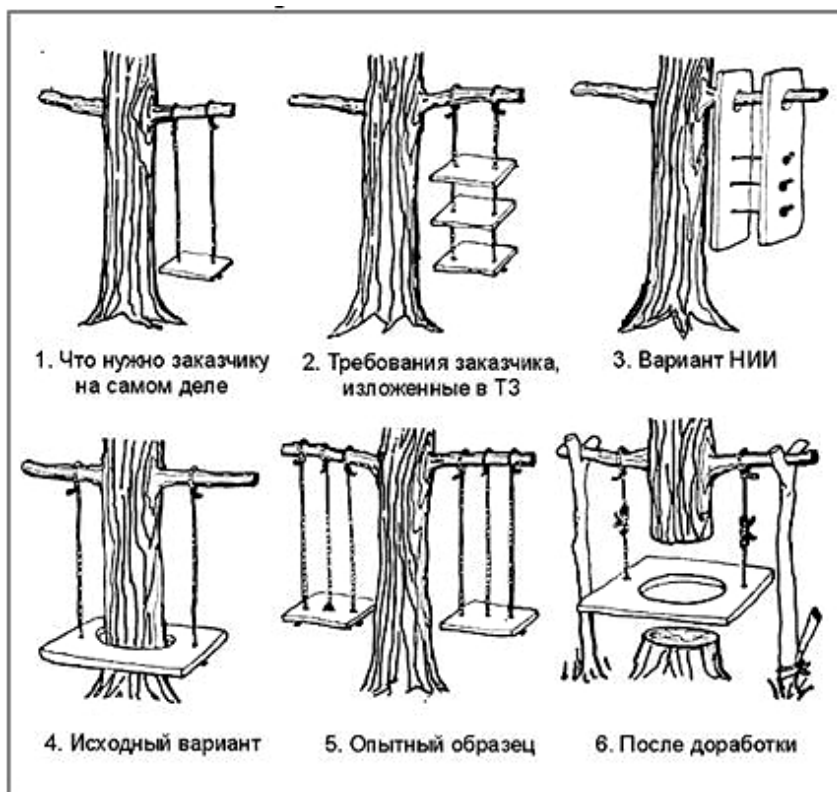


Рис. 5.1. Иллюстрация неправильной формулировки технического задания

**Адекватность и точность моделей.** Модель может быть точной копией (но, возможно, другого масштаба – модель летательного аппарата), а может отображать характерные свойства в абстрактной форме (компьютерная программа).

Абсолютно точных моделей не существует (исключая тривиальные случаи). Обычная оценка – от 0 до 1.

Различают модели гомоморфные и изоморфные. **Гомоморфизм** – это отображение системы в однотипную с ней систему с сохранением основных свойства оригинала. **Изоморфизм** – взаимно однозначное соответствие между оригиналом и моделью, сохраняющее все операции и отношения между элементами.

Доказать адекватность и точность моделей можно на практике, но только в частных случаях (модель для конкретного проекта), а также научными методами (диссертационная статья, создание унифицированной модели для исследования других систем).

Функции моделей (по Роберту Шеннону):

1. Средство осмысления действительности («Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать»).

2. Средство общения. Модель делает более понятной общую структуру исследуемого объекта, вскрывает важные причинно-следственные связи.

3. Средство обучения и тренировки (военные, летчики, водители автомобилей, деловые игры, дистанционное обучение и т.д.).

4. Инструмент прогнозирования (создание новой системы (самолет, автомобиль), высокая стоимость ошибки при неправильной оценке решений в действующей системе).

5. Средство постановки экспериментов (если экспериментирование на реальных объектах практически невозможно или экономически нецелесообразно).

Цель моделирования – понять и изучить качественную и количественную природу явления (объекта, системы, процесса) отразить существенные для его исследования черты явления в пригодной для практического использования форме.

Модель может служить для достижения одной из двух основных целей: описательной (для объяснения и лучшего понимания объекта) и предписывающей (для предсказания и воспроизведения характеристик объекта, определяющих его поведение).

К достоинствам моделирования следует отнести универсальность, меньшую стоимость (как правило), меньшую продолжительность во времени (например, для экономических моделей).

Недостатками являются трудности при построении адекватной модели и оценке ее точности (рис. 5.2), необходимость собирать большое количество достоверной информации (в реальной системе они уже есть), а также нецелостность модели (любой объект – это не просто сумма элементов, а система).

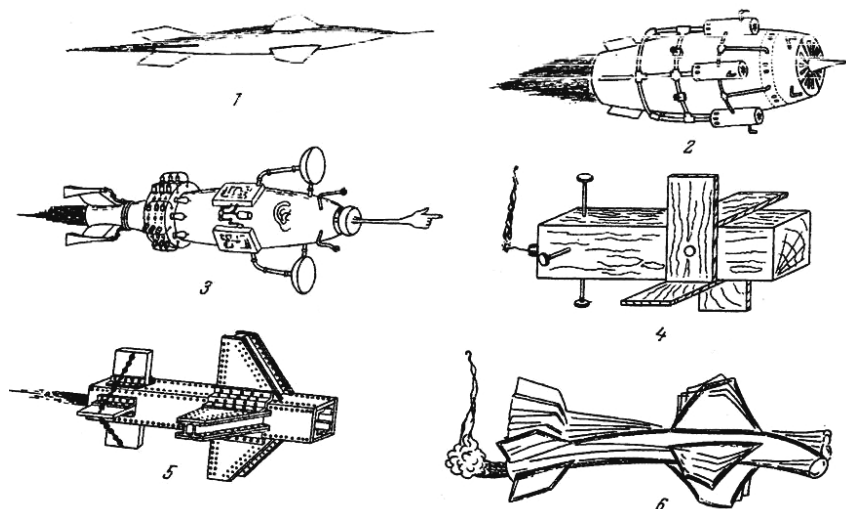


Рис. 5.2. Модели летательного аппарата по представлениям различных специалистов: 1 – аэродинамика; 2 – двигателя; 3 – управления; 4 – технолога; 5 – прочника; 6 – специалиста по динамике конструкций

## 5.2. Классификация и виды моделей

Существующие виды моделей удобно проследить и установить их взаимосвязь по структурной схеме, приведенной на рис. 5.3, где в основу классификации положено деление их способов моделирования на следующие группы, имеющие общие характерные признаки.

### 5.2.1. Классификация моделей

1. По способу представления объекта моделирования:
  - статические (например, поперечный разрез объекта). Описывают поведение объекта в фиксированный момент времени;

- динамические (временные ряды). Отражают поведение объекта во времени;
- детерминистские. Любые случайные воздействия на систему отсутствуют;
- стохастические. Отображают вероятные процессы и события в системах;
- дискретные. Описывают поведение системы в заданные моменты времени;
- непрерывные. Отражают непрерывные процессы в системах.

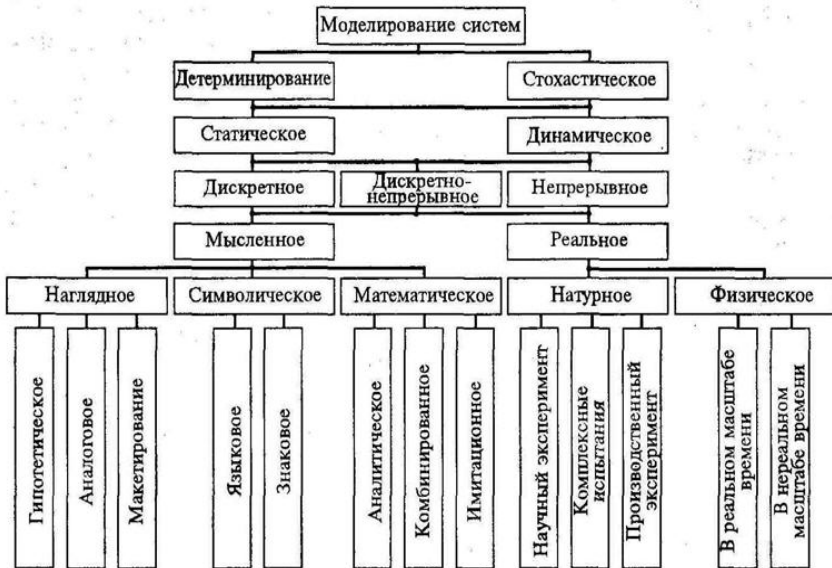


Рис. 5.3. Классификация способов моделирования систем

## 2. По назначению:

- исследовательские (предпроектные) модели;
- модели поддержки функционирования;
- модели реального времени, являющиеся составной частью реальной системы (используются либо для управления, либо для отладки);
- аналоговые модели, основанные на применении аналогий различного уровня;
- модели оперативного управления (ГАП).

3. По степени соответствия реальному объекту (исследование на объекте или его части):

- материальные модели. Модель и моделируемый объект представляют собой материальные объекты или процессы единой физической природы, причем между процессами в объекте-оригинале и в модели выполняются соотношения подобия, вытекающие из схожести физических явлений;

- физически состоятельные. Исследование проводится на установках, которые сохраняют природу явлений и обладают физическим подобием. Физическим принято называть моделирование, при котором с реальным объектом сопоставляется его увеличенная или уменьшенная копия-макет, допускающая исследование (как правило, в лабораторных условиях) с помощью последующего переноса свойств изучаемых процессов и явлений с модели на объект на основе теории подобия;

- аналоговые модели. Моделирование основано на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но одинаково описываемых формально (одними и теми же математическими уравнениями);

- натурные модели. Исследование проводится на самой системе с последующей обработкой результатов при помощи теории подобия;

- ложные модели. Эти модели принято называть моделями «черного ящика». Они строятся на основе приближенных или эмпирических формул и гипотез, характеризующих объект. Главным в этих моделях является их реакция в виде выходных данных на поступившие входные данные.

4. По способу реализации:

- мысленные модели. Это модели, воспринимаемые органами чувств человека (зрение, слух, обоняние). Объект не может быть создан или не реализуется в заданном интервале времени;

- концептуальные модели (например, управление проектами);

- математические модели. Представление объекта знаковыми средствами математики;

- ситуационные модели. Ситуационной моделью называют информацию о ситуации, в которой предстоит действовать изучаемому объекту. Из типовых свойств этих моделей можно выделить следующие: очень часто они не содержат полную информа-

цию об исследуемом явлении или объекте, а также предполагают возможное включение человека или животного в качестве изучаемого объекта;

- компьютерные модели;
- имитационные модели;
- мысленные физические модели. Это синтез компьютерного и

реального моделирования. К ним относятся:

1) средства виртуальной реальности – шлемы (звук и изображение), обоняние, тактильные свойства (ощущения реальных устройств управления и объектов окружающего мира). В настоящее время подобные модели широко внедряются на военных тренажерах. Такие модели имеют высокую стоимость, но другого способа имитации реальных боевых действий пока не существует;

2) средства конструирования трехмерных моделей объектов (эффект не только объема, но и взаимодействия с окружающей средой).

Рассмотрим особенности наиболее важных и чаще всего используемых моделей.

### *5.2.2. Математические модели*

Математические модели представляют собой систему математических уравнений или неравенств, адекватно описывающую изучаемое явление или процесс. Моделирование, включая и построение модели, осуществляется средствами математики и логики. Если исследуемую систему можно описать с помощью математических методов, то данный вид моделирования предпочтительнее любого другого.

Несмотря на шутовское замечание Джона Чепмена: «Всякое уравнение длиной более 2 дюймов, скорее всего, неверно» (выступление на конференции 1982 г.) все большее распространение получают модели, в которых объединяются математические модели из различных предметных областей и широко используются методы оптимизации систем, основанные на междисциплинарной оптимизации (рис. 5.4).

Компьютерная модель – это образ объекта или системы, реализуемый программными и техническими средствами компьютера с целью получения информации об объекте, т.е. построения информационной модели.

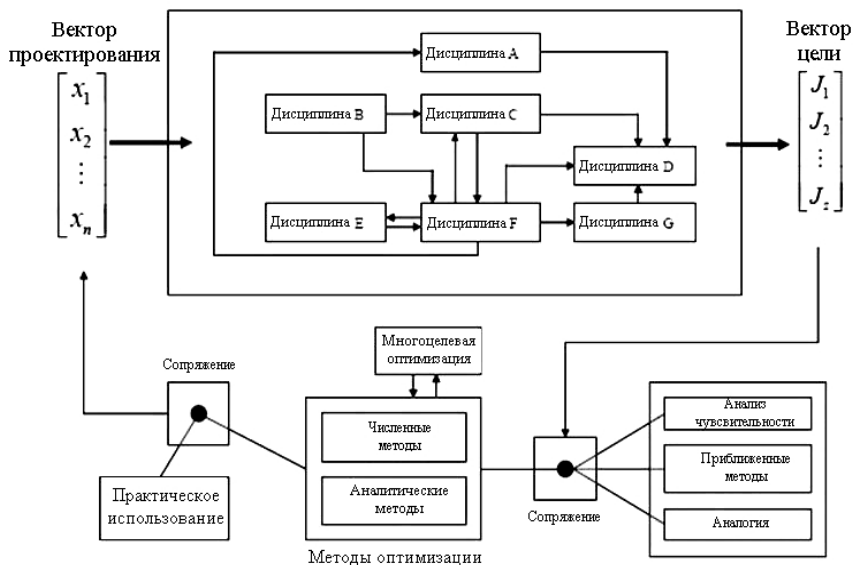


Рис. 5.4. Структурная схема междисциплинарной оптимизации системы

### Примеры компьютерных моделей:

- структурно-функциональная – условный образ объекта или некоторой системы объектов (или процессов), описанный с помощью взаимосвязанных компьютерных таблиц, блок-схем, диаграмм, графиков, рисунков, анимационных фрагментов, гипертекстов и т.д. и отображающий структуру и взаимосвязи между элементами объекта;
- модель виртуальной реальности.

Предметом компьютерного моделирования может быть любой реальный объект или процесс, и вообще любая сложная система: экономическая деятельность фирмы или банка, промышленное предприятие, информационно-вычислительная сеть, технологический процесс.

Суть компьютерного моделирования состоит в получении количественных и качественных результатов по имеющейся модели, т.е. создание информационной модели объекта исследования. Качественные выводы, получаемые по результатам анализа, позволяют обнаружить не известные ранее свойства сложной системы:



ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и др. Количественные выводы в основном носят характер прогноза некоторых будущих или объяснения прошлых значений переменных, характеризующих систему.

Очень часто компьютерная модель представляет собой программную реализацию математической модели, дополненную различными служебными программами (например, рисующими и изменяющими графические образы во времени). Компьютерная модель имеет программную и аппаратную составляющие. Программная составляющая также является абстрактной знаковой моделью. Это лишь другая форма абстрактной модели, которая, однако, может интерпретироваться не только математиками и программистами, но и техническим устройством – процессором компьютера.

Компьютерные модели, как правило, являются знаковыми или информационными. К знаковым моделям в первую очередь относятся математические модели, демонстрационные и имитационные программы.

### ***5.2.3. Информационная модель***

Информационная модель – это набор данных, содержащий необходимую информацию об объекте, процессе или явлении. Примером такой модели может служить информационная модель изделия (рис. 5.5), представленная в цифровой форме, с целью использования в системе управления ее жизненным циклом, построенная на основе CALS-технологий.

Эта модель имеет программную и аппаратную составляющие и фактически является компьютерной моделью, основная задача которой – информационное описание объекта или явления.

Современной тенденцией развития компьютерного моделирования является создание полных цифровых моделей систем и переход к глобальному управлению знаниями. На рис. 5.6 изображена тенденция развития систем промышленной автоматизации работ в САПР изделия, от эпохи ручного черчения в 1970-х годах до создания систем управления знаниями. Очевидно, что компьютер используется не только для построения моделей, но и для управления самими моделями, а также для компьютерного моделирования.

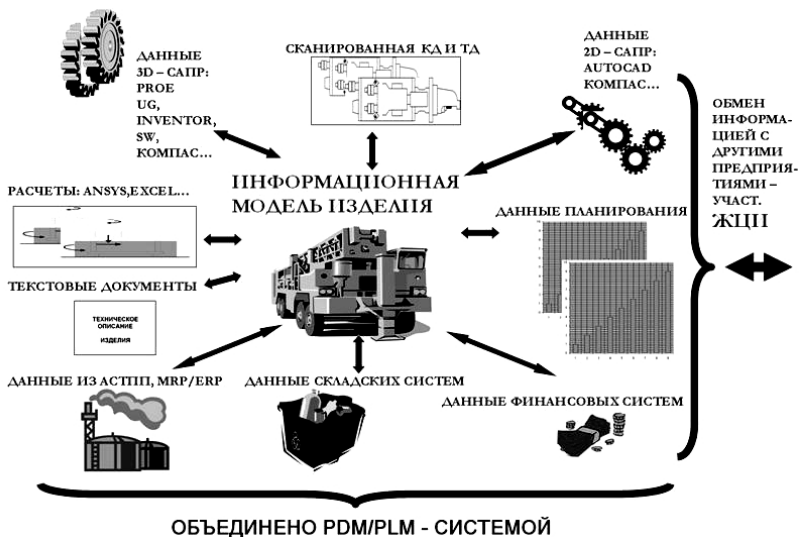


Рис. 5.5. Электронная информационная модель изделия

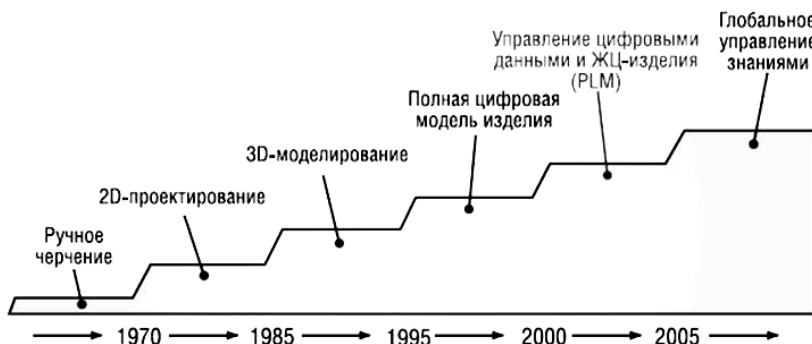


Рис. 5.6. «Лестница» развития систем промышленной автоматизации

Например, для создания моделей изделий используются САD-системы 2D и 3D графического моделирования. Полученные концептуальные объемные модели могут служить в качестве прототипов в системах виртуальной реальности. Процесс создания цифровой модели изделия продолжается в соответствии с его этапами жизненного цикла вплоть до создания его полной информационной модели.

Важным в процессе создания информационной модели изделия является проведение экспериментов с создаваемыми моделями. Однако модели часто имеют большое количество входных параметров, которые независимы и могут изменяться в широком диапазоне. Простой перебор их комбинаций приводит к неоправданно большим затратам временных и вычислительных ресурсов. В таких случаях целесообразно воспользоваться теорией планирования экспериментов, которая позволяет указать минимальный набор комбинаций параметров, могущий предсказать адекватное поведение исследуемой модели.

### 5.3. Планирование экспериментов

Основная задача планирования экспериментов заключается в получении необходимой информации об исследуемой системе при ограниченных ресурсах (затраты машинного времени, памяти и т.п.).

Эффективность машинных экспериментов существенно зависит от выбора плана эксперимента, так как именно план определяет объём и порядок вычислений на ЭВМ, приёмы накопления и статистической обработки результатов моделирования системы. Поэтому основная задача планирования машинных экспериментов с моделью формулируется следующим образом: необходимо получить информацию об объёме моделирования, заданном в виде моделирующего алгоритма (программы), при минимальных или ограниченных затратах машинных ресурсов на реализацию процесса моделирования. Таким образом, при машинном моделировании необходимо рационально планировать и проектировать не только саму модель системы, но и процесс её использования, т.е. проведение с ней эксперимента.

При планировании машинных экспериментов возникает целый ряд проблем, связанных как с функционированием моделируемого объекта, так и с машинной реализацией модели и обработкой результатов эксперимента: построение плана машинного эксперимента, стохастическая сходимость результатов, ограниченность машинных ресурсов, уменьшение дисперсии оценок, полученных на машинной модели, и т.д.

В теории планирования эксперимента (ТПЭ) различают входные (изогенные) и выходные (эндогенные) переменные:  $x_1, x_2, \dots, x_k$ ;  $y_1, y_2, \dots, y_e$ . Входные переменные называют факторами, а вы-

ходные – реакциями. Каждый фактор  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  может принимать в эксперименте одно или несколько значений, называемых уровнями. Фиксированный набор уровней факторов определяет одно из возможных состояний рассматриваемой системы. Одновременно этот набор представляет собой условия проведения одного из возможных экспериментов.

Каждому фиксированному набору уровня факторов соответствует определённая точка в многомерном пространстве, называемая факторным пространством. Эксперименты не могут быть реализованы во всех его точках, а лишь в принадлежащих допустимой области, как, например, для случая двух факторов  $X_1$  и  $X_2$  на рис. 5.7.

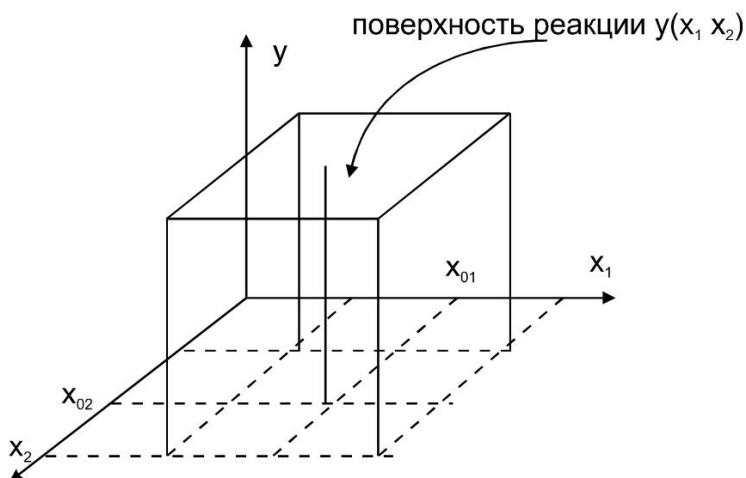


Рис. 5.7. Геометрическое представление поверхности реакции.

Реакцию (отклик) системы можно представить в виде зависимости  $y_l = \Psi_l(x_1, x_2, \dots, x_k)$ ;  $l = 1, \dots, m$ . Функцию  $\Psi_e$ , связанную с факторами, называют функцией отклика, а её геометрический образ – поверхностью отклика. Исследователю заранее не известен вид зависимостей  $\Psi_l$ ,  $l = 1 \dots m$ , поэтому используют приближенные соотношения  $\tilde{y}_l = \Psi_l(x_1, x_2, \dots, x_k)$ ,  $l = \overline{1, m}$ .

При планировании эксперимента обычно изменяются несколько факторов. Основные требования, предъявляемые к ним, – независимость и совместимость. Совместимость означает, что все комбинации факторов осуществимы.

План эксперимента используется для определения экстремальной характеристики объекта, поэтому планирование эксперимента называется экстремальным. При этом наибольшее распространение получили модели в виде алгебраических полиномов.

Предполагается, что изучается влияние  $k$  количественных факторов  $x_i$  на некоторую функцию отклика  $\eta$  в отведённый для экспериментирования локальной области факторного пространства, ограниченного  $x_{i \min} - x_{i \max}$ ,  $i = 1, \dots, k$ .

Функцию отклика обычно выбирают линейной или квадратичной:

$$\eta = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j = f(\vec{x}) \vec{B}, \quad (5.1)$$

где  $\vec{f}(\vec{x})$  – вектор с элементами  $f_\alpha(\vec{x})$ ,  $\alpha = 0, d$ , входящими в исходный полином;  $\vec{B}$  – вектор коэффициентов. Для двух факторов  $f_0 = 1, f_1 = x_1, f_2 = x_2, f_{12} = x_1 x_2, f_{11} = x_1^2, f_{22} = x_2^2$ .  $\vec{B} = (b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22})$ .

Так как полином (5.1) содержит  $d$  коэффициентов, то план эксперимента должен содержать  $N \geq d$  различных экспериментальных точек:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1N} & x_{2N} & \dots & x_{kN} \end{bmatrix},$$

где  $x_{in}$  – значение, которое принимает  $i$ -я переменная в  $u$ -м испытании;  $i = 1, \dots, k$ ,  $u = 1, \dots, N$ . Матрица  $D$  называется планом эксперимента.

Реализовав испытания в  $N$  точках области факторного пространства, определённом планом эксперимента, получим вектор наблюдений;

$$\vec{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix},$$

где  $y_u$  – реакция в соответствующей  $u$ -й точке плана.

Плану эксперимента поставим в соответствие матрицу планирования:

$$x = \begin{bmatrix} f_{01} & f_{11} & f_{21} & \dots & f_{111} & f_{221} \\ f_{02} & f_{12} & f_{22} & \dots & f_{112} & f_{222} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{0N} & f_{1N} & f_{2N} & \dots & f_{11N} & f_{22N} \end{bmatrix},$$

где  $f_{il}$ ,  $f_{ijl}$  – координатные функции при соответствующих коэффициентах модели в  $l$ -м эксперименте.

Построению плана эксперимента предшествует проведение ряда неформализованных действий (принятия решения), направленных на выбор локальной области факторного пространства  $G$ .

Необходимо учитывать, что как только модель сформирована, включение дополнительных факторов для уточнения модели невозможно. Вначале следует выбрать границы  $x_{i \min}$  и  $x_{i \max}$  области определения факторов исходя из свойств объекта. Например, температура при термобарических экспериментах не может быть ниже абсолютного нуля и выше температуры плавления материала, из которого изготовлена термобарокамера.

После определения области  $G$  необходимо найти нулевые (основные) уровни факторов и интервалы варьирования  $\Delta x_i$ ,  $i = 1, \dots, k$ .

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом (ПЭФ). Если выбранная модель включает только линейные члены полинома и их произведения, то для оценки коэффициентов модели используется ПЭ с варьированием всех  $k$  факторов на двух уровнях, т.е.  $q = 2$ . Такие планы называются планами типа  $2^k$ , где  $n = 2^k$  – число всех возможных испытаний.

Начальный этап ПЭ для получения коэффициентов линейной модели основан на варьировании факторов на двух уровнях: нижнем  $x_{iн}$  и верхнем  $x_{iв}$ , симметрично расположенных относительно основного уровня  $x_{i0}$ ,  $i = 1, \dots, k$ . Геометрическая интерпретация показана на рис. 5.8.

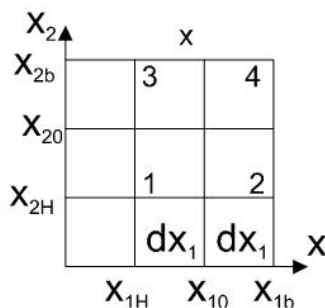


Рис. 5.8. Полный факторный эксперимент типа  $2^2$

Для упрощения записи условий каждого эксперимента факторы кодируют в виде безразмерных величин:  $\tilde{x}_i = (x_i - x_{i0})/\Delta x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ . Средний уровень кодированного фактора является нулём, граничные значения – соответственно +1 и -1.

В заключение приведем высказывание Рональда Говарда: «Ставить эксперимент имеет смысл лишь в том случае, когда выгода от него превышает затраты на его осуществление».

## 6. МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Модель жизненного цикла – это структура, определяющая последовательность и взаимосвязь процессов, выполняемых на протяжении ЖЦ.

Наибольшее распространение получили следующие модели:

1) каскадная (1970–80-е гг.) – переход на следующий этап после полного окончания работ по предыдущему. Характеризуется четким разделением данных и процессов их разработки;

2) поэтапная с промежуточным контролем (1980–85-е гг.) – итерационная модель разработки с циклами обратной связи между этапами;

3) спиральная (1986–90-е гг.);

4) V-образная;

5) модель прототипирования;

6) модель быстрой разработки приложений RAD (Rapid Application Development). К ее распространенным моделям можно отнести инкрементную модель жизненного цикла, различные адаптированные модели, модели быстрого отслеживания и параллельного инжиниринга.

**Каскадная модель.** Иногда ее называют водопадной (waterfall model), так как этапы ее ЖЦ последовательно связаны между собой. Достоинство этой модели в том, что на каждом этапе формируется законченный набор проектной документации, отвечающий критериям полноты и согласованности. На заключительных этапах разрабатывается пользовательская документация, охватывающая все этапы ЖЦ. Логичная последовательность этапов работ позволяет легко планировать сроки завершения и соответствующие затраты (рис. 6.1).

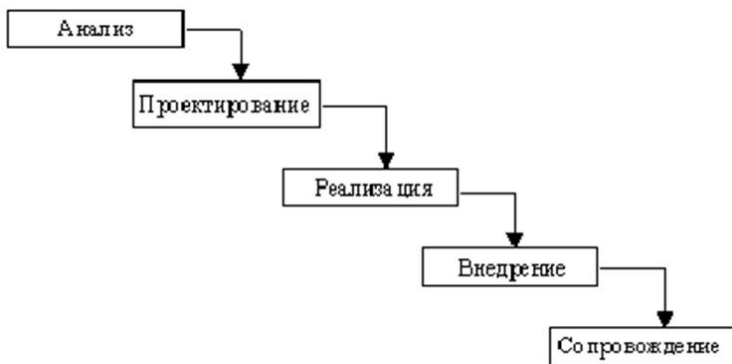


Рис. 6.1. Каскадная модель жизненного цикла

К недостаткам каскадной модели следует отнести существенное запаздывание с получением результатов, сложность распараллеливания работ по проекту, чрезмерную информационную перенасыщенность каждого из этапов, сложность управления проектом, высокий уровень риска и ненадежность инвестиций.

Реально в процессе создания системы постоянно возникает потребность вернуться к предыдущим этапам, уточнить или пересмотреть ранее принятые решения. Поэтому была создана более совершенная по сравнению с каскадной поэтапная модель ЖЦ с промежуточным контролем (рис. 6.2).

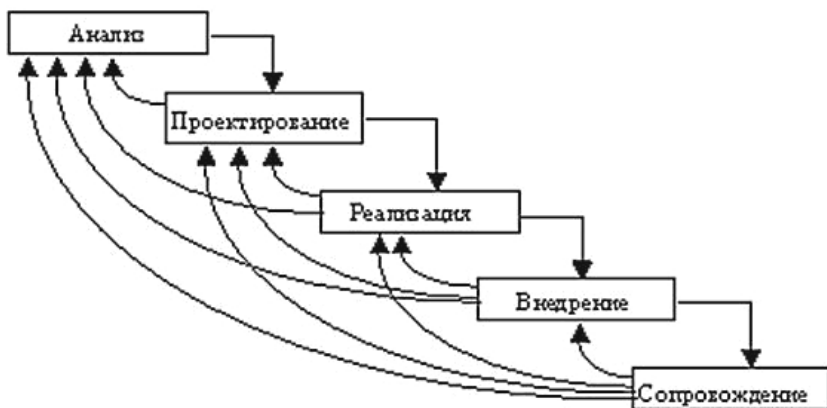


Рис. 6.2. Поэтапная модель с промежуточным контролем



**Поэтапная модель с промежуточным контролем.** Основным ее преимуществом является возможность проведения межэтапной корректировки, что позволяет обеспечить меньшую трудоемкость по сравнению с каскадной моделью. Недостаток же поэтапной модели в том, что время жизни каждого из этапов ЖЦ растягивается на весь период разработки.

**Спиральная модель.** В ней создается несколько версий системы, которая совершенствуется на каждом витке спирали (рис. 6.3). Основным упор делается на начальные этапы ЖЦ, когда выполняется анализ и проектирование системы. При этом возможность реализации новых технических решений проверяется путем создания прототипов.

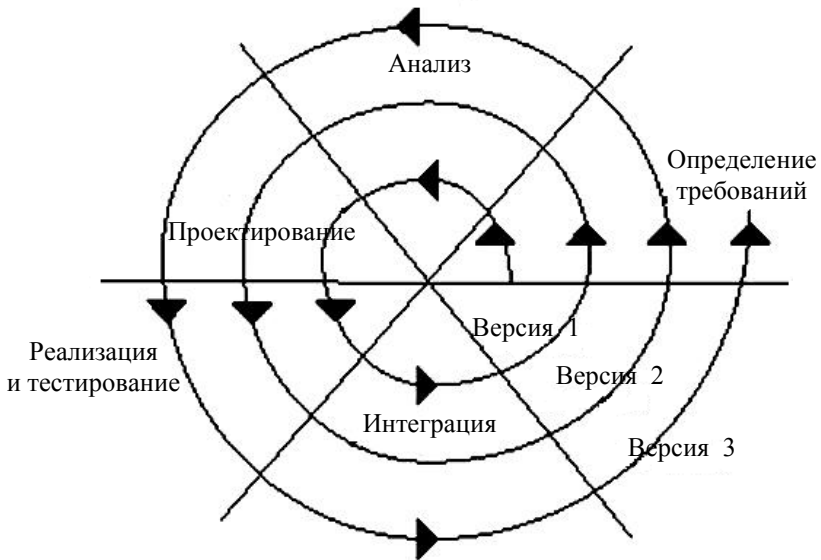


Рис. 6.3. Спиральная модель жизненного цикла

К достоинствам такой модели можно отнести возможность накопления и повторного использования средств, моделей и прототипов, ориентацию на развитие и модификацию системы, возможность оценки рисков и издержек в процессе проектирования.

Основной упор делается на начальные этапы ЖЦ, когда выполняется предварительное и детальное проектирование. Каждый виток спирали соответствует поэтапной модели создания фрагмен-

та или версии системы. На каждом витке уточняются цели и характеристики проекта, определяется его качество, планируются работы следующего витка спирали. Поэтапно углубляются и последовательно конкретизируются детали проекта. В результате выбирается обоснованный вариант, который доводится до реализации.

*V-образная модель* является разновидностью каскадной и имеет такую же последовательную структуру. Как и в каскадной модели, здесь каждый последующий этап начинается после завершения предыдущего, но особое внимание уделяется верификации и аттестации продукта. Тестирование продукта обсуждается и планируется на ранних этапах жизненного цикла разработки системы. План приемочных испытаний разрабатывается на этапе планирования, а программа комплексного испытания системы – на этапах анализа и разработки проекта. В данной модели подчеркнуты взаимосвязи между аналитическими этапами и этапами проектирования.

Преимущества V-образной модели наиболее отчетливо проявляются в тех проектах, где вся информация о требованиях к продукту известна заранее, методы реализации и технологии отработаны, а персонал всесторонне подготовлен и имеет необходимый опыт.

Особое значение придается планированию, направленному на верификацию и аттестацию разрабатываемого продукта на ранних стадиях его разработки. В модели предусмотрены аттестация и верификация всех внешних и внутренних полученных данных, а не только самой системы. Требования определяются перед разработкой проекта системы, а проектирование системы предшествует разработке компонентов. Модель определяет продукты, которые должны быть получены в результате процесса разработки, причем каждый раз полученные данные должны подвергаться тестированию. Благодаря этой модели менеджеры проекта могут отслеживать ход процесса разработки, так как в данном случае можно воспользоваться временной шкалой, а завершение каждой фазы является контрольной точкой. Кроме того, модель проста в использовании, что выгодно отличает ее от других.

Присущи этой модели и некоторые недостатки. С ее помощью трудно исключить параллельные события. Она не учитывает итерации между фазами, не предусматривает динамические измене-

ния на разных этапах жизненного цикла. Тестирование требований в ЖЦ происходит слишком поздно, вследствие чего невозможно внести изменения, не повлияв при этом на график выполнения проекта. Кроме того, в этой модели отсутствуют требования к анализу рисков.

На рис. 6.4 в качестве примера изображена V-образная модель ЖЦ создания программного продукта, на которой пунктирными линиями показаны связи этапов ЖЦ и соответствующие им аналитические фазы, которые рассматриваются параллельно.



Рис. 6.4. Структурная схема V-образной модели ЖЦ

V-образную модель, как и ее предшественницу каскадную, удобнее всего применять тогда, когда вся информация о требованиях к продукту известна заранее. V-образная модель – отличный выбор для систем, в которых требуется высокая надежность. Примеры таких систем – прикладные программы для наблюде-

ния за пациентами в клиниках, а также встроенное ПО для устройств управления аварийными подушками безопасности в автомобилях.

**Эволюционная модель быстрого прототипирования (БП).**

При ее использовании система строится в виде последовательности прототипов, так как в начале жизненного цикла разработки системы неизвестны все предъявляемые к ней требования.

В качестве примера на рис. 6.5 приведена структурная схема эволюционной модели быстрого прототипирования ЖЦ разработки программной системы. Вначале определяются требования и разрабатывается предварительный план проекта. На их основе выполняется укрупненное проектирование, программирование и тестирование системы и ее программных компонентов. Тем самым реализуется построение исходного прототипа.



Рис. 6.5. Структура эволюционной модели быстрого прототипирования

После создания прототипа начинается итерационный процесс быстрого прототипирования. Сначала пользователь оценивает функционирование прототипа. По результатам оценки уточняются требования, на основании которых разрабатывается новый прототип. Этот процесс продолжается до тех пор, пока быстрый прототип не окажется удовлетворительным и будет принят пользователем. Затем осуществляется детализированный процесс разработки системы, во время которого реализуются несущественные функции системы.

Существуют различные варианты эволюционной модели жизненного цикла. Очень часто она применяется в комбинации с каскадной моделью. На начальном этапе проекта используется прототипирование, на последнем – этапы каскадной модели с целью обеспечить качество и функциональную эффективность системы.

Прототипирование наиболее эффективно в тех случаях, когда в проекте используется новая системная концепция или новая технология и не совсем ясны облик системы и предъявляемые к ней требования.

При создании технических систем, таких, например, как ракета или другой летательный аппарат, создается физическая модель, которая используется:

- для оценки эргономики, визуализации и дизайна изделия;
- для оценки функциональных возможностей изделия, проверки его качества, тактико-технических характеристик;
- для оценки аэродинамических и прочностных характеристик системы при инженерном анализе;
- для визуализации потоков, обтекающих корпус изделия и исследования внутренних течений;
- для дальнейшего применения в качестве модели при аэродинамических, бросковых и других испытаниях.

В этих случаях физический прототип строится с помощью твердотельной модели, созданной в САД-системе. Эта модель разбивается на тонкие слои в поперечном сечении с помощью специальной программы. При этом толщина каждого слоя равна разрешающей способности оборудования с учетом припуска на механическую обработку. Построение детали происходит послойно до тех пор, пока не будет получен физический прототип.

К достоинствам технологий БП можно отнести следующие:

- сокращение длительности технической подготовки производства новой продукции;
- снижение себестоимости продукции, особенно в мелкосерийном или единичном производстве;
- повышение гибкости и конкурентоспособности производства;
- применение компьютерных технологий и интеграция с современными системами управления ЖЦ изделия.

Среди недостатков можно отметить неполноту документации по ускоренным прототипам, высокую цену установок для создания прототипов и расходных материалов к ним, невысокую точность и прочность физических моделей. Кроме того, существует реальный риск создания системы, не имеющей никакой ценности для заказчика.

**Модель быстрой разработки приложений RAD.** Модель RAD, предложенная фирмой IBM, предусматривает активную работу пользователя (заказчика) вместе с исполнителем на всех этапах жизненного цикла, от определения требований до ввода системы в эксплуатацию. Как правило, она используется в составе другой модели для ускорения цикла разработки прототипа (версии) системы и представляет собой модель, на которой базируется прототипирование.

Продуктивность работы и существенное сокращение ее длительности обеспечиваются благодаря использованию специальных инструментальных средств. Процесс разработки заключается в итеративной генерации прототипов, анализ которых осуществляется совместно с заказчиком, причем на длительность процесса разработки накладывается жесткое ограничение.

Реализация модели RAD выполняется в следующие этапы.

1. Анализ и планирование требований к системе, который предусматривает совместное проведение структурного анализа решаемых системой задач.

2. Проектирование, которое включает в себя совместную разработку приложений для максимально полного сбора пользовательской информации. При этом широко используются инструментальные средства, обеспечивающие быструю разработку приложений.

3. Конструирование – реализация системы, ее тестирование и поставка заказчику в оговоренные сроки.

4. Ввод системы в эксплуатацию – установка системы, проведение заказчиком приемочных испытаний и обучение пользователей.

На рис. 6.6 приводится схема распределения трудозатрат при разработке программного обеспечения, отнесенная к этапам жизненного цикла. Из схемы явствует, что при использовании этой модели жизненного цикла максимум трудозатрат пользователя приходится на этап проектирования и пользовательского описания продукта.

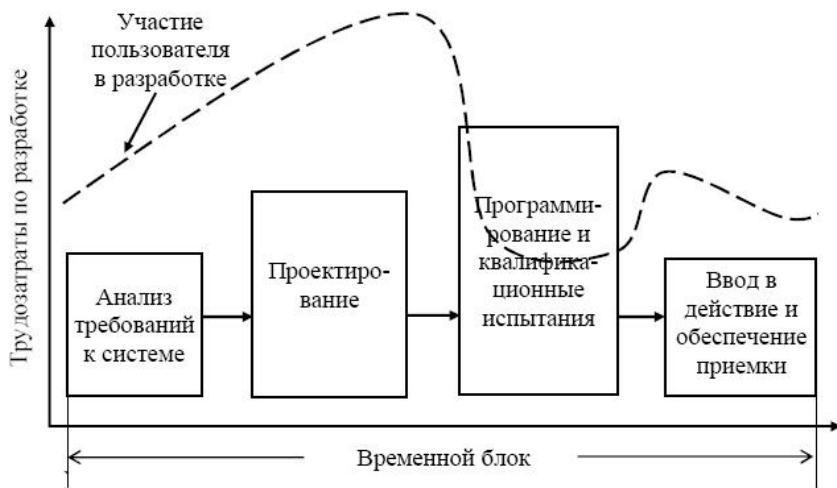


Рис. 6.6. Модель быстрой разработки приложений

Модель быстрой разработки приложений наилучшим образом может быть использована в тех случаях, когда требования к проектируемой системе хорошо известны. Хорошие результаты могут быть получены и в небольших системах, предназначенных для концептуальной проверки поставленных задач при невысокой степени технических рисков

## 7. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

### 7.1. Структурная схема процессов жизненного цикла

Рассмотрим пример, в котором необходимо определить прибыль предприятия с учетом затрат на производство и рекламу, воспользовавшись каскадной моделью жизненного цикла, описанной в предыдущем разделе. Схема процессов, соответствующих этой модели, приводится на рис. 7.1.

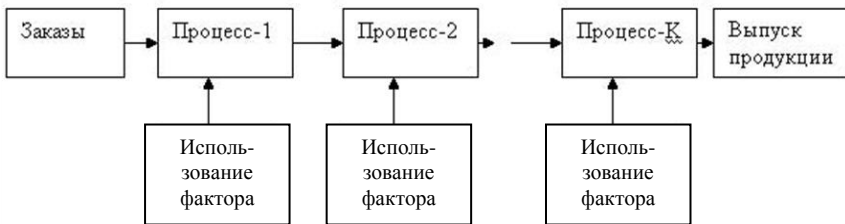


Рис. 7.1. Каскадная модель жизненного цикла

Построим имитационную модель работы предприятия, воспользовавшись методом статистических испытаний. При этом сделаем следующие допущения.

1. Выпускается одна продукция поэтапным процессом.
2. Каждый процесс описывается собственной производственной функцией, не зависящей от производственных функций остальных  $k - 1$  процессов.
3. Выпуск продукции  $Q_j$  ( $j = 1, 2, k$ ) в единицу времени (темп производства)  $j$ -м процессом является случайной величиной. Функция плотности вероятностей темпа  $f_j(q)$  полностью определяется уровнем использования производственных факторов в этом процессе в течение планового периода ТМ. Фирма может менять вероятностное распределение величины  $Q_j$ . Если функция  $f_j(q)$  определена, то также определены математическое ожидание  $E(Q_j)$  и дисперсия  $\text{var}(Q_j)$  темпа производства  $j$ -го процесса.
4. Вместо  $Q_j$  удобнее взять время, необходимое для выпуска единицы продукта  $ST_j = 1/Q_j$  в  $j$ -м процессе ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) с плотностью вероятностей  $f_j(ST_j)$ , математическим ожиданием  $ET_j$  и дисперсией  $VT_j$ . Ее параметры полностью определяются уровнем использования производственных факторов в  $j$ -м процессе.



5. Число заказов, получаемых фирмой в единицу времени (или количество продукции, которую можно продать в единицу времени по определенной цене), является случайной величиной  $D$  с функцией плотности вероятностей  $f\{d\}$ , математическим ожиданием  $E(D)$  и дисперсией  $\text{var}(D)$ .

6. Последовательность промежутков времени между заказами  $AT_i$  – случайная величина с плотностью вероятности  $f(AT)$ , математическим ожиданием  $ET$  и дисперсией  $VT$ .

7. Фирма в течение периода планирования ТМ принимает все заказы вне зависимости от того, успевает она их выполнить в этом периоде или нет.

8. В начале планового периода ТМ руководство фирмы должно принять два решения:

- относительно уровней затрат на рекламу и сбыт ( $f\{d\}$ ,  $E(D)$  и  $\text{var}(D)$ ) на период ТМ);
- относительно распределения факторов по  $k$  производственным процессам ( $f_j(q)$ ,  $E(Q_j)$  и  $\text{var}(Q_j)$ ), где  $j = 1, 2, \dots, k$ ).

## 7.2. Математическая модель

В дальнейшем будем пользоваться следующими обозначениями.  $AT_i$  – промежуток времени между  $(i - 1)$ -м и  $i$ -м заказами ( $i = 1, \dots, m$ ); заказ есть требование потребителя произвести единицу конечного продукта;  $ST_{ij}$  – время обработки  $i$ -го заказа в  $j$ -м процессе,  $i = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, k$ ;  $WT_{ij}$  – время ожидания очереди  $i$ -м заказом в  $j$ -м процессе,  $i = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, k$ ;  $DT_{ij}$  – время, в течение которого простаивает  $j$ -й процесс в ожидании  $i$ -го заказа,  $i = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, k$ ;  $T_{ij} = WT_{ij} + ST_{ij}$ ,  $i = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, k$  – полное время пребывания  $i$ -го заказа в  $j$ -м процессе.

Считается, что в момент получения фирмой первого заказа, т.е. при  $i = 1$ , состояние фирмы описывается уравнениями

$$\begin{aligned}
 AT_i &= 0, \\
 DT_{11} &= 0, \quad DT_{12} = ST_{11}, \quad \dots \dots \dots DT_{1k} = \sum_{j=1}^{k-1} ST_{1j}, \\
 WT_{11} &= 0, \quad WT_{12} = 0, \quad \dots \dots \dots WT_{1k} = 0, \\
 T_{11} &= ST_{11}, \quad T_{12} = ST_{12}, \quad \dots \dots \dots T_{1k} = ST_{1k} .
 \end{aligned}$$

При поступлении дальнейших заказов, т.е. при  $i = 2, 3, \dots, m$ , эти уравнения надо соответствующим образом изменить:

$$T_{i1} = WT_{i1} + ST_{i1}, \quad i = 2, \dots, m$$

$$T_{i2} = WT_{i2} + ST_{i2}, \quad i = 2, \dots, m$$

.....

.....

$$T_{ik} = WT_{ik} + ST_{ik}, \quad i = 2, \dots, m$$

Ожидает ли заказ очереди в данном процессе или, напротив, процесс простаивает, зависит от знака разностей ( $i = 2, \dots, m$ ):

$$DIF_1 = T_{i-1,1} - AT_i,$$

$$DIF_2 = (T_{i-1,1} + T_{i-1,2}) - (AT_i + WT_{i,1} + ST_{i1}),$$

.....

.....

$$DIF_k = (T_{i-1,1} + T_{i-1,2} + \dots + T_{i-1,k}) - \\ - (AT_i + WT_{i,1} + ST_{i1} + \dots + WT_{i,k-1} + ST_{i,k-1}).$$

Если для  $j$ -го процесса  $DIF_j > 0$ , то время простоя процесса равно нулю, а время ожидания

$$WT_{ij} = DIF_j, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Если для  $j$ -го процесса  $DIF_j < 0$ , то время ожидания процесса равно нулю, а время простоя

$$DT_{ij} = -DIF_j, \quad i = 2, \dots, m; \quad j = 1, \dots, k$$

Если для  $j$ -го процесса  $DIF_j = 0$ , то время ожидания процесса, как и время простоя, равно нулю. Промежуток времени между заказами  $AT_i$  считается случайной величиной с функцией плотности вероятностей  $f(AT)$ , математическим ожиданием  $ET$  и дисперсией  $VT$ . Для каждого процесса время обработки заказа  $ST_{ij}$  считается случайной величиной с функцией плотности вероятностей  $f_j(ST_j)$ , математическим ожиданием  $ET_j$  и дисперсией  $VT_j$ .

Прибыль равна ожидаемому полному доходу минус ожидаемые полные затраты, или

$$\text{Прибыль} = P * Q - C,$$

где  $P$  – цена продукта;  $Q$  – число единиц продукции, произведенной в течение периода ТМ;  $C$  – полные затраты.

### 7.3. Алгоритм статистического моделирования

Словесный алгоритм решения задачи можно представить в виде следующей последовательности операций.

1. Вводится в ЭВМ общее число процессов  $K$  и число повторений имитационного просчитывания  $N$ .

2. Вводятся цена продукта  $P$ , полные затраты  $C$ , время работы ТМ, математическое ожидание времени между заказами  $EAT$  и математические ожидания затрат времени на обработку заказа каждым из процессов  $EST_j$  ( $j = 1, \dots, k$ ). Эти величины служат параметрами данного плана.

3. Инициализируется номер прогона имитации  $L = 1$ .

4. Инициализируется число единиц готовой продукции  $Q = 1$ .

5. Генерируются затраты времени на обработку заказа в каждом из процессов  $ST_j$ .

6. Определяется время простоя, ожидания и полное время пребывания первого заказа в каждом процессе.

7. Определяется системное время. Эта величина подсчитывается как сумма времени простоя и времени, затраченного на производство, для  $K$ -го процесса. К концу планового периода системное время становится не меньше продолжительности периода ТМ.

8. Генерируется промежуток времени  $AT$  между поступлениями первого и второго заказов. Этот шаг дает указание о поступлении второго заказа.

9. Генерируются  $K$  новых величин затрат времени на производство.

10. Общее число выполненных заказов увеличивается на 1.

11. Величине  $B$  присваивается значение  $T(1)$ .

12. Величине  $D$  присваивается значение  $AT$ .

13. Шаги от 13 до 21 повторяются  $K$  раз – по одному для каждого производственного процесса.

14. Вычисляются разности  $WT(J)$ , играющей роль  $DIF(J)$ .

15. Если  $WT(J) > 0$ , то время простоя равно нулю, а время ожидания  $NT(J)$ .

16. Если  $WT(J) = 0$ , то и время ожидания, и время простоя равны нулю.

17. Если  $WT(J) < 0$ , то время ожидания равно нулю, а время простоя  $WT(J)$ .

18. Для  $j$ -го процесса подсчитывается значение  $T(J)$ .

19. Пересчитывается  $B$ .

20. Если время CLOCK меньше ТМ, происходит обращение к шагу 8 и генерируется еще один промежуток времени между поступлениями заказов и  $K$  величин затрат времени на производство. Если же системное время CLOCK не меньше ТМ, то закончен один прогон расчета первого плана.

21. Подсчитывается полная прибыль в этом прогоне и выводится на печать.

22. Если число прогонов  $L$  меньше числа необходимых расчетов  $N$  для этого плана, то  $L$  увеличивается на 1 и с шага 4 начинается новый прогон.

#### 7.4. Приближенное соотношение в случае пуассоновского спроса

Определим прибыль предприятия в случае пуассоновского поступления заказов. С учетом введенных ранее обозначений

$$\Pi = P \left[ E(D) \cdot TM - \sum_{j=1}^k \frac{E(D) / E(Q_j)}{1 - E(D) / E(Q_j)} \right] - C,$$

где  $\Pi$  – прибыль предприятия;  $TM$  – рассматриваемая продолжительность жизненного цикла;  $E(D) \cdot TM$  – ожидаемое число заказов, пришедших в систему, или полный ожидаемый спрос за плановый период;

$$\sum_{j=1}^k \frac{E(D) / E(Q_j)}{1 - E(D) / E(Q_j)} - \text{ожидаемое число заказов к концу пла-}$$

нового периода, оставшихся в системе в процессе производства или в ожидании его;

$$E(D) \cdot TM - \sum_{j=1}^k \frac{E(D) / E(Q_j)}{1 - E(D) / E(Q_j)} - \text{ожидаемое число выполнен-}$$

ных за плановый период заказов.

## **8. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НА ОСНОВЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ**

Для обеспечения согласованной работы всех предприятий, участвующих в проектировании, производстве, реализации и эксплуатации сложных изделий машиностроения, используется соответствующая информационная поддержка их этапов жизненного цикла. Такая поддержка и компьютерное сопровождение получили название CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) или ИПИ (непрерывный сбор информации об изделии и информационная поддержка процессов жизненного цикла изделия).

CALS-технологии активно применяются при разработке и производстве сложной наукоемкой продукции, создаваемой интегрированными промышленными структурами. Они включают в себя НИИ, КБ, основных подрядчиков, субподрядчиков, поставщиков готовой продукции, потребителей, предприятия технического обслуживания, ремонта и утилизации. Примеры такой продукции – самолеты, суда, системы вооружений, автомашины, газоперекачивающие комплексы, нефтедобывающие платформы, энергетическое и другое промышленное оборудование, автомашины, компьютерные системы и т.п.

Если изделие имеет длительный период эксплуатации, то на протяжении всего периода использования оно физически изнашивается и для восстановления его работоспособности требуются регулярные регламентные осмотры, техническое обслуживание и ремонты. Кроме того, в течение длительного жизненного цикла изделие морально стареет, и для продления срока жизни его подвергают модернизации. Особую специфику имеет также штатный вывод из эксплуатации таких изделий, так как неготовность к этому иногда чревата катастрофическими последствиями. И, наконец, большую техническую, экологическую и финансовую проблему представляет утилизация сложных изделий. При составлении документации на них большое внимание уделяется разработке ремонтно-эксплуатационных технических руководств и, что очень важно, постоянному их поддержанию в актуальном состоянии.

Очевидно, что надлежащее протекание всех этапов ЖЦ сложных изделий невозможно без его сквозного информационного сопровождения. Это значит, что информационные системы (ИС)

всех участников обеспечения этапов ЖЦ должны быть согласованы и в рамках бизнес-процессов конкретного изделия функционировать как единая информационная система. Однако для выполнения этой непростой задачи требуется серьезная методологическая поддержка.

Концепция сквозного информационного обеспечения процессов ЖЦИ зародилась в середине 1980-годов в Министерстве обороны США и называлась CALS (Computer-Aided Logistic Support - компьютерная поддержка логистики).

Термин «логистика» (logistics) имеет несколько разных трактовок. Первоначально в CALS под ним понималась правильная организация закупок, поставок и эксплуатации военной техники. Концепция логистической поддержки базировалась на развивающихся компьютерных информационных технологиях (именно поэтому первые две буквы аббревиатуры «СА» означают Computer-Aided) с целью последовательного преобразования бизнес-процессов в единый автоматизированный и информационно-интегрированный процесс управления жизненным циклом.

Эволюция этой концепции привела к интеграции процессов всего жизненного цикла изделия и поэтому стала последовательно интерпретироваться как:

***Computer Aided of Logistics Support*** – компьютерная поддержка логических систем(1985 г.);

***Computer Aided Acquisition and Lifecycle*** – компьютерные поставки и поддержка жизненного цикла(1988 г.);

***Continual Aided Acquisition and Lifecycle*** – поддержка непрерывных поставок и жизненного цикла(1993 г.);

***Commerce at Light Speed*** – бизнес в высоком темпе(1995 г.);

***Continuous Acquisition and Lifecycle Support*** – непрерывный сбор информации об изделии и информационная поддержка процессов жизненного цикла изделия(1997 г.).

Для реализации этой концепции создавалась методологическая база с использованием существующих и разработкой новых стандартов. О поддержке данной концепции заявили многие известные производители программного обеспечения, включив интерфейсы по ряду таких стандартов в свои продукты. В соответствии с этими стандартами стали использоваться многочисленные системные и прикладные информационные технологии, ориентированные на всесторонний охват разнообразных форм электронно-

го представления моделей этапов ЖЦ для различных классов изделий.

Сущность методологии состоит в том, что с помощью нормативной базы для организации информационной поддержки процессов жизненного цикла изделия обеспечивается создание единых интегрированных информационных моделей. Так как исполнителями работ на различных этапах ЖЦ сложных изделий являются разные юридические лица (организации), распределенные географически, то предполагается, что эти модели существуют в специальной компьютерной среде, которая организуется в форме виртуальной корпорации.

Стандарты разделены на несколько групп и позволяют в единых интегрированных информационных моделях всесторонне отразить все аспекты ЖЦИ – от формулировки требований к будущему изделию до юридического сопровождения совместно используемой информации. Вместе с тем применение CALS-технологий позволяет эффективно, в едином ключе решать также и проблемы обеспечения качества выпускаемой продукции, поскольку электронное описание процессов разработки, производства, монтажа и т.д. полностью соответствует требованиям международных стандартов ИСО серии 9000, реализация которых гарантирует выпуск высококачественной продукции.

Главная задача создания и внедрения CALS-технологий – обеспечение единообразных описаний и смысловой интерпретации данных независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. CALS-технологии не отвергают существующие автоматизированные системы обработки информации (САПР, АСТПП, АСУ, АСУП и др.), а служат средством их интеграции и эффективного взаимодействия. При этом структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, понятийный аппарат и языки представления данных должны быть стандартизованы.

По данным западных аналитиков, применение CALS-технологий в США позволяет экономить десятки миллиардов долларов в год, сократить сроки проведения всех работ на 15–20%. В промышленно развитых странах в области CALS активно реализуются широкомасштабные программы, направляемые и координируемые государственными структурами. Сейчас в мире действуют более 25 национальных организаций (комитетов или советов по разви-

тию CALS), в том числе в США, Японии, Канаде, Великобритании, Германии, Швеции, Норвегии, Австралии и других странах, а также в НАТО. Предположительно в ближайшие несколько лет мировой рынок наукоемких технологий, так же как рынок промышленной кооперации, полностью перейдет на стандарты CALS.

Таким образом, целью CALS-технологий является представление необходимой информации в нужное время, в нужном виде, в конкретном месте любому пользователю на всех этапах жизненного цикла изделия (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Схема единого информационного пространства изделия

Внедрение CALS-технологий становится необходимым условием выживания промышленных предприятий при существующей жесткой конкуренции товаров на международных и национальных рынках.

### 8.1. Концепция CALS

Концепция GALS – это система связанных между собой и вытекающих один из другого взглядов на стратегию, идеологию и методологию применения CALS-технологий. Она определяет набор правил, регламентов, стандартов, в соответствии с которыми строится информационное («электронное») взаимодействие



вие участников процессов проектирования, производства, испытаний и т.д.

Унификация формы достигается использованием стандартных форматов и языков представления информации в межпрограммных обменах и при документировании. Унификация содержания, понимаемая как однозначная правильная интерпретация данных о конкретном изделии на всех этапах его жизненного цикла, обеспечивается разработкой онтологии (мета-описаний) приложений, закрепляемых в прикладных CALS-протоколах. Одной из важнейших проблем CALS-технологий является обеспечение единого смыслового содержания данных при использовании их на различных этапах жизненного цикла изделия. Важность этой проблемы обусловлена тем, что различные системы могут использовать одни и те же данные об одних и тех же объектах, но с разных точек зрения, при этом одни и те же данные могут использоваться в одно и то же время при параллельном решении разных задач. Поэтому в CALS-технологиях широко используются концептуальные модели данных, которые в большей степени отражают смысловое содержание информации.

### ***8.1.1. Стратегия CALS***

Стратегия CALS состоит в интеграции информационных процессов между участниками жизненного цикла изделия с целью обеспечения их необходимыми данными об изделии и связанными с ним процессами и средой. Несмотря на наличие слова Support в названии CALS – это именно обеспечение, а не поддержка. И для систем интегрированной логистической поддержки жизненного цикла изделий, и для создателей изделий с переходом на электронное проектирование CALS становится неотъемлемой системообразующей частью обеспечения работ.

Стратегия CALS включает в себя:

1. Организацию непрерывной информационной поддержки жизненного цикла продукции. С этой целью создается единая информационная среда для процессов проектирования, производства, испытаний, поставки и эксплуатации продукции.

2. Стандартное представление информации в процессах проектирования, материально-технического снабжения, производства, ремонта, послепродажного сервиса и т.д.

3. Географическую распределенность. Компании, реализующие новый проект или продукт для рынка, объединяются на контрактной основе в виртуальные предприятия. Этот сложный организм должен жить по единым правилам в едином информационном пространстве, позволяющем использовать данные в электронной форме от партнеров и передавать им, в свою очередь, результаты своей работы. В случае изменения состава участников — смены поставщиков или исполнителей — обеспечивается преемственность и сохранность уже полученных результатов (моделей, расчетов, документации, баз данных).

### ***8.1.2. Идеология и методология CALS***

Идеологией CALS является отображение реальных бизнес-процессов и данных на электронную информационную среду компьютерных систем. Она включает набор следующих правил и принципов, основанных на достижениях информационных технологий (ИТ):

- 1) представление, обработка, обмен и управление данными в электронном виде;
- 2) многократное использование данных с минимальными изменениями и затратами;
- 3) оптимизация и унификация способов представления, обработки и передачи данных об изделии, процессах, среде;
- 4) интеграция и оптимизация информационного взаимодействия всех участников жизненного цикла изделия.

Реализация идеологии CALS осуществляется при помощи следующей совокупности методов и приемов.

1. Создаются единые информационные модели с помощью нормативной базы, предназначенной для организации информационной поддержки процессов жизненного цикла изделия;
2. Информационные модели существуют в специальной компьютерной среде, которая организуется в форме виртуальной корпорации;
3. Методологическую основу CALS составляют более 150 стандартов;
4. Стандарты разделены на несколько групп и позволяют отразить все аспекты ЖЦИ, начиная от формулировки требований к будущему изделию и заканчивая юридическим сопровождением совместно используемой информации.

### 8.1.3. CALS-технологии

CALS-технологии – общее название организационных, информационных и прикладных формализованных технологий, обеспечивающих создание и управление CALS-системой:

1. **Технология описания бизнес-процессов** на различных этапах жизненного цикла изделия. Наибольший интерес представляют этапы проектирования, создания, модернизации наукоемких изделий в силу их высочайшей сложности и огромного потенциала для оптимизации.

2. **Технология сквозной обработки прикладных данных** в информационной системе – создание и выбор стандартов представления электронного описания изделий (ЭОИ), способов и программно-технических средств описания, подготовки, обработки, передачи и управления данными, разработка прикладных протоколов взаимодействия программных компонентов CALS.

3. **Технология создания ЭОИ** – описание процессов создания виртуальных изделий, процессов, среды.

4. **Технология информационного взаимодействия функциональных групп пользователей** – реализация технологии в заданной программно-технической среде с учетом технологий сквозной обработки прикладных данных и создания ЭОИ.

5. **Технология управления целевыми и CALS-проектами.** Многократно возросшая за последние десятилетия сложность целевых проектов и создание изделия через его электронное описание требуют обязательного перехода на автоматизированную систему формализованного управления целевыми и CALS-проектами.

Итак, CALS-технологии представляют собой современную организацию процессов разработки, производства, послепродажного сервиса, эксплуатации изделий путем информационной поддержки процессов их жизненного цикла на основе стандартизации методов представления данных на каждой стадии жизненного цикла и безбумажного электронного обмена данными.

### 8.1.4. CALS системы

Под CALS-системой понимают автоматизированную систему управления, которая интегрирует информационные процессы в ЕИП и управляет интегрированным информационным обеспечением участников жизненного цикла изделия.

Различают два вида CALS-систем:

1) ***CALS-система предприятия***. Обеспечивает интеграцию и управление унифицированным созданием и использованием конструкторской, технологической, производственной информации по всем видам изделий, а также интеграцию с внешними ИТ-системами;

2) ***CALS-система виртуального предприятия (виртуальная корпорация)***. Обеспечивает интеграцию и управление информационными процессами при решении задач корпоративного, отраслевого, межотраслевого, межгосударственного сотрудничества.

Несмотря на общность CALS-идеологии, задачи для этих видов CALS-систем весьма различны, поэтому подходы, проектные решения и модели управления также будут разными.

Виртуальная корпорация – это огромная инфраструктура, которая контролирует все этапы ЖЦИ, включая субподрядчиков. Все предприятия – участники ЖЦИ входят в нее на контрактной основе. Она не имеет объединенной организационной структуры юридического лица, образуется на срок действия контракта для реализации конкретного совместного проекта. Одно и то же предприятие может быть участником многих виртуальных корпораций (проектов). Такая виртуальная организация может быть реализована в компьютерной среде с помощью CALS-технологий (рис. 8.2).

Таким образом, сквозное информационное обеспечение ЖЦИ можно осуществлять через интегрированную модель «изделие–процесс–среда» на основе объединения в виртуальную корпорацию всех участников бизнес-процессов ЖЦИ. По одному из определений, корпорация – это территориально разнесенные юридически самостоятельные виды деятельности, объединенные какой-либо общей стратегией. В контексте CALS это означает, что в ЖЦИ на разных этапах могут быть задействованы различные исполнители: заказчики, проектировщики, изготовители, субподрядчики, поставщики, эксплуатационники, те, кто производит утилизацию изделия, и др.

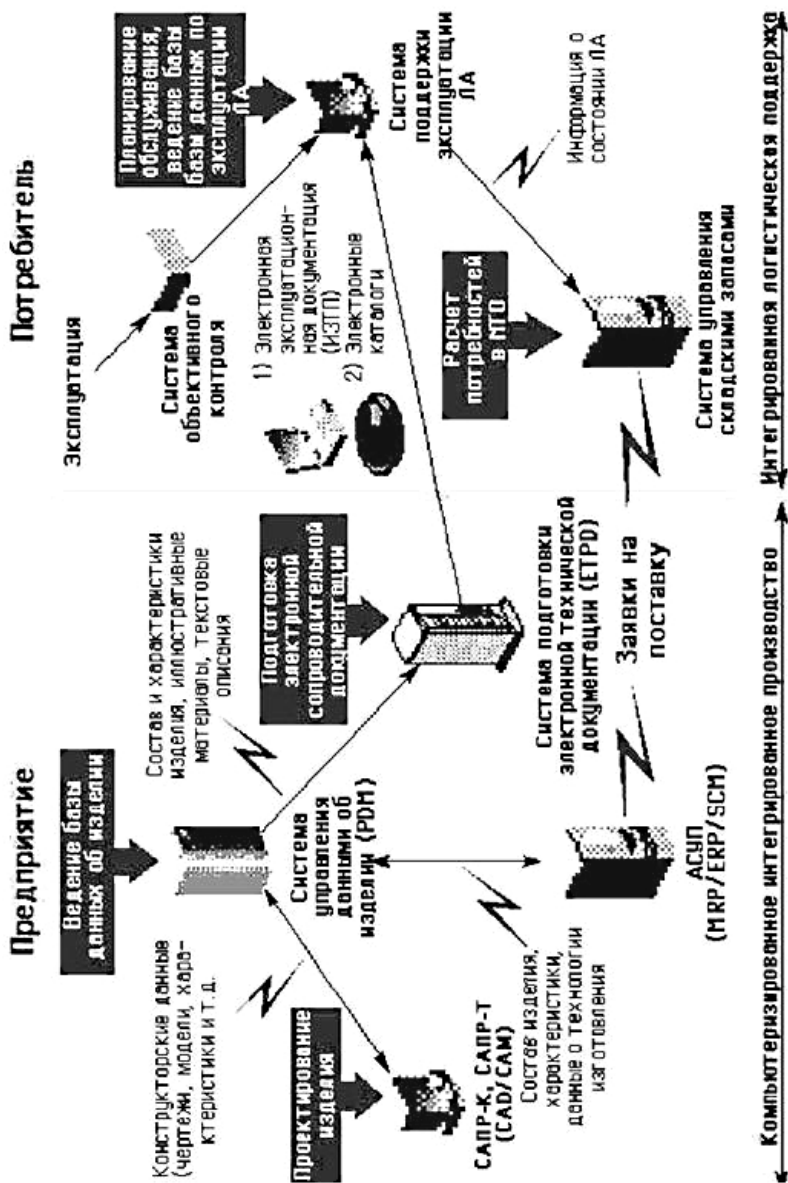


Рис. 8.2. Схема виртуальной корпорации

Разумеется, поддержка ЖЦИ осуществляется и там, где нет компьютерной виртуальной корпорации, но другими методами и средствами. Например, может существовать система так называемых «почтовых ящиков», в рамках которой учрежден институт представительства заказчика. Многочисленные высококвалифицированные его представители, специализирующиеся на конкретных технических направлениях, контролируют прохождение технической документации, осуществляют надзор за производством. Они имеют большие полномочия, в том числе право приостанавливать деловые процессы организации.

Эта огромная инфраструктура контролирует все этапы ЖЦИ, включая субподрядчиков. Большая (и дорогая) армия контролеров может существенно сократиться при использовании безбумажной технологии изготовления сложных изделий.

CAD предоставляет чертежи в электронной форме; система workflow следит, чтобы они не прошли на последующие этапы без необходимого согласования; электронный документооборот определяет виновника в срыве сроков работ; система PDM выявляет, кто, когда и на каком основании внес изменения в документацию и производственный процесс; ERP информирует обо всех нюансах производства; TQM подробно сообщает о качестве изделий и поступивших материалах и комплектующих. При этом не важно, где находится кто-либо из субъектов ЖЦИ, в каком городе, в какой стране, – все работают в единой виртуальной организации.

## **8.2. Виды обеспечения CALS-систем**

С точки зрения управления бизнесом CALS-система является системой управления данными об изделии, причем не в узком смысле, как ее часто преподносят поставщики программных средств PDM и PLM, а так, как это определено в ГОСТ 34.003–90, – автоматизированной системой, включающей все необходимые виды обеспечения.

По аналогии с системами автоматизированного проектирования в составе CALS-систем различают следующие виды обеспечения: лингвистическое, информационное, математическое, программное, методическое, техническое, организационное.

К *лингвистическому обеспечению* CALS относятся языки и форматы данных о промышленных изделиях и процессах, используемые для представления и обмена информацией на всех этапах ЖЦИ.

*Информационное обеспечение* составляют базы данных, содержащие сведения о промышленных изделиях, используемые различными системами в процессе проектирования, производства, эксплуатации и утилизации. В состав информационного обеспечения входят также серии международных и национальных CALS-стандартов и спецификаций.

*Математическое обеспечение* CALS включает модели и алгоритмы взаимодействия различных систем и их компонентов в CALS-технологиях. К этим моделям относятся методы структурного и имитационного моделирования, методы планирования и управления процессами, распределения ресурсов и т.п.

*Программное обеспечение* CALS представлено программными комплексами, предназначенными для поддержки единого информационного пространства на всех этапах ЖЦИ: системы управления документами и документооборотом, проектными данными, взаимодействия предприятий в электронном бизнесе, подготовки интерактивных электронных технических руководств и некоторые другие.

*Методическое обеспечение* CALS представлено методиками выполнения таких процессов, как структурирование сложных объектов, их функциональное и информационное моделирование, параллельное (совмещенное) проектирование и производство, объектно-ориентированное проектирование, создание онтологии приложений.

К *техническому обеспечению* CALS относят аппаратные средства получения, хранения, обработки и визуализации данных при информационном сопровождении изделий. Взаимодействие частей виртуальных предприятий, систем, поддерживающих разные этапы ЖЦИ, происходит через линии передачи данных и сетевое коммутирующее оборудование.

Нужно отметить, что технические средства, используемые в CALS, предназначены не только для CALS-технологий. Специфическими являются прежде всего средства лингвистического, мате-

матического и программного обеспечения, а также международные CALS-стандарты, регламентирующие средства информационного и методического обеспечения.

### **8.3. Переход предприятий на CALS-технологии**

В рамках международного сотрудничества ряд отечественных предприятий уже столкнулся с требованиями соблюдения стандартов CALS применительно к поставляемой с изделием технической документации в электронной форме, а также к средствам компьютерной информационной поддержки процессов технического обслуживания, материально-технического обеспечения, заказа запасных частей и ремонта.

Такие же проблемы, связанные с электронным взаимодействием и совместным использованием конструкторской, производственной и коммерческой информации в электронной форме, возникают в рамках совместных проектов по разработке и производству наукоемкой продукции, выполняемых с зарубежными партнерами.

Таким образом, практическое применение CALS-технологий является чрезвычайно актуальной задачей и требует применения современных информационных технологий, реинжиниринга бизнес-процессов, методов «параллельной» разработки, стандартизации в области совместного использования данных и электронного обмена данными.

На большинстве предприятий уже существуют «островки» автоматизации в виде разобщенных автоматизированных систем САПР, АРМ, АСУТП и др. Анализ уровня автоматизации существующих на предприятиях процессов с точки зрения внедрения CALS-технологий, позволяет сделать следующие выводы.

1. Дальнейший количественный рост «островковой» автоматизации без интеграции информационных технологий мало перспективен.

2. Замена всех используемых систем требует огромных материальных затрат и обычно нецелесообразна. Разумнее создавать информационную инфраструктуру, в рамках которой существуют



щие автоматизированные системы объединяются и интегрируются, а там, где необходимо, дополняются новыми технологиями.

3. Построение информационной инфраструктуры следует начинать с инвентаризации и анализа всех существующих автоматизированных систем.

4. Определить, на каком этапе развития в данный момент находятся автоматизированные системы; какие из них надо сохранить, какие заменить, а какие заново разработать.

5. В ходе анализа надо выяснить текущее состояние информационных технологий, используемых участниками предполагаемого виртуального предприятия, учесть планы партнеров, их подходы к стандартизации.

6. Обычно выявляется большой объем данных, сохраняемых на бумажных носителях, которые следует перенести в электронную среду. Рассмотреть целесообразность такого преобразования и определить, какая информация, в каком объеме, в какой форме и каким способом будет передаваться в рамках единого информационного пространства.

7. На основе анализа решаются задачи проектирования архитектуры CALS-системы. Проектирование архитектуры предполагает определение аппаратных средств, сетевой инфраструктуры, ПО, необходимого для поддержки усовершенствованных процессов и нового стиля работы.

При этом большое внимание следует уделить созданию корпоративных хранилищ данных с однократным вводом и многократным коллективным использованием данных, стандартизации форматов данных и способов доступа к ним, эффективности управления информацией.

Интегрированная информационная среда представляет собой совокупность распределенных баз данных, в которой действуют единые, стандартные правила хранения, обновления, поиска и передачи информации, через которую осуществляется безбумажное информационное взаимодействие между всеми участниками ЖЦИ. При этом однажды созданная информация хранится в интегрированной информационной среде, не дублируется, не требует каких-либо перекодировок в процессе обмена, сохраняет актуальность и целостность.

Примеры внедрения GALS-технологий за рубежом и в России приведены в табл. 8.1 и 8.2.

Т а б л и ц а 8.1

## Примеры внедрения CALS-технологий за рубежом

Организации, применяющие CALS	Область применения	Потребности	Процессы	Результаты	Год
Airbus	Разработка аэробуса A380	Параллельная обработка данных	Проектирование и технологическая подготовка производства	Конкурентоспособная продукция	1990 – наст. время
American Airlines	Эксплуатация самолетов	Управление конфигурацией. Информационная поддержка процессов эксплуатации в мировом масштабе	Применение стратегии CALS к процессам и операциям эксплуатации самолетов	Сокращение количества бумажных документов. Снижение затрат на эксплуатацию	1990 – наст. время
Bell Helicopter Textron	Создание информационной среды для поддержки обслуживания новой продукции у потребителей (CITIS-Cont-actor Integrated Technical Services)	Применение принципов CALS на всем жизненном цикле продукции	Параллельный инжиниринг	Сведения не публикуются	1992 – наст. время
General Motors	Расширенное (виртуальное) предприятие.	Стратегия интеграции	Интеграция процессов разработки и изготовления изделий	Стандартные среды и стандарты обмена данными между участниками предприятия СМ и поставщиками	1990–1995

Продолжение табл.8.1

Организации, применяющие CALS	Область применения	Потребности	Процессы	Результаты	Год
Hughes Aircraft	Управление данными об изделии в рамках виртуального предприятия	CALS-стратегия	Интеграция процессов разработки и изготовления изделий	Повышение эффективности процессов	1992 – наст. время
Lockheed Aeronautical	Рационализация и ускорение закупок	Процесс и система поставок. Требования к подразделению снабжения	Методы и системы управления поставками. Управление конфигурацией и данными об изделии	Резкое улучшение характеристик. Упорядочение денежных потоков. Снижение затрат	1993–1995
Lockheed Martin	Системы разработки интерактивных электронных технических руководств	Эталонные ИЭТР	Технологии разработки и сопровождения электронной эксплуатации	Доход от выполнения контракта	1993 – наст. время
McDonnell Douglas	Программа С-17	Интеграция предприятия	СІПС-интегрированное технико-информационное обслуживание заказчика	Сокращение затрат	1990–1995
Northrop Grumman	Бомбардировщик В2	СІПС	Документация и обучение. Новый порядок заказа заготовок. ИЭТР	Доход от выполнения контракта	1992 – наст. время
Pratt & Whitney	644 поставщика, 130000 заявок на закупки, 450000 счетов в год. Обмен техническими данными по турбинам с фирмой Motorenpund Turbine-Union	Внедрение электронного обмена данными на основе CALS. Интеграция предприятия	Процесс закупок. Параллельный проект параллельных разработок с использованием 5ТЕР	83% поставщиков, обеспечивающих 92% поставок, используют электронный обмен данными. Снижение затрат	1992 – наст. время
Raytheon	Программа «Patriot»	Внедрение	Применение CALS для	Стандартные рабочие	1990 –

		CALS/PLM	создания всей технической документации	процедуры	наст. время
Rockwell International	Бомбардировщик B1	Стратегия информационной интеграции	Методика проектирования систем на основе стратегии CALS	Программные решения CALS, обеспечивающие обслуживание B1 в ВВС США	1988 – наст. время
Rolls Royce	Двигатели	Параллельные разработки	Интеграция процессов разработки и изготовления изделия	Снижение затрат и повышение качества	1990 – наст. время
John Deere	Интеграция предприятия	Применение CALS/PLM к созданию автоматизированной среды предприятия	Объединение «островков» автоматизации	Расширение рынков сбыта. Параллельная работа с фирмой Caterpillar	1988 – наст. время
Токуо Electric Power	Среда применения CITIS	Интеграция предприятий. Ускорение реакций на нештатные ситуации	Увеличение количества квалифицированных поставщиков	Демонстрация возможностей PLM/CALS	1993–2000
NASA	Космический телескоп Hubble	95 000 чертежей и 5 млн технических документов	Ремонт и аварийное восстановление	Успешный пример использования PLM/CALS-стандартов и стратегии применительно к наукоемкой продукции	1993–1997

Т а б л и ц а 8.2

## Примеры внедрения CALS-технологий в России

Наименование предприятия	Внедряемая технология
ОАО «Казанский вертолетный завод»	PDM, CMK
ФГУП ОКБ «Спектр», г. Рязань	PDM, CMK
ОАО «Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение»	PDM, ЭТД, ИЛП
Раменский приборный завод, г. Раменское Моск. обл.	PDM
НПП «Аэросила», г. Ступино Моск. обл.	PDM
ОАО «ОКБ и. Сухого» Моск. обл.	PDM, ЭТД
ОАО НПК «Иркут», г. Иркутск	PDM, ЭТД, ИЛП
ОАО «Туполев», г. Москва	PDM, ЭТД
ГНПЦ им. Хруничева, г. Москва	PDM
Государственный Рязанский приборостроительный завод	PDM
ММПП «Салют», г. Москва	PDM, ЭТД, MRP II
ФГУП «КБ приборостроения», г. Тула	ЭТД
ФГУП «КБ машиностроения», г. Коломна	ЭТД
ФГУП «ОКБ машиностроения им. Африкантова», г. Нижний Новгород	Управление проектами, ЭТД
ОАО «СКБ машиностроения», г. Курган	PDM
ОАО «Балтийский завод», г. Санкт-Петербург	PDM, ЭТД, ERP
ФГУПЦКБ морской техники «Рубин», г. Санкт-Петербург	PDM, ЭТД
ГУП «Адмиралтейские верфи», г. Санкт-Петербург	PDM, MRP II
ОАО «Северная вервь», г. Санкт-Петербург	PDM, MRP II
НПП «Технология», г. Обнинск	PDM
ОАО «Ратеп», г. Серпухов Моск. обл.	ЭТД
ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь	ЭТД
ФГУП НПП «Полет», г. Нижний Новгород	ЭТД
Чебоксарский приборостроительный завод «ЭЛАРА»	PDM, ЭТД, ERP
ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение»	PDM, ЭТД, ERP

## 9. СТАНДАРТЫ CALS

### 9.1. Общие сведения

**Стандарт** – это образец, эталон, модель, принимаемые за исходные для сопоставления с ними других подобных объектов.

Стандарт в Российской Федерации – документ, устанавливающий комплекс норм, правил и требований к объекту стан-

дартизации. В нем устанавливаются характеристики продукции и процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг.

Под *стандартизацией* понимается деятельность по упорядочению посредством установления положений для всеобщего и многократного применения в отношении реально существующих и потенциальных задач. Эта деятельность проявляется в разработке, опубликовании и применении стандартов.

Требования к стандарту представления данных:

- поддержка различных прикладных областей;
- наличие методологии расширения стандарта и тестирования приложений на соответствие стандарту;
- регламентирование способов представления данных и способов доступа к данным.

Стандарты позволяют эффективно управлять очень сложными проектами с высокой долей параллельных работ, существенно сокращают время разработки и вывода новых изделий на рынок, снижают себестоимость продукции со значительным повышением ее качества, упрощая подготовку предприятий и изделий к сертификации, улучшают управление и контроль над бизнес-процессами предприятия, их оптимизацию в сложных проектах, обеспечивают прямую реализацию современных требований качества, высокую эффективность и снижение совокупной стоимости ИТ.

От руководства требуется наличие стратегического мышления, готовность к реорганизации бизнеса, понимание не сервисной, а бизнес-роли ИТ, усложняет целевые проекты и требует от руководства и пользователей определенной ИТ-культуры, системной организации работ, создания выделенного CALS-подразделения.

Существующие стандарты (табл. 9.1), поддерживающие жизненный цикл продукции и процессов в рамках интегрированной системы распределенной обработки и хранения информации на основе идеологии CALS, можно разделить на следующие группы.

**1-я группа.** *Функциональные стандарты, которые определяют процессы и методы формализации.*

Наибольшее распространение в CALS-технологиях нашли стандарты IDEF0 и IDEF1X.

Т а б л и ц а 9.1

## Основные стандарты CALS

Информационные модели	Стандарт представления информации	Содержание стандарта	
Модель ЖЦ продукта и выполняемых в его ходе бизнес-процессов	IDEF – Integrated Definition, ISO 10303 AP208	Функциональное моделирование жизненного цикла и выполняемых бизнес-процессов	
Модель продукта	Конструкторская	ISO 10303 (STEP)	Структура, конфигурация и геометрия изделия
	Производственная	ISO13584 (PLIB)	Формат данных о библиотеках деталей у поставщиков
		MIL-STD- 1388-1/2 Logistic Support Analysis (LSA) Record	Формат данных в процессах материально-технического снабжения
	Эксплуатационная	MIL-M-87268 – Manuals, Interactive Electronic Technical General Content, Style, Format, and User-Interaction Requirements (IETM)	Требования к электронным руководствам: содержание, стиль, формат, интерфейс с пользователем
		MIL-D-87269 –Data Base, Revisable Interactive Electronic Technical Manuals, for the support of	Требования к оформлению баз данных и электронных справочников по изделиям
		ISO 8879 (SGML) – Standard Generalized Markup Language	Способ представления информации в текстографических документах
		MIL-PRF-28001C – Markup Requirements and Generic Style Specification for Electronic Printed Output and Exchange of Text	Требования к оформлению электронных документов (рекомендации по применению SGML для оформления электронных документов)
MIL-PRF-28002C – Requirements for Raster Graphics Representations in Binary Format	Требования к представлению растровых изображений в двоичном формате в электронной документации		

Информационные модели		Стандарт представления информации	Содержание стандарта
Модель продукта	Эксплуатационная	MIL-PRF-28003 – Color Graphics Metafile (CGM)	Требования к представлению иллюстраций для технической документации в электронном виде
		ISO 10744 HyTime – (Hypermedia/Time Based Structuring Language)	Требования к мультимедийной информации в электронных документах
Модель среды		ISO 15531 (MANDATE)	Форма представления и методы использования информации о производстве и используемых производственных ресурсах, их характеристиках и ограничениях с точки зрения управления производством

**2-я группа.** *Информационные стандарты, определяющие описание модели данных об изделии, используемой всеми участниками жизненного цикла.* Эти стандарты направлены на обеспечение единого представления: текста, графики, информационных структур и данных о проекте, данных для производства и для сопровождения изделия; единого представления при передаче и хранении информации, при документировании данных об изделии.

**3-я группа.** *Стандарты технического обмена, контролирующие носители информации и процессы обмена данными между передающими и принимающими системами.* Они определяют общий набор правил для обмена информацией в цифровой форме. Ряд таких стандартов – это общие правила цифрового обмена информацией: при использовании CD-ROM (ISO 96 60 и MIL-STD 1840B); в управлении, торговле, транспорте (EDIFACT); при обмене данными по интернету

**4-я группа.** *Коммуникационные стандарты, которые задают способ физической передачи данных по локальным и глобальным сетям.* В этой группе особо следует выделить стандарты, обеспечивающие защиту информации, которые представляют общие требования к программным и аппаратным средствам (в том числе путем



применения электронной цифровой подписи, включая алгоритмы шифрования и управления ключами) в государственном масштабе, в корпоративном применении или в рамках предприятия.

Стандарты, определяющие цифровую подпись, обеспечивают информационную безопасность на основе методов и средств защиты информации, в том числе путем обязательного подтверждения целостности электронного документа и аутентификации подписи (с использованием различных алгоритмов и хэш-функций) для юридического решения вопросов совместного использования информации.

CALS-стандарты, определяющие форматы и правила электронного определения изделия (Electronic Product Definition – EPD), обмена электронной информацией, являются ключевым решением основных задач информационных технологий. При этом обеспечивается информационная интеграция на основе следующих интегрированных моделей:

- продукта;
- процессов, выполняемых в ходе бизнес-процессов ЖЦ продукта;
- среды, в которой происходят стадии ЖЦ продукта.

Стандарты в перечисленных группах постоянно развиваются. Так, например, стандарт ISO 10303 (STEP) имеет описание интерфейсов для XML-обмена данными, а обмен данными по интернету отвечает современным концепциям B2B. Часть стандартов к настоящему времени имеет статус международных.

## 9.2. Функциональные стандарты

Стандарты IDEF (Integrated **DEF**inition) регламентируют процессы и методы формализации данных об изделии, процессах и руководство по применению CALS-технологий для описания информационного содержания процессов, формулировки требований к информации, необходимой для их реализации. На их основе разработаны федеральные стандарты США (FIPS); их методологические основы используются при разработке новых стандартов CALS.

Функциональные модели строятся методом декомпозиции от главной (контекстной) функции к более мелким простым с учетом их взаимной связи. Цель моделирования и степень детализации

модели определяются разработчиком. Элементы модели каждого уровня представляют собой действия по переработке информационных или материальных ресурсов при определенных условиях (ограничениях, управляющих воздействиях) с использованием определенных механизмов.

К функциональным стандартам относятся:

IDEF0 – технология структурного анализа и проектирования;

IDEF1 – метод моделирования информационных потоков внутри системы, позволяющий отображать структуру системы, т.е. ее элементы (сущности), их свойства (атрибуты) и взаимосвязи (отношения) между ними;

IDEF1X – метод моделирования данных и проектирования реляционных баз данных. Стандарт IDEF1X выпущен в 1993 г. (FIPS 184);

IDEF2 – метод динамического моделирования систем;

IDEF3 – метод получения описания функционирования системы и моделирования как причинно-следственных связей внутри одного бизнес-процесса, так и между различными процессами;

IDEF4 – метод объектно-ориентированного проектирования. Средства метода позволяют наглядно отображать структуру объектов и принципы их взаимодействия, позволяя анализировать, оптимизировать и создавать сложные системы;

IDEF5 – метод получения онтологического описания и исследования сложных систем. Основной чертой онтологического анализа является разделение реального мира на классы, определение совокупности их фундаментальных свойств и прогнозирование на этой основе поведения объектов данного класса. Это метод сбора фактов и получения знаний.

В CALS-технологиях наибольшее применение нашли методы IDEF0 и IDEF1X.

Для моделирования потоков работ, потоков процессов и потоков данных удобно пользоваться программой BPWin. С ее использованием строятся диаграммы, ясно показывающие бизнес-процессы (блоки), результаты их работы и ресурсы, необходимые для их функционирования. BPWin-модель обеспечивает объединенную картину того, как организация добивается выполнения своих целей, от маленьких отделов до всей компании в целом.

### 9.2.1. Метод IDEF0

Моделирование средствами IDEF0 является начальным этапом изучения любой системы. IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) – метод функционального моделирования – разработан для описания функций различных систем путем создания наглядной графической модели. Это язык моделирования, предложенный более 25 лет назад Д. Россом (SoftTech, Inc.) и первоначально называвшийся SADT (Structured Analysis and Design Technique). Согласно этой технологии анализируемый процесс представляется в виде совокупности множества взаимосвязанных действий, работ (Activities), которые взаимодействуют между собой на основе определенных правил (Control), с учетом потребляемых информационных, человеческих и производственных ресурсов (Mechanism), имеющих четко определенный вход (Input) и не менее четко определенный выход (Output).

Основным понятием метода является *функциональный блок* (Activity Box), изображаемый в виде прямоугольника (рис. 9.1) и олицетворяющий конкретную функцию в рамках рассматриваемой системы, которая выражается глагольной формой. Например: «Обработать заготовку», а не «Обработка заготовки».

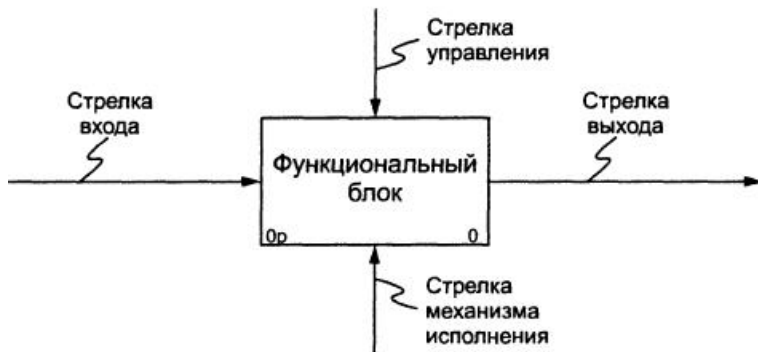


Рис. 9.1. Функциональный блок модели

Каждая из сторон блока имеет определенное значение: верхняя сторона – «Управление» (Control); левая – «Вход» (Input); правая – «Выход» (Output); нижняя – «Механизм» (Mechanism). Каждый блок должен иметь уникальный идентификационный номер.

Для названия стрелок употребляются имена существительные. Они могут представлять собой людей, места, вещи, идеи или события. Присвоение имен всем стрелкам на диаграмме необходимо для понимания сути изображенного.

**Стрелки входа**, направленные в левую сторону прямоугольника, обозначающего в IDEF0 функциональный блок, представляют собой сырье или информацию, потребляемую или преобразуемую функциональным блоком для производства выхода. Наличие входных стрелок на диаграмме не является обязательным, так как возможно, что некоторые блоки ничего не преобразуют и не изменяют. Примером блока, не имеющего входа, может служить «Принятие решения руководством», где для принятия решения анализируется несколько факторов, но ни один из них непосредственно не преобразуется и не потребляется в результате принятия какого-либо решения.

**Стрелки управления** отвечают за регулирование того, как и когда выполняется функциональный блок, и, если он выполняется, какой выход получается в результате его выполнения. Так как управление контролирует поведение функционального блока для обеспечения создания желаемого выхода, каждый функциональный блок должен иметь как минимум одну стрелку управления. Стрелки управления всегда входят в функциональный блок сверху. Управление часто существует в виде правил, инструкций, законов, политики, набора необходимых процедур или стандартов.

**Стрелки выхода**. Выход – это продукция или информация, получаемая в результате работы функционального блока. Каждый блок должен иметь как минимум один выход. Действие, которое не производит никакого четко определяемого выхода, не должно моделироваться вообще (по меньшей мере, должно рассматриваться в качестве одного из первых кандидатов на исключение из модели). При моделировании непроектируемых предметных областей выходами, как правило, являются данные, в каком-либо виде обрабатываемые функциональным блоком. В этом случае важно, чтобы названия стрелок входа и выхода были достаточно различимы по своему смыслу. Например, блок «Прием пациентов» может иметь стрелку «Данные о пациенте» как на входе, так и на выходе. В такой ситуации входящую стрелку можно назвать «Предварительные данные о пациенте», а исходящую – «Подтвержденные данные о пациенте».

**Стрелки механизма исполнения.** Механизмы являются ресурсом, который непосредственно исполняет моделируемое действие. С помощью механизмов исполнения могут моделироваться ключевой персонал, техника и (или) оборудование. Стрелки механизма исполнения могут отсутствовать в случае, если оказывается, что они не являются необходимыми для достижения поставленной цели моделирования.

**Комбинированные стрелки.** В IDEF0 существует пять основных видов комбинированных стрелок: «выход–вход», «выход–управление», «выход–механизм исполнения», «выход–обратная связь на управление» и «выход–обратная связь на вход». Стрелка «выход–вход» применяется, когда один из блоков должен полностью завершить работу перед началом работы другого блока.

Пример типовой диаграммы приведен IDEF0 на рис. 9.2.

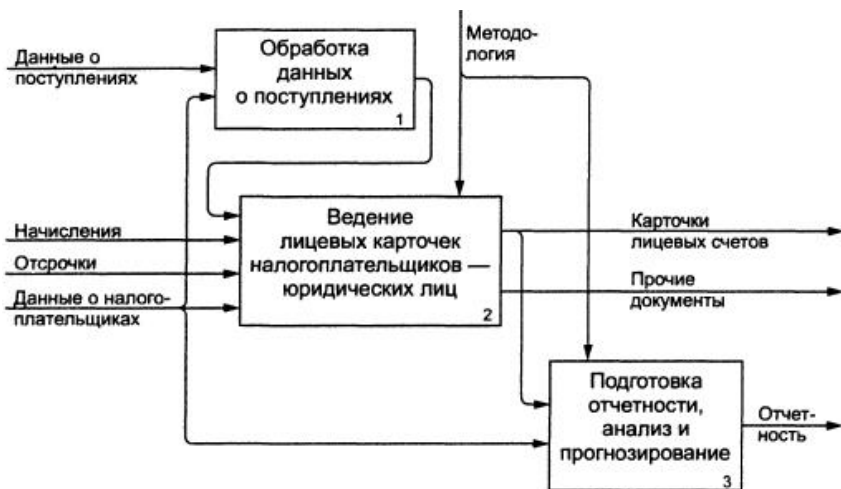


Рис. 9.2. Пример диаграммы IDEF0

### 9.2.2. Метод IDEF1X

Проектирование баз данных начинается с создания информационной модели (ИМ). Информационной моделью называют языковое представление множества типов объектов, называемых сущностями, и отношений (связей) между ними. В качестве языка

представления ИМ наибольшее распространение получил диаграммный язык, предлагаемый в методике информационного (инфологического) проектирования приложений IDEF1X, получившей международное признание.

В методике IDEF1X основными компонентами ИМ являются сущности, отношения и атрибуты. Для этих компонентов в методике приняты специальные средства их графического отображения.

*Сущность* определяется как множество объектов, обладающих общими свойствами. Конкретные элементы этого множества называют экземплярами сущности. Если сущность  $A$  может быть определена только с помощью ссылки на свойства некоторой другой сущности  $B$ , то  $A$  называют зависимой (дочерней) сущностью, а  $B$  выступает в роли родительской сущности. Сущности изображаются в виде прямоугольников, причем у зависимых сущностей углы прямоугольников рекомендуется изображать скругленными.

*Отношения* между сущностями в IDEF1X являются бинарными. Выделяют идентифицирующие отношения – связи типа «родитель–потомок», в которых потомок (зависимая сущность) однозначно определяется своей связью с родителем, и неидентифицирующие отношения, означающие, что у связанного этим отношением экземпляра одной сущности может быть, а может и не быть соответствующего экземпляра второй сущности. Примером идентифицирующего отношения может служить связь сущностей «изготовитель» – «товар», а неидентифицирующего – связь «книга–библиотека».

Идентифицирующее отношение изображают на IDEF1X-диаграмме сплошной линией между прямоугольниками связанных сущностей, неидентифицирующее показывают пунктирной линией. На дочернем конце линии должно быть утолщение (жирная точка). На IDEF1X-диаграмме около утолщенного конца линии связи можно записать символ, характеризующий мощность  $k$  связи, где  $k$  – число экземпляров зависимой сущности, соответствующее одному экземпляру родительской сущности. При этом символ  $p$  означает  $k \geq 1$ , а символу  $z$  соответствует  $k = 0$  или  $k = 1$ . Отсутствие символа интерпретируется как  $k \geq 0$ .

Различают также специфические и неспецифические отношения. Специфические отношения – это связи «один ко многим», а неспецифические – типа «многие ко многим». Пример специфиче-

ской связи – «студент–студенческая группа», неспецифической – «преподаватель–студенческая группа». Неспецифические отношения изображают сплошной линией с утолщениями на обоих концах.

В отношениях «родитель–потомок» возможно наличие у потомка единственного родителя (характеристическая связь) или нескольких (ассоциативная связь). Выделяют также отношения категоризации (наследования), отражающие связи между некоторой общей сущностью и вариантами ее реализации (категориями). Например, общей сущностью может быть «учебное занятие», а категориями – «лекция», «семинар», «лабораторная работа», «консультация».

Свойства сущностей, отображаемые в ИМ, называют *атрибутами*. Различают ключевые и неключевые атрибуты. Значение ключевого атрибута (ключа) однозначно идентифицирует экземпляр сущности. Ключевые атрибуты могут быть составными. Например, чтобы однозначно определить «учебное занятие» нужно указать индекс учебной группы (потока) и название дисциплины, т.е. эти два атрибута вместе являются составным ключом. Неключевыми атрибутами сущности «учебное занятие» в нашем примере могут быть время проведения занятия, аудитория, фамилия преподавателя.

Внешний ключ – это атрибут, входящий в ключ родителя и наследуемый потомком. На IDEF1X-диаграммах ключи записывают в верхней части прямоугольника сущности, причем внешние ключи помечают меткой FK (Foreign Key), неключевые помещают в нижнюю часть прямоугольников. В идентифицирующих отношениях все ключи родителя входят и в ключи потомка, в неидентифицирующих ключи родителя относятся к неключевым атрибутам потомка.

Разработка ИМ в соответствии с методикой IDEF1X выполняется в несколько стадий. На начальной стадии производится сбор информации о приложении, выясняется цель создания ИМ. Затем выявляются сущности приложения, определяются основные отношения между ними. Результат представляют в виде диаграммы «сущность–связь» (транзитивные связи не указываются). Далее определяют свойства сущностей, начиная с ключевых атрибутов. При этом полезно выявить неспецифические отношения и заметить связи «многие ко многим» на связи «один к одному» или

«один ко многим» с помощью введения некоторой сущности-посредника. Например, отношение «преподаватель–студенческая группа» может быть заменено на отношения сущностей «преподаватель» и «студенческая группа» с сущностью-посредником «расписание».

Основные элементы графического языка IDEF1X представлены на рис. 9.3.

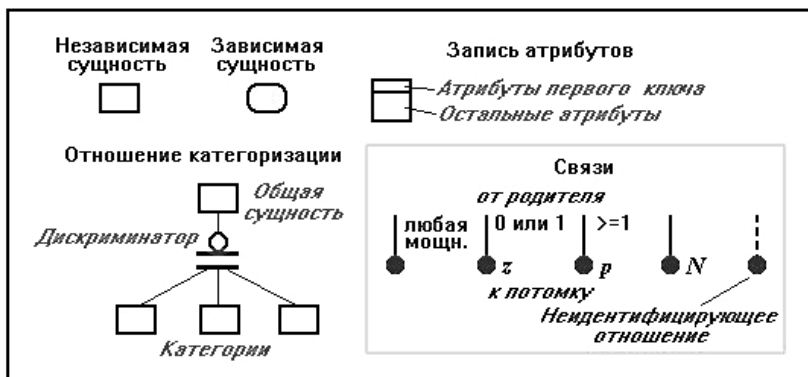


Рис. 9.3. Элементы языка IDEF1X

Недостатком IDEF1X является то, что разработчик обязан быть опытным специалистом. Моделирование носит итеративный и коллективный характер (разработчик, эксперт и др.).

### 9.3. Информационные стандарты

Эти стандарты описывают данные об изделии и процессах: представляют общие определения информационных элементов, отношений, защиты и доступности данных. Эти стандарты направлены на обеспечение единого представления: текста, графики, информационных структур и данных о проекте, данных для производства и для сопровождения изделия; единого представления при передаче и хранении информации, при документировании данных об изделии. К ним относятся:

1) общее описание элементов данных об изделиях и доступа к ним (**STEP**);



- 2) формирование библиотек данных о комплектующих изделиях (**PLIB**);
- 3) представление производственных данных (**MANDATE**);
- 4) общее описание текстовой информации (**SGML**);
- 5) стандарт представления графики (**CGM**);
- 6) базовая спецификация обмена графикой (**IGES**);
- 7) эксплуатационная модель продукта (**HyTime**);
- 8) общее описание модели ЖЦ изделия (**IDEF**) и др.

Рассмотрим сначала наиболее распространенный информационный стандарт ISO 10303.

### ***9.3.1. Стандарт ISO 10303 (STEP)***

Цель международного стандарта ISO 10303 (Standard for Exchange of Product data – (STEP – представление данных об изделии и обмен этими данными) – дать наиболее общий механизм описания данных о продукте на всех стадиях его ЖЦ, не зависящий от конкретной системы. Природа такого описания делает его подходящим не только для нейтрального файла обмена, но и в качестве базиса для реализации и распространения баз данных о продукте, а также для архивирования.

Стандарт предназначен для хранения данных об изделии, в том числе о его составе, структуре, геометрических моделях, свойствах, характеристиках и т.д. Созданная однажды модель используется многократно. В нее вносятся дополнения и изменения, она служит отправной точкой при модернизации изделия. Модель изделия в соответствии с этим стандартом включает геометрические данные, информацию о конфигурации изделия, данные об изменениях, согласованиях и утверждениях.

В стандарт ISO 10303, помимо базовых элементов (интегрированных ресурсов), входят прикладные протоколы, определяющие конкретную структуру информационной модели для различных предметных областей (автомобилестроение, судостроение, строительство, электроника и т.д.). Все прикладные протоколы (прикладные информационные модели) базируются на стандартизованных интегрированных ресурсах. Таким образом, при создании нового прикладного протокола обеспечивается преемственность с уже существующими решениями.

Стандарт также предусматривает способы взаимодействия с хранилищем данных с помощью текстового обменного файла (ISO 10303-21) и через стандартный программный интерфейс (Standard Data Access Interface – SDAI – ISO 10303-22).

На основе стандартов семейства STEP:

- создается структурированное электронное хранилище конструкторских данных об изделии, интегрирующего процессы разработки и получаемые результаты в единое целое;
- подготавливается лицензионная документация, при продаже лицензии и передаче ее в электронном виде;
- производится обмен данными между предприятиями, применяющими разнородные системы автоматизированного проектирования.

Архитектура стандарта ISO 10303 (ГОСТ Р ИСО 10303) приводится на рис. 9.4.



Рис. 9.4. Архитектура стандартов ISO 10303 (STEP)

Стандарт содержит:

1) описание типовых интегрированных ресурсов (информационные модели состава и структуры изделий геометрической формы, материалов, требований к точности и т.д.);

2) описание типовых информационных моделей объектов (изделий) для основных предметных областей (протоколы применения). Для их описания разработан язык EXPRESS;

3) форму представления данных в виде электронного документа – текстового обменного файла, имеющего строго регламентированную структуру;

4) спецификацию стандартизованного интерфейса доступа к данным (Standard Data Access Interface-SDAI) – набор функций для языков С, С++, обеспечивающих доступ к объектам в хранилище данных (репозитории);

5) комплекс тестов и методик аттестационного тестирования.

Стандарт ISO 10303 предъявляет следующие требования к электронной конструкторской модели изделия:

1. Геометрические данные (твердотельные поверхности с топологией, фасеточные поверхности, сетчатые поверхности с топологией и без нее, чертежи и т.п.).

2. Инженерные данные в неструктурированной форме, подготовленные с помощью различных программных сред в различных форматах.

3. Информация о конфигурации изделия и административные данные:

- идентификаторы страны, отрасли, предприятия, проекта;
- состав и структура изделия;
- данные об изменениях конструкции и информация о документировании этих изменений;
- данные для контроля различных аспектов проекта или решения вопросов, связанных с особенностями и вариантами состава и конфигурации изделия;
- данные о контрактах, в соответствии с которыми ведется проектирование;
- сведения о секретности;
- условия обработки, в том числе финишной;
- данные о применяемости материалов, указанные проектировщиком для данного изделия;
- данные для контроля и учета выпущенной версии разработки;
- идентификаторы поставщиков и их квалификации.

### 9.3.2. Стандарт ISO 13584 PLIB

Стандарт ISO 13584 Parts Library – это серия международных стандартов для представления и обмена доступными для компьютерной интерпретации данными о поставляемых компонентах и комплектующих изделиях (узлах, деталях).

Стандарт включает семь разделов:

- 1) общий обзор и основополагающие принципы;
- 2) концептуальная модель библиотеки деталей;
- 3) интегрированные ресурсы;
- 4) логическая модель библиотеки поставщика;
- 5) данные о поставщике;
- 6) программный интерфейс к данным;
- 7) методология структуризации классов (семейств) деталей.

Он регламентирует:

- средства описания и технологию представления информации о компонентах и комплектующих;
  - технологию обработки данных, в том числе хранения, передачи, доступа, изменения и архивирования;
  - в отличие от стандарта ISO 10303 STEP, предназначенного для описания конкретного экземпляра продукции, позволяет описывать классы продукции (компонентов и комплектующих);
  - стандартные детали, определенные международными или национальными стандартами, например крепежные детали, уплотнения, подшипники;
  - библиотеки (базы) данных о деталях конкретного поставщика.
- Перечень томов стандарта приводится в табл. 9.2.

Т а б л и ц а 9.2

#### Томы стандарта ISO 13584 PLIB

<i>N</i> п/п	Наименование	Содержание
1	ISO 13584–1:2001 Industrial automation systems and integration – Parts library – Part 1: Overview and fundamental principles	Обзор и основные принципы
2	ISO 13584–20:1998 Industrial automation systems and integration – Parts library – Part 20: Logical resource: Logical model of expressions	Логические ресурсы: логическая модель выражений

N п/п	Наименование	Содержание
3	ISO/DIS 13584-25 Industrial automation systems and integration – Parts library – Part 25: Logical resource: Logical model of supplier library with aggregate values and explicit content	Логический ресурс: логическая модель библиотеки поставщиков с агрегированными значениями и явным содержанием
4	ISO 13584–26:2000 Industrial automation systems and integration – Parts library – Part 26: Supplier identification	Логический ресурс: идентификация поставщика информации
5	ISO 13584–31:1999 Industrial automation systems and integration – Parts library – Part 31: Implementation resources: Geometric programming interface	Средства реализации: интерфейс геометрического программирования
6	ISO 13584–42:1998 Industrial automation systems and integration – Parts library – Part 42: Description methodology: Methodology for structuring part families	Методология описания: методология структурирования групп деталей

### ***9.3.3. Стандарт ISO 15531 MANDATE***

Стандарт MANDATE описывает функционирование предприятия и состоит из трех разделов:

1. ISO 15531–21. Содержит обзор и основные принципы представления данных о промышленной продукции. Характеризуется следующими ключевыми словами: системы промышленной автоматизации и интеграция, промышленные данные, обмен данными об управлении производством, обмен данными с внешней средой.

2. ISO 15531–31. Посвящен обзору и основным принципам использования данных о производственных ресурсах. Излагаются модель, форма и атрибуты представления данных о производственных ресурсах, об управлении их применением.

3. ISO 15531–41. Содержит обзор и основные принципы управления потоками производственных данных.

Более подробно состав стандарта ISO 15531 приводится в табл. 9.3.

**Состав стандарта ISO 15531 (MANDATE)**

Introduction	Введение
Part 1: Overview and fundamental principles of ISO 15531	Том 1. Общий обзор и основополагающие принципы
<i>Production data for external exchange</i>	<i>Производственные данные для внешнего обмена</i>
Part 21: Overview and fundamental principles	Том 21. Общий обзор и основополагающие принципы
Part-22: Conceptual model for external exchange of production data	Том 22. Концептуальная модель внешнего обмена данными (концептуальная модель, ресурсы и потоки)
Part 23: Identification, description and validation of Atomic semantic elements	Том 23. Идентификация, описание и проверка правильности «атомарных семантических элементов производства»
<i>Manufacturing resources usage management data</i>	<i>Данные по управлению использованием ресурсов</i>
Part 31: Overview and fundamental principles;	Том 31. Общий обзор и основополагающие принципы
Part 32: Conceptual model for resources usage management data	Том 32. Концептуальная модель данных по управлению использованием ресурсов
Part 33: Conformance testing	Том 33. Проверка на совместимость
<i>Manufacturing flow management data</i>	<i>Данные по управлению производственными потоками</i>
Part 41: Overview and fundamental principles	Том 41. Общий обзор и основополагающие принципы
Part 42: Time model;	Том 42. Временная модель
Part 43: Conceptual model for flow monitoring and control	Том 43. Концептуальная модель мониторинга и управления потоками
Part 44: Manufacturing data exchange	Том 44. Обмен производственными данными
Part 45: Conformance testing	Том 45. Проверка на совместимость

### **9.3.4. Стандарты представления текстовой и графической информации**

Стандарт SGML рассматривается как совокупность:

- содержания (информации, содержащейся в документе в текстовой, графической и мультимедийной форме);

- данных о структуре документа (взаимосвязи глав, разделов, параграфов, ссылки, прав доступа к элементам документа);

- данных о стиле оформления документа (используемых шрифтах, интервалах, размерах полей, способе нумерации и т.д.).

Структура документа задается при помощи «Определения типа документа» (ОТД) (в терминах стандарта – Document Type Definition), описывающего его структуру подобно тому, как схема базы данных описывает типы поддерживаемых данных и отношения между полями. ОТД задает взаимосвязь глав, заголовков глав, разделов и других фрагментов текста, образующих документ.

В табл. 9.4 приводится список стандартов для представления текстовой и графической информации.

Т а б л и ц а 9.4

**Стандарты текстовой и графической информации**

№ п/п	Наименование стандарта	Содержание
1	ISO 8879 Information Processing – Text and Office System – Standard Generalised Markup Language (SGML)	Обобщенный стандартный язык разметки текста, способ описания структуры документа, а также формат вставляемых в документ описательных меток
2	ISO/IEC 10179 Document Style Semantics and Specification Language (DSSSL)	Язык для описания правил и формата отображения SGML-документов при выводе на экран, печать или иное устройство отображения
3	ISO/IEC IS 10744 Information Technology – Hypermedia/Time Based Document Structuring Language (HyTime)	Расширение SGML в части использования мультимедийной информации
4	ISO/IEC 8632 Information Processing Systems – Computer Graphics – Metafile	Формат хранения планарных векторных и векторно-растровых изображений. Рассматриваются требования к представлению изображений в формате CGM
5	ISO/IEC 10918 Coding of Digital Continuous Tone Still Picture Images (JPEG)	Требования к представлению растровой графики в цифровом формате

№ п/п	Наименование стандарта	Содержание
6	ISO 11172 MPEG2 Motion Picture Experts Group (MPEG) Coding of Motion Pictures and associated Audio for Digital Storage Media	Требования к представлению движущихся картинок в цифровом формате
7	ISO/IECS 13522 Information Technology – Coding of Multimedia and Hypermedia Information (MHEG)	Требования к представлению мультимедийной информации

Применение стандарта SGML для создания структурированных документов дает значительные преимущества. Фактически документ преобразуется в базу данных, допускающую манипуляции с его элементами в соответствии с заданным ОТД. В свою очередь, ОТД разрабатывается в соответствии с назначением документа.

#### 9.4. Стандарты технического обмена

Стандарты технического обмена контролируют носители информации и процессы обмена данными между передающими и принимающими системами (определяют общий набор правил для обмена информацией в цифровой форме). Ряд стандартов – это общие правила цифрового обмена информацией: при использовании CD-ROM (ISO 9660 и MIL-STD 1840B); в управлении, торговле, транспорте (EDIFACT); при обмене данными по интернету.

ISO 9660 представляет собой единую файловую систему, предназначенную для использования под управлением операционных систем. В отличие от обычной файловой системы, которая должна динамически обновляться и изменяться, когда операционная система добавляет или удаляет файлы, ISO 9660 описывает среду только для чтения, а именно CD-ROM.

Магнитооптические носители могут принимать изменения в структуре файлов и проводить много сеансовые записи на компакт-диск.

Накопители CD-ROM не могут обращаться к данным очень быстро, а извлечение файлов происходит гораздо дольше, чем из накопителей на жестких дисках.



В этой структуре применяются следующие основные правила и соглашения.

1. Имена файлов и каталогов в ISO 9660 ограничены 8 символами для уровня 1 и 30 символами для уровней 2 и 3.

2. Файлы могут иметь 3-символьное расширение, но расширения нельзя использовать в именах каталогов (в отличие от DOS, которая это позволяет).

3. Разрешенными символами являются следующие: от А до Z, от 0 до 9 и символ подчеркивания (\_). При этом буквенные символы должны быть прописными.

4. Структура каталогов может включать максимум 8 уровней.

5. Номера версий, следующие за именем файла, являются обязательными. Номера версий могут лежать в пределах от 1 до 32767.

6. Общее число символов, определяющих путь к файлу в последовательности подкаталогов, равно 256.

7. Каталоги сортируются в алфавитно-цифровом порядке. Первыми сортируются цифровые части (от 0 до 9). Последними сортируются подчеркивания (\_).

Существуют два способа для поиска файла в указанной файловой структуре. Контроллер накопителя CD-ROM может либо следовать по пути в иерархии каталогов, пока требуемый файл не будет найден, либо обратиться к независимо скомпилированному списку путей, который служит указателем для всех файлов на диске.

При создании многоплатформенного диска по стандарту ISO 9660 обычно требуется создать группу подкаталогов для заключения в них исполняемых файлов для каждой поддерживаемой операционной системы. Типами приложений, хранимых в подкаталогах, соответствующих определенным операционным системам, будут инструменты поиска и считывания, плееры для программ мультимедиа, а также любые файлы, характерные для конкретной платформы и процессора.

Данные файлов, доступные для каждой операционной системы, могут храниться в общем подкаталоге или связке подкаталогов. Используя эту систему, пользователь платформы Macintosh сможет двойным щелчком открыть папку, содержащую инструменты доступа, и просмотреть область данных на диске. Пользователь UNIX будет обращаться к другому подкаталогу. Пользователь DOS найдет необходимые инструменты доступа еще в одном ката-

логе. Другими словами, первый уровень подкаталогов от корня может расчленять второй уровень файловой системы, чтобы обеспечить точки входа для пользователей каждой операционной системы.

Для завершения логической структуры, позволяющей читать диски CD-ROM независимо от платформы, требуется еще один элемент – расширение к каждой операционной системе, которое может связать требования системного программного обеспечения с аппаратными операциями низкого уровня накопителя CD-ROM и его единственной средой хранения. В среде DOS программной составляющей является драйвер устройства, известный как MSCDEX (Microsoft CD Extensions). MSCDEX служит мостом между двумя средами, позволяет DOS видеть содержимое CD-ROM как том DOS и освобождает разработчиков от необходимости понимать индивидуальные операции устройства для каждого поддерживаемого накопителя CD-ROM. Аналогичная функция выполняется на платформе Macintosh расширением под названием Foreign File Access. С этим расширением, установленным в папке Extensions, которая, свою очередь, находится в папке Mac System, взаимодействие с накопителем CD-ROM проходит гладко. Аналогичные программные компоненты существуют для каждой операционной системы, которая может обращаться к дискам ISO 9660.

Проблема сравнительно низкой производительности накопителей CD-ROM и вопросы доступа к файлам были решены путем создания структуры, в которой все связи с файлами и данными хранятся у центра диска в прилегающих секторах. Так как теперь не требуется извлекать эту информацию из различных мест на диске, время доступа к файлам может быть сокращено.

## **9.5. Стандарты по защите информации**

Эти стандарты определяют общие требования к программным и аппаратным средствам защиты информации (в том числе путем применения электронной цифровой подписи, включая алгоритмы шифрования и управления ключами) в государственном масштабе, в корпоративном применении или в рамках предприятия. Для обеспечения совместимости аппаратно-программных систем и их компонентов за основу российских стандартов информационной

безопасности (ИБ) принимались стандарты США – так называемая «Оранжевая книга» (Department of Defense Trusted Computer System Evaluation Criteria – DoD 5200.28 – STD, December 26, 1985). Стандарты в структуре ИБ выступают связующим звеном между технической и концептуальной стороной, так как в стандартах на ИБ косвенно затрагиваются правовые вопросы. Как видно из рис. 9.5, они относятся к специальным нормативным документам по технической защите информации и находятся в логическом соответствии с правовыми и организационно-распорядительными документами.

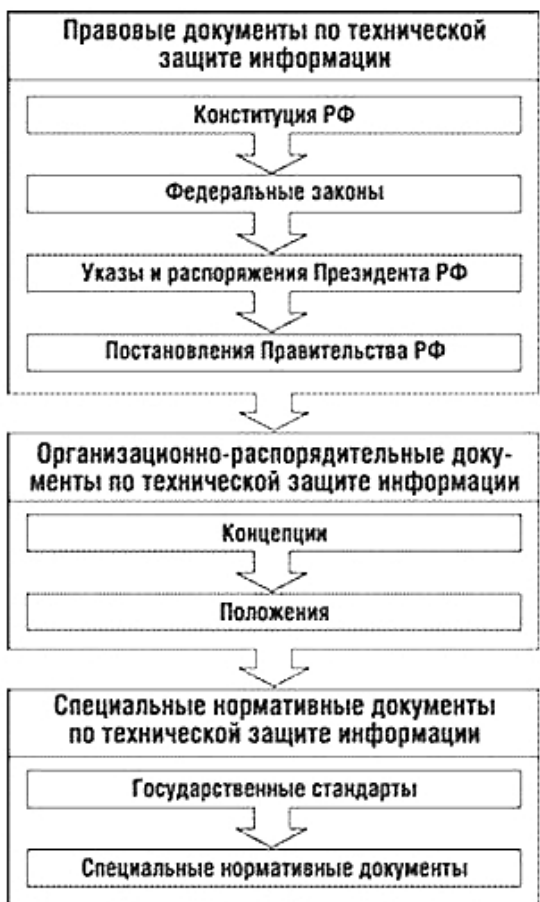


Рис. 9.5. Административно-правовая структура ИБ в России

Информационную безопасность в России регламентируют следующие стандарты.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–1–2002. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 1. Введение и общая модель.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–2–2002. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 2. Функциональные требования безопасности.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–3–2002. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Требования доверия к безопасности.

ГОСТ Р 50739–95. Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Общие технические требования.

ГОСТ Р 50922–96. Защита информации. Основные термины и определения.

ГОСТ Р 51188–98. Защита информации. Испытания программных средств на наличие компьютерных вирусов. Типовое руководство.

ГОСТ Р 51275–99. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения.

ГОСТ Р ИСО 7498–1–99. Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Ч. 1. Базовая модель.

ГОСТ Р ИСО 7498–2–99. Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Ч. 2. Архитектура защиты информации.

Наиболее полным, определяющим инструменты оценки безопасности информационных систем и порядок их использования, является стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408, называемый еще «Общими критериями» (ОК). Как отмечается во введении к нему, «обеспечение безопасности информационных технологий (ИТ) представляет собой комплексную проблему, которая решается в направлениях совершенствования правового регулирования применения ИТ».

В первой части (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–1–2002. «Введение и общая модель») устанавливается общий подход к формированию

требований оценки безопасности. На их основе разрабатываются профили защиты и задания по безопасности, представленные в классах данного стандарта АРЕ «Оценка профиля защиты» и ASE «Оценка задания по безопасности», а также АМА «Поддержка доверия».

Часть вторая (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–2–2002. «Функциональные требования безопасности») представляет собой обширную библиотеку функциональных требований к безопасности, описывающую 11 классов, 66 семейств, 135 компонентов и содержащую сведения о том, какие цели безопасности могут быть достигнуты и каким образом.

Третья часть (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–3–2002. "Требования доверия к безопасности") включает в себя оценочные уровни доверия (ОУД), образующие шкалу для измерения уровня доверия к объекту оценки. Под доверием понимается «основа для уверенности в том, что продукт или система информационных технологий отвечает целям безопасности». Способом его достижения считается активное исследование, определяющее свойства безопасности ИТ (причем большее доверие является результатом приложения больших усилий при оценке) и сводящееся к их минимизации для обеспечения необходимого уровня доверия. Одним словом, мы должны свести усилия к минимуму, при этом не перусердствовав в достижении необходимого уровня доверия.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что каркас безопасности, построенный частью 1 ОК, заполняется содержимым из классов, семейств и компонентов в части 2, а третья часть определяет, как оценить прочность всего «строения». В роли чертежей для многократного повторения архитектуры выступают профили защиты (ПЗ) и задания по безопасности (ЗП).

## **9.6. Государственные стандарты Российской Федерации и рекомендации по стандартизации**

ГОСТ Р ИСО 10303–1–99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы.

ГОСТ Р ИСО 10303–11–2000. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и об-

мен этими данными. Часть 11. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS.

ГОСТ Р ИСО 10303–12–2000. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление и обмен данными об изделии. Часть 12. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS-I.

ГОСТ Р ИСО 10303–21–99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 21. Методы реализации. Кодирование открытым текстом структуры обмена.

ГОСТ Р ИСО 10303–41–99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 41 Интегрированные обобщенные ресурсы. Основы описания и поддержки изделий.

ГОСТ Р ИСО 10303–45–2000. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 45. Интегрированные обобщенные ресурсы. Материалы.

С 1 сентября 2006 г. в России введены в действие следующие нормативные документы:

ГОСТ 2.051–2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.

ГОСТ 2.052–2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.053–2006. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.104–2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи.

ГОСТ 2.610–2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.

ГОСТ 2.601–2006. Единая система конструкторской документации.

P50.1.029–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Интерактивные электронные технические руководства. Общие требования к содержанию, стилю и оформлению.

Данный документ определяет требования к стилю, содержанию и средствам диалогового общения с пользователем в интерактивных электронных технических руководствах.

P50.1.030–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Интерактивные электронные технические руководства. Логическая структура базы данных.

Данный документ определяет представления технических данных, знакомит производителей промышленных изделий с рекомендациями по подготовке интерактивных электронных технических руководств и осуществлению различных функций материально-технического снабжения.

P50.1.031–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Терминологический словарь. Часть 1. Терминология, относящаяся к стадиям жизненного цикла продукции.

P50.1.032–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Терминологический словарь. Часть 2. Основные термины и определения методологии и функциональных объектов в стандартах серии ISO 10303.

PC устанавливают термины и определения понятий в области CALS-технологий. Термины, установленные в PC, рекомендуются для применения во всех видах документации и литературы по технологиям непрерывной информационной поддержки жизненного цикла продукции.

P50.1.027–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Автоматизированный обмен технической информацией. Основные положения и общие требования.

PC распространяются на обмен между организациями или системами конструкторскими, технологическими, программными и другими проектными данными, представленными в электронном виде. PC определяют основные правила формирования пакета технических данных для электронного обмена, форматы представления технических данных об изделии, а также устанавливают требования и соглашения к логическому распознаванию файлов независимо от среды передачи технической информации.

P50.1.028–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Методология функционального моделирования.

PC описывают язык моделирования IDEF0, правила и методику структурированного графического представления описания процессов (бизнес-процессов) предприятия или организации.

## 10. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

### 10.1. Автоматизированные системы для поддержки жизненного цикла изделий

Практическая реализация CALS-технологий предполагает организацию единого информационного пространства (интегрированной информационной среды), объединяющего автоматизированные системы, предназначенные для решения задач, выполняемых на различных этапах жизненного цикла продукта.

В едином процессе участвует множество предприятий и сервисных служб с удаленным доступом к информации (рис. 10.1), которая может, например, напрямую передаваться от компьютера к техническому устройству, машиностроительному оборудованию и т.д.



Рис. 10.1. Процессы, использующие информацию об изделии

Интегрированная информационная среда – это совокупность распределенных баз данных, в которой действуют единые, стандартные правила хранения, обновления, поиска и передачи информации, через которую осуществляется безбумажное информационное взаимодействие между всеми участниками жизненного цикла продукта (рис. 10.2). При этом однажды созданная информация хранится в интегрированной информационной среде, не



дублируется, не требует каких-либо перекодировок в процессе обмена, сохраняет актуальность и целостность.

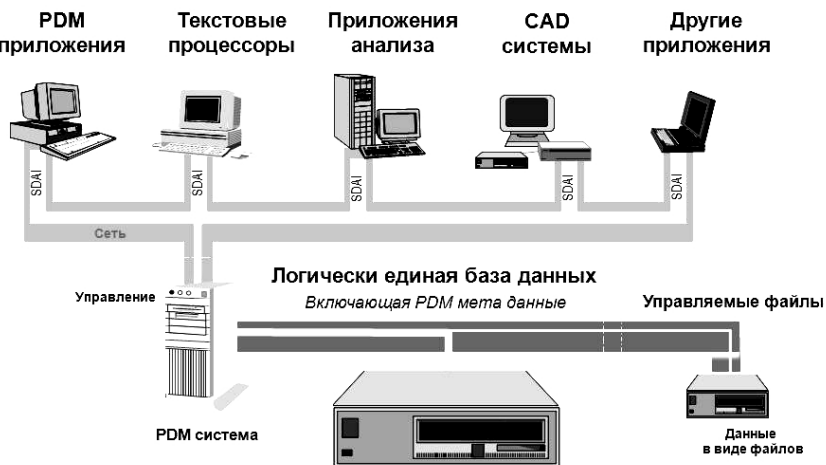


Рис. 10.2. Интегрированная обработка данных

Целостность данных поддерживается в процессе управления конфигурацией проекта, а также тем, что нельзя одновременно изменять один и тот же объект разным разработчикам; каждый из них должен работать со своей рабочей версией. Другими словами, необходимо обеспечивать синхронизацию изменения данных, разделяемых между многими пользователями. Для этого выполняется авторизация пользователей и разрабатываются средства ведения многих версий проекта. Во-первых, пользователи подразделяются на классы (администрация системы, руководство проектом и частями проекта, группы исполнителей-проектировщиков) и для каждого класса вводят определенные ограничения, связанные с доступом к разделяемым данным; во-вторых, доступ регламентируется по типам разделяемых данных. Данным могут присваиваться различные значения статуса, например: «правильно», «необходимо перевычисление», «утверждено в качестве окончательного решения» и т.п.

Кроме технических средств (см. рис. 10.2), для создания единого информационного пространства используются и программные системы, специализированные под выполнение задач конкретного этапа жизненного цикла изделия.

На схеме, изображенной на рис. 10.3, указаны наименования этих систем, относящихся к этапам жизненного цикла. Функциональное назначение этих систем следующее:

**CALS** (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) – 1) информационная поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла, 2) непрерывные поставки и поддержка жизненного цикла изделия;

**PLM** (Product Lifecycle Management) – управление жизненным циклом изделия;

**CRM** (Customer Relationships Management) – управление взаимоотношениями с заказчиками;

**CAD** (Computer Aided Design) – система автоматизированного проектирования;

**CAM** (Computer Aided Manufacturing) – система автоматизированного производства;

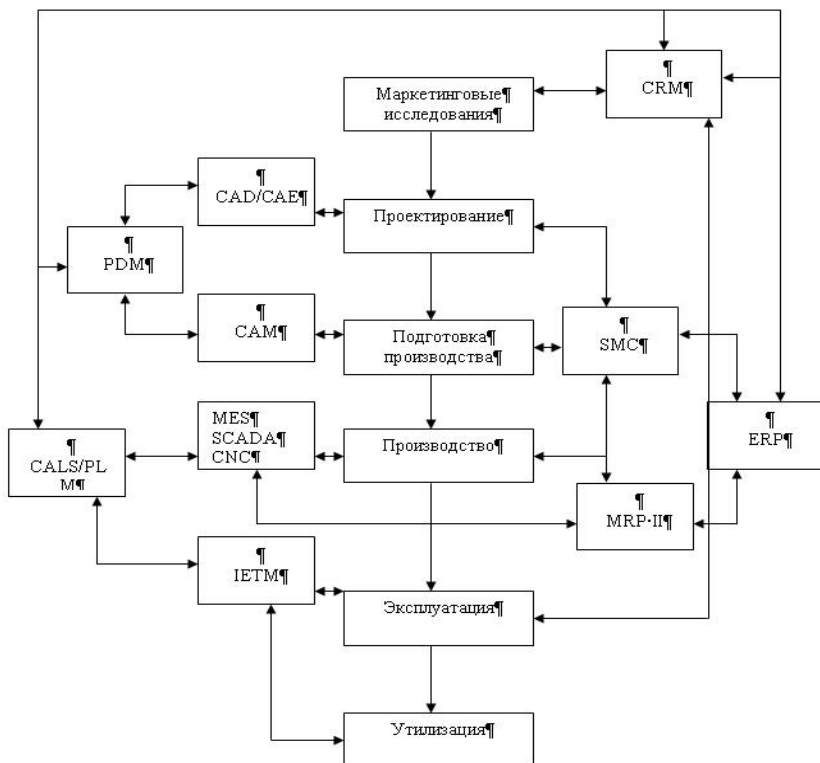


Рис. 10.3. Этапы жизненного цикла промышленной продукции и используемые автоматизированные системы

**CAE** (Computer Aided Engineering) – автоматизированное конструирование;

**PDM** (Product Data Management) – система управления проектными данными;

**SCM** (Supply Chain Management) – система управления цепочками поставок;

**CPC** (Collaborative Product Commerce) – система управления данными в интегрированном информационном пространстве;

**ERP** (Enterprise Resource Planning) – система планирования и управления ресурсами предприятия;

**MRP-II** (Manufacturing Requirement Planning) – система планирования производства и требований к материалам;

**MES** (Manufacturing Execution Systems) – производственная исполнительная система;

**SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition) – диспетчерское управление и сбор данных;

**CNC** (Computer Numerical Control) – компьютерное числовое программное управление;

**IETM** (Interactive Electronic Technical Manuals) – интерактивные электронные технические руководства.

Перечисленные автоматизированные системы могут работать автономно, и в настоящее время так обычно и происходит. Однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны в других системах, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

Кроме перечисленных программных систем, на предприятиях широко используются и другие, хорошо зарекомендовавшие себя автоматизированные системы. На рис. 10.4 демонстрируется диапазон задач внутри жизненного цикла изделия, решаемых этими системами. Сокращенные обозначения на этом рисунке имеют следующий смысл:

**АСУП** – автоматизированная система управления производством. Предназначена для создания планов производства и отчетов о его ходе. Офисные системы для подготовки текстовых и табличных документов;

**ИАСУ** – интегрированная автоматизированная система управления. Предназначена для организации совместного использования одной и той же информации (в электронном виде) для решения разных задач.

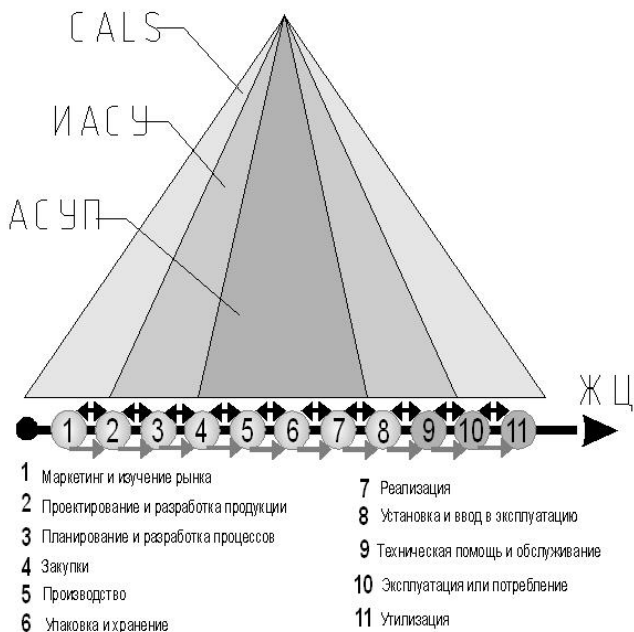


Рис. 10.4. Позиционирование автоматизированных систем внутри жизненного цикла изделия

В состав ИАСУ могут входить:

**АСУП;**

**АСКТПП** – автоматизированная система управления конструктивно-технологической подготовки производства;

**АСУ ГАУ** – автоматизированная система управления гибкими производственными участками;

**АСУ АТСС** – автоматизированная система управления транспортно складской системой;

**АСУ ИО** – автоматизированная система управления инструментальным обеспечением;

**АСНИ** – автоматизированная система управления научными исследованиями.

В рамках предприятия обычно интегрируются такие системы:

**PLM/PDM** – системы управления жизненным циклом или данными об изделиях;

**САПР-К, САПР-Т и СИАР (CAD/CAM/CAE)** – выполнение инженерно-конструкторской, технологической подготовки изделий и выполнение инженерного анализа и расчетов;

**АСУП (ERP)** – решение задач автоматизации управления финансами, складского учета, снабжения и сбыта, а также технического обслуживания;

**PM (Project Management)** – системы управления проектами и программами;

**ETPD (Electronic Technical Publication Development)** – системы подготовки электронной технической документации.

На ИАСУ были возложены не только функции автоматизации процессов проектирования и производства изделий, но и совершенно новые задачи, связанные с обеспечением информационной интеграции процессов. Эта интеграция должна была осуществляться за счет совместного использования одной и той же информации (в электронном виде) для решения разных задач.

Кроме перечисленных управленческих средств, немаловажное значение имеют и средства управления проектами.

Технология управления проектами (УП) не зависит от их содержания, что позволяет рассматривать ее как базовую (инвариантную) технологию.

Термин «управление проектом» (Project Management) обозначает класс управленческих задач, связанных с планированием, организацией и управлением действиями, направленными на достижение поставленных целей при заданных ограничениях на использование ресурсов.

Типовыми задачами УП являются:

- разработка планов выполнения проекта, в том числе разработка структурной декомпозиции работ проекта и сетевых графиков;
- расчет и оптимизация календарных планов с учетом ограничений на ресурсы;
- планирование потребностей проекта в ресурсах;
- отслеживание хода выполнения работ и сравнение текущего состояния с исходным планом;
- формирование управленческих решений, связанных с воздействием на процесс или с корректировкой планов;
- формирование различных отчетных документов.

Действия, приводящие к выполнению проекта, потребность в которых выявляется в ходе его планирования, могут представлять собой типовые бизнес-процессы (закупка комплектующих, разработка документации, производство и т.д.). Такие бизнес-процессы часто выполняются по заранее определенным формальным схемам

(моделям), фактически определяющим технологию их выполнения. В ходе выполнения проекта исполнители (организации или сотрудники), действуя в соответствии с заданной технологией (моделью процесса), получают и выполняют задания, соответствующие структурным элементам бизнес-процесса (операциям).

Автоматизация управления потоком таких заданий есть функция другой базовой технологии управления – технологии управления потоком работ (поток работ – буквальный перевод английского «workflow»).

Дадим краткую характеристику некоторым управляющим технологиям, связав их с соответствующими этапами жизненного цикла изделия.

## 10.2. Маркетинговые исследования

Цель маркетинговых исследований – анализ состояния рынка, прогноз спроса на планируемые изделия и развитие их технических характеристик. На этом этапе жизненного цикла применяется система CRM (Customer Requirement Management – управление взаимоотношениями с заказчиками) (рис. 10.5).

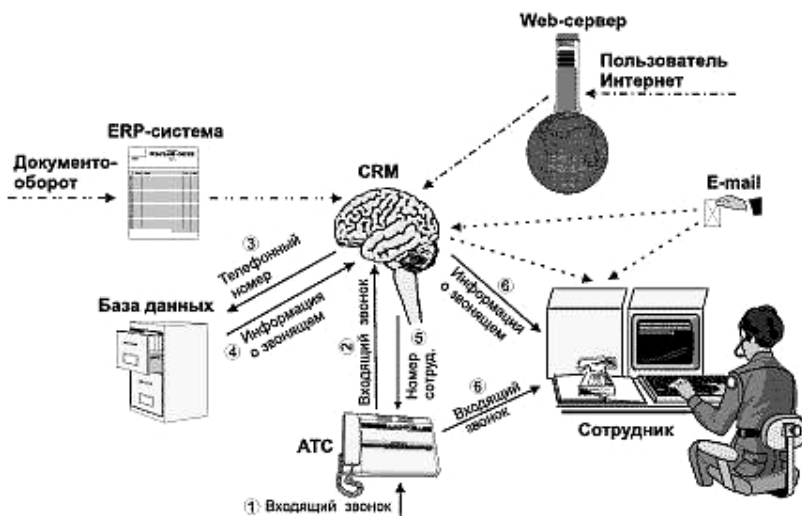


Рис. 10.5. Схема работы системы CRM

CRM – это система, на вход которой поступают данные, связанные с клиентами компании, а на выходе появляется информация, влияющая на поведение компании в целом или ее отдельных элементов (вплоть до конкретного работника). Другими словами, CRM-система – это, прежде всего, база данных и набор приложений, которые позволяют, во-первых, собирать информацию о клиенте, во-вторых, ее обрабатывать, в-третьих, делать определенные выводы на ее базе экспортировать ее в другие приложения или просто при необходимости предоставлять в удобном виде. Собственно, эти моменты и являются ключевыми функциями CRM-системы. Результатами ее работы могут пользоваться не только сотрудники компании, но и непосредственно сам клиент.

Примером использования может быть разработка дизайна нового продукта, который подходит по стилю к уже выполненным для данного заказчика работам, доступ к просмотру которых можно легко получить с помощью CRM-системы.

### **10.3. Управление ресурсами предприятия**

Практика показала, что из всех задач ИАСУ наиболее типизируемыми оказались задачи автоматизации проектирования и подготовки производства, а также задачи уровня управления предприятием (АСУП). В конце 1980-х – начале 90-х годов на рынке появились универсальные программно-технические решения, пригодные для использования на предприятиях с различным уровнем автоматизации, в том числе и вне КИП в его классическом понимании. Возникли новые устойчивые понятия: CAD/CAM/CAE и MRP (MRP II).

Первое понятие – CAD (Computer Aided Design)/CAM (Computer Aided Manufacturing)/CAE (Computer Aided Engineering) – обозначало комплекс программных средств компьютерного проектирования, подготовки производства и инженерных расчетов.

Второе понятие – MRP (Materials Requirement Planning – планирование потребностей в материалах), а позднее MRP II (Manufacturing Resource Planning – управление производственными ресурсами) – стало общепринятым обозначением комплекса задач управления финансово-хозяйственной деятельностью предприятия: планирования производства, материально-технического снабжения, управления финансовыми ресурсами и др.

Появились первые стандарты и спецификации, определяющие функциональные требования к этим системам.

В начале 90-х консалтинговой фирмой Gartner Group (США) была предложена концепция ERP (Enterprise Resource Planning – управление ресурсами предприятия). Сегодня термины MRP II и ERP практически полностью вытеснили термин АСУП и стали привычным для специалистов обозначением класса интегрированных информационных систем, предназначенных для управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятия.

Характерными примерами современных ERP являются системы P/3 (SAP), BAAN IV (BAAN), Oracel Applications (Oracle Corporation), MFG/PRO (QAD), People Soft (People Soft Inc), OneWorld (J.D.Edwards), Syteline (Symix Systems) и др. Следует упомянуть об интегрированных информационных системах, приближающихся по функциональности к ERP, представленных на рынке российскими компаниями: «БОСС» (компания АйТи), «Парус» («Корпорация Парус»), «Галактика» («Корпорация Галактика») и др.

Также хорошо известна технология планирования ресурсов предприятия (MRP II – Manufacturing Resource Planning). Как следует из названия, она, как и технология управления проектами, связана с управлением ресурсами. Грань между этими двумя технологиями достаточно условна, и области их применения в значительной степени пересекаются. Обе они связаны с задачами планирования, учета и рационального распределения ресурсов при решении сложных задач.

Первоначально технология MRP была нацелена на решение производственных задач, однако в настоящее время системы класса MRP и ERP (Enterprise Resource Planning) широко применяются не только в производстве, но и для управления проектной деятельностью (конструкторские бюро), коммерцией, эксплуатацией сложной техники (авиакомпания). Типовой набор решаемых задач следующий:

- управление финансовыми ресурсами (Financia Management) – расчет потребностей в материалах (Materials Requirement Planning);
- управление персоналом (Human Resouces) – прогнозирование объема реализации и продаж (Forecasting);
- ведение портфеля заказов (customer Orders) – оперативно-производственное планирование (Finite Scheduling);
- управление запасами (Inventory Management) – оперативное управление производством (Production Activity Control);
- управление складами (Warehouse Management) – управление техническим обслуживанием оборудования (Equipment Maintenance);



- управление закупками (Purchasing) – расчет себестоимости продукции и затрат (Cost Accounting);
- управление продажами (Sales) – управление транспортировкой готовой продукции (Transportation);
- объемное планирование (Master Production Sheduling) – управление сервисным обслуживанием (Service).

В свою очередь, системы управления проектами, изначально нацеленные на решение непроизводственных задач, все шире используются при управлении комплексными проектами по созданию наукоемких изделий, включающими как собственно проектные, так и производственные задачи.

В целом описанные управленческие технологии ориентированы на получение оптимальных в некотором смысле результатов производственной деятельности при ограниченных ресурсах.

#### **10.4. Управление качеством**

Обеспечение требуемого качества продукции является одной из целей реализации концепции CALS. Поэтому управление качеством (Quality Management) следует отнести к базовым технологиям управления.

Управление качеством в широком смысле следует понимать как управление процессами, направленное на обеспечение качества их результатов. Такой подход соответствует идеям всеобщего управления качеством (Total Quality Management), суть которых как раз и заключается в управлении предприятием через управление качеством.

В контексте концепции CALS методы и технологии управления качеством приобретают новое развитие. Применение ИИС обеспечивает информационную поддержку и интеграцию процессов предприятия, т.е. возможность использования электронных данных, созданных в ходе различных процессов, для задач управления качеством.

В укрупненной структуре СМК на (рис. 10.6) показаны связи с объектом управления (процессами предприятия или ЖЦ продукции), а также с внешней по отношению к рассматриваемой системе средой, каковую в данном случае представляет «обобщенный» потребитель, чьи требования и степень удовлетворенности являются внешними данными.

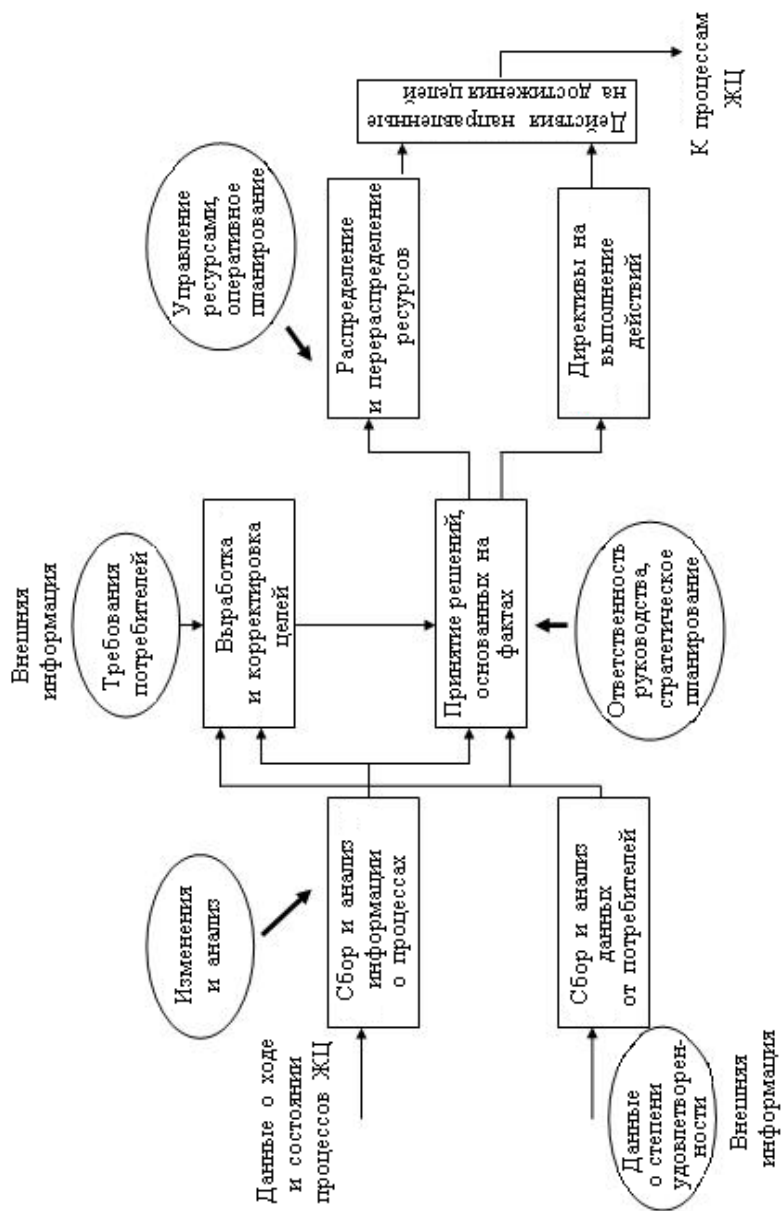


Рис. 10.6. Структурная схема системы менеджмента качества

Блоки выработки и корректировки целей и принятия решений вместе эквивалентны тому, что в терминах стандарта ГОСТ Р ИСО 9001–2001 называется ответственностью руководства и планированием (в данном контексте – стратегическим). Блоки сбора и анализа данных отражают процессы, именуемые в стандарте как «измерение и анализ».

Группа блоков, связанных с реализацией решений (распределение и перераспределение ресурсов, директивы на выполнение действий и сами действия, направленные на достижение целей), отражает все то, что в стандарте называют «управлением ресурсами», планированием (в этом контексте – оперативным) и, наконец, «улучшением».

В табл. 10.1 приведен перечень предусмотренных стандартом задач СМК, связанных с процессами ЖЦ изделия. Все задачи нацелены на создание управляемой организационной среды на всех стадиях ЖЦ, в которой все процессы выполняются в рамках установленных правил.

Т а б л и ц а 10.1

**Задачи СМК, связанные с процессами ЖЦ изделия**

Раздел стандарта	Задачи (по ГОСТ Р ИСО 9001–2001)
7	Процессы жизненного цикла продукции
7.1	Планирование процессов жизненного цикла продукции
7.2	Процессы, связанные с потребителями
7.2.1	Определение требований, относящихся к продукции
7.2.2	Анализ требований, относящихся к продукции
7.2.3	Связь с потребителями
7.3	Проектирование и разработка
7.3.1	Планирование проектирования и разработки
7.3.2	Входные данные для проектирования и разработки
7.3.3	Выходные данные проектирования и разработки
7.3.4	Анализ проекта и разработки
7.3.5	Проверка проекта и разработки
7.3.6	Утверждение проекта и разработки
7.3.7	Управление изменениями проекта и разработки
7.4	Закупки
7.4.1	Процесс закупок
7.4.2	Информация по закупкам
7.4.3	Верификация закупленной продукции
7.5	Производство и обслуживание

Раздел стандарта	Задачи (по ГОСТ Р ИСО 9001–2001)
7.5.1	Управление производством и обслуживанием
7.5.2	Утверждение процессов производства и обслуживания
7.5.3	Идентификация и прослеживаемость
7.5.4	Собственность потребителей
7.5.5	Сохранение соответствия продукции
7.6	Управление устройствами для мониторинга и измерений

Поскольку в процесс обеспечения качества продукции вовлечено значительное число людей, возникает проблема совместного использования множества данных. Современные технологии построения корпоративных сетей предполагают наличие одного или нескольких серверов баз данных и значительное количество рабочих станций персонала. Архитектура «клиент–сервер» позволяет использовать для хранения данных одну мощную СУБД (типа Oracle, SyBase или им подобных) и клиентское программное обеспечение (ПО) на рабочих станциях (рис. 10.7).

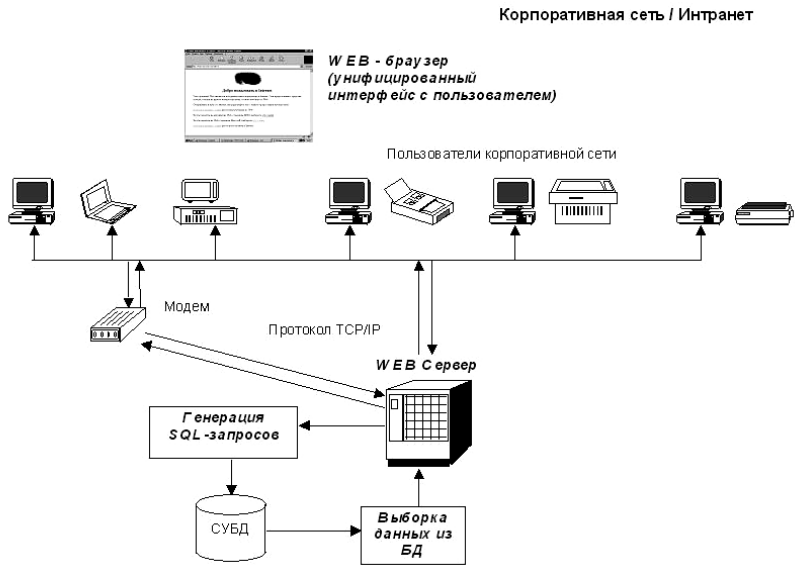


Рис. 10.7. Использование архитектуры «клиент–сервер» для обеспечения менеджмента качества

Базовая информационная модель наглядно иллюстрирует функционирование системы качества на предприятии, она может быть использована как справочная информационная система. В ней сохраняются и передаются знания. Она является основой для дальнейшего совершенствования обеспечения качества.

Использование комплекса базовых информационных моделей обеспечения качества позволит предприятию сократить сроки разработки или переработки имеющейся системы КС УКП (приведение ее в соответствие требованиям международных стандартов ИСО серии 9000) за счет следующих факторов:

- систематизации имеющейся документации (в том числе нормативно – технической) с формированием перечня документов системы качества (вся ли документация действующая и соответствует ли ее содержание (в том числе по терминологии) требованиям серии ИСО 9000);
- проверки полноты регламентации (процедур) элементов системы качества и характеристик качества (наличие в документации заявляемых элементов по ГОСТ Р ИСО 9001 и полнота их описания);
- анализа документооборота (применяемость, актуальность, информационная достаточность, легальность);
- простоты проверки распределения элементов системы качества, полноты описания процедур и ответственности за их выполнение между структурными подразделениями.

## **10.5. Управление конфигурацией**

Управление конфигурацией (УК – Configuration Management) – управленческая технология, связанная с разработкой, выпуском и поддержкой ЖЦ сложных изделий, производимых во многих вариантах, в том числе по конкретным требованиям заказчика. Эта технология призвана решать противоречивые по своей сути задачи: с одной стороны, обеспечивать максимальное удовлетворение требований заказчика к изделию в течение всего ЖЦ, а с другой – обеспечивать максимально возможный в этих условиях уровень унификации компонентов выпускаемых изделий.

Стартовая точка УК – установление, согласование между заказчиком и поставщиком и формализация контрактных требований, из которых ясно следуют обязательства поставщика. Важным

результатом УК является тот факт, что потребителю поставляется не только само изделие, но и документированные доказательства того, что изделие и все его компоненты соответствуют заданным требованиям. Это, с одной стороны, служит основой гарантии качества, а с другой – защищает поставщика от необоснованных претензий.

Технология УК обеспечивает целостность и документирование всех данных об изделии, «прослеживаемость» (traceability) всех шагов, связанных с внесением изменений в структуру, состав и конструкции отдельных компонентов изделия. Это позволяет в любой момент воспроизвести процесс изготовления экземпляра изделия с гарантией получения его требуемых характеристик.

Технология УК опирается на ряд специфических понятий.

Конфигурация (configuration) – совокупность функциональных, эксплуатационных и физических атрибутов (характеристик) изделия – представляется древовидной (иерархической) структурой, элементами которой являются объекты управления конфигурацией (в дальнейшем для краткости – объекты конфигурации (configuration items)). Каждый объект (ОК) представляет собой изделие или его часть, осуществляющую в этом изделии какую-либо функцию. Конфигурация в целом и составляющие ее ОК могут быть соответствующим образом документированы и утверждены.

Документация, позволяющая определить и идентифицировать функциональные, физические и эксплуатационные характеристики изделия, называется документацией конфигурации (ДК – configuration documentation), в качестве которой принято рассматривать технические требования (условия), чертежи изделия или электронные данные аналогичного назначения.

Утвержденную в установленном порядке ДК принято называть базовой конфигурацией (base-line). Существует несколько видов базовых конфигураций (БК).

На стадии технического задания и технического предложения формируется функциональная ДК, описывающая требования потребителя (заказчика) к функциональности изделия, его эксплуатационным свойствам, возможностям взаимодействия с внешней средой, а также проверки, необходимые для демонстрации выполнения этих требований. Утвержденный комплект ДК называется функциональной базовой конфигурацией (ФБК).

В ходе и по завершении разработки проекта создается проектная ДК. Утвержденный комплект ДК называется проектной базовой конфигурацией (ПБК). ПБК должна содержать, помимо чертежей и иных документов, сведения, подтверждающие выполнение требований к изделию и его компонентам на стадии проектирования (результаты расчетов, математического и/или натурального моделирования и т.п.).

При изготовлении конкретного экземпляра изделия создается «физическая» ДК (ФЗДК), содержащая, помимо чертежей, спецификаций и иных необходимых документов, результаты выходного контроля и испытаний изделия, подтверждающие выполнение требований. Утвержденная ФЗДК называется физической базовой конфигурацией (ФЗБК).

Все конструктивные изменения, приводящие к появлению модификаций или исполнений изделия, изначально требуют внесения изменений в соответствующие БК.

Каждому объекту конфигурации могут быть поставлены в соответствие одно или несколько конструктивных решений, обеспечивающих реализацию соответствующих данному объекту характеристик.

В соответствии с описанными понятиями технология управления конфигурацией включает следующие операции (процедуры).

#### 1. Идентификация конфигурации:

- группирование требований, выделение ОК, «отвечающих» за отдельные группы функциональных и иных характеристик изделия, введение обозначений;

- утверждение функциональной ДК и идентификация ФБК.

#### 2. Контроль конфигурации:

- установление связей между ОК и конструкторскими данными, которые должны содержать оценки характеристик изделия, полученные расчетными или экспериментальными методами (в зависимости от стадии ЖЦ);

- сопоставление полученных данных с требованиями, содержащимися в ОК, обнаружение ОК и соответствующих им конструктивных элементов, «ответственных» за отклонение от требований;

- внесение и документирование изменений в конструкцию изделия и его элементов с целью устранения отклонений от требований;

- установление последовательности (очередности) внесения и утверждения изменений; идентификация изменений;

- оценка эффективности реализованных изменений в отношении степени удовлетворения требований и связанных с этим затрат.

3. Учет статуса конфигурации – процедура систематической проверки и документального оформления наличия утверждений ОК, БК всех видов и иных объектов, относящихся к конфигурации.

4. Аудит конфигурации – совокупность процедур систематической проверки соответствия между требованиями, предъявляемыми к изделию и его компонентам, и их фактическими свойствами (характеристиками), выполняемая на всех стадиях ЖЦ.

В конкретных производственных ситуациях возможны некоторые вариации описанной технологии, в том числе относящиеся к формированию базовых конфигураций, модификаций и исполнений изделия, как по инициативе заказчика, так и по инициативе предприятия-разработчика и поставщика изделия.

Следует еще раз подчеркнуть, что УК является одной из базовых управленческих технологий и имеет целью обеспечить максимальное удовлетворение требований потребителя. В этом проявляется связь УК с менеджментом качества. Заметим, что в этом процессе используются измеримые характеристики изделий, на основании которых можно судить о состоянии и ходе производственных процессов и непрерывно их совершенствовать.

## **11. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ОБ ИЗДЕЛИЯХ**

### **11.1. Основные термины и определения**

PDM-система (Product Data Management – система управления данными об изделии) – организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации. В качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли, автомобили, самолеты, ракеты, компьютерные сети и др.). Для проектной организации продукцией является комплект конструкторской документации.



В PDM-системах обобщены следующие технологии:

- управление инженерными данными (engineering data management – EDM);
- управление документами;
- управление информацией об изделии (product information management – PIM);
- управление техническими данными (technical data management – TDM);
- управление технической информацией (technical information management – TIM);
- управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

Базовые функциональные возможности PDM-систем:

- **управление хранением данных и документов.** Все данные и документы хранятся в специальной подсистеме – хранилище данных, которое обеспечивает их целостность, организует доступ к ним в соответствии с установленными правами и позволяет осуществлять их поиск;

- **управление процессами,** т.е. отслеживание всех операций пользователей с данными, в том числе версий создаваемых и изменяемых данных. Кроме того, PDM-система управляет потоком работ проекта;

- **управление составом изделия.** PDM-система содержит информацию о составе изделия. Важной особенностью является наличие нескольких представлений состава для различных предметных областей (конструкторское, технологическое, маркетинговое и т.п.), а также управление применяемостью компонентов изделия с помощью правил комплектации;

- **классификация.** PDM-система должна поддерживать различные классификаторы хранимой в ней информации (об изделиях и документах). Например, таким классификатором можно пользоваться при автоматизации поиска изделий с нужными характеристиками;

- **календарное планирование.** PDM-система содержит функции формирования календарного плана работ, распределения ресурсов между отдельными задачами и контроля их выполнения;

- **вспомогательные функции** обеспечивают взаимодействие PDM-системы с другими программными средствами, с пользова-

телями, а также взаимодействие пользователей друг с другом. Наиболее мощные системы позволяют производить «цифровую сборку» сложных изделий из нескольких трехмерных моделей, созданных различными организациями в разных САПР.

Для выполнения вышеперечисленных функций PDM-системы оперирует следующими основными понятиями:

- изделие/версия изделия/конфигурация изделия/экземпляр изделия;
- структура изделия;
- контекст представления данных (конструкторский, технологический, эксплуатационный и других данных);
- электронный документ (конструкторский, технологический, эксплуатационный);
- состояние (статус) документа, структуры, свойства, процесса, ресурса; электронно-цифровая подпись;
- поток работ;
- процесс/экземпляр процесса;
- ресурс;
- свойство (характеристика);
- единица измерения;
- категория.

Таким образом, внедрение PDM-системы подразумевает изменение технологии ведения проектных работ и является основой комплексного решения для создания ЕИП предприятия и повышения эффективности проектно-конструкторских и технологических процессов, требующих наибольших затрат времени, людских и материальных ресурсов.

С помощью PDM-систем осуществляется отслеживание больших массивов данных и инженерно-технической информации, необходимых на этапах проектирования, производства или строительства, а также поддержка эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий.

PDM-системы интегрируют информацию любых форматов и типов, предоставляя ее пользователям уже в структурированном виде (при этом структуризация привязана к особенностям современного промышленного производства). PDM-системы работают не только с текстовыми документами, но и с геометрическими моделями и данными, необходимыми для функционирования автома-

тических линий, станков с ЧПУ и др., причём доступ к таким данным осуществляется непосредственно из PDM-системы.

С помощью PDM-систем можно создавать отчеты о конфигурации выпускаемых изделий, маршрутах прохождения, частях или деталях, а также составлять списки материалов. Все эти документы при необходимости могут отображаться на экране монитора производственной или конструкторской системы из одной и той же БД. Одной из целей PDM-систем является обеспечение возможности групповой работы над проектом, т.е. просмотра в реальном времени и совместного использования фрагментов общих информационных ресурсов предприятия.

Данные об изделии представляют собой всю информацию, созданную в течение ЖЦ. Они включают в себя состав и структуру изделия, геометрические параметры, чертежи, планы проектирования и производства, спецификации, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, эксплуатационные данные и многое другое.

## **11.2. Эволюция систем управления данными об изделии**

По мере развития научно-технического прогресса PDM-системы, совершенствовались и приобретали новые функции. Их эволюцию можно условно разделить на четыре этапа.

**1-й этап. PDM-системы первого поколения.** PDM-системы первого поколения появились на отечественном рынке в 1990–1995 гг. Для обеспечения эффективной работы над сложными изделиями инженерам-проектировщикам потребовалось дополнительное программное обеспечение, которое отслеживало бы состав всех генерируемых САПР файлов на предмет целостности, непротиворечивости и актуальности каталогов внутри рабочей группы.

PDM-системы первого поколения обычно имели прямой интерфейс с САПР, встроенную централизованную СУБД и модуль автоматизированной генерации спецификаций на изделие. Исходными данными для работы с ними была структура КД на изделие, получаемая напрямую из 3D- или 2D- САПР.

PDM-системы первого поколения применялись для организации коллективной работы группы проектировщиков.

**2-й этап. PDM-системы второго поколения.** Для интеграции PDM-систем в общий производственный процесс потребовалось

их расширение и дополнение новыми функциональными возможностями (в первую очередь с учетом технологических аспектов деятельности производства). PDM-системы второго поколения были созданы для управления всеми данными об изделии на этапах проектирования и технологической подготовки производства в соответствии с устанавливаемыми правилами. Их применение позволило рационализировать информационный обмен актуальными данными между подразделениями предприятия в целом и сократить потери на организацию доступа нужного уровня к общему банку данных предприятия для каждого из клиентов системы.

Областью применения систем PDM второго поколения стали группы и подразделения предприятия, непосредственно занятые в процессе производства, а PDM стали претендовать на звание «тяжелых», «промышленных» пакетов.

**3-1 этап. PDM-системы третьего поколения.** В период 1996–1998 гг. ведущие системные интеграторы начали активно продвигать идею полного электронного определения изделия – тотального охвата всех информационных потоков, касающихся изделия.

Если раньше информация о структуре изделий формировалась внешними «тяжелыми» САПР, например сборки в системах CATIA, CAMU CADDS5, UG, SDRC, файлы .asm из Pro/ENGINEER и далее экспортировалась в PDM, то теперь формирование структуры изделия – «дерева сборки» – становится непосредственной задачей систем PDM. Теперь «тяжелые» САПР уже становятся получателями, а не производителями информации о структуре изделия.

Результатом такого нового видения стало значительное ужесточение требований к современным PDM в части платформенной независимости, универсальности, многофункциональности, открытости и дружелюбности со стороны интерфейса пользователя.

Стремление к тотальному охвату информационных потоков потребовало также более тесной интеграции систем PDM с системами ресурсного планирования предприятия, такими как Oracle Application, SAP R/3, BAAN, CA Unicenter NG, JDEdwards и т.д. Так как стандарта структуры данных «де-юре» для таких систем еще не существовало, то в качестве рабочего варианта выбирался формат структур данных о составе изделия SAP R/3 или STEP (для автомобилестроения или авиастроения). Такой формат использовался для интеграции систем PDM и ERP по совместно используемым данным.

Для появившихся в период 1996–1998 гг. систем PDM третьего поколения характерны следующие особенности: полная реализация идеологии «клиент–сервер», реализация СУБД на базе самых производительных ядер, как правило, Oracle 7.x.x, реализация выхода на системы ERP, вызов клиентских модулей через унифицированный пользовательский графический интерфейс. Базовыми функциональными возможностями систем третьего поколения считаются контроль структуры и жизненного цикла изделия, версий и релизов информационных объектов, генератор спецификаций.

В качестве дополнительной задачи в этих системах решались вопросы контроля потока работ каждого конкретного исполнителя, т.е. «workflow». Конечным результатом применения систем PDM третьего поколения на практике явилось существенное сокращение непроизводительных потерь в условиях жесткой конкурентной борьбы за рынки сбыта не только при изготовлении новой техники, но и при организации работ по серийному и мелкосерийному выпуску продукции массового назначения. Следует заметить, что именно к этому поколению принадлежит известный продукт EPD.Connect компании РТС, нашедший распространение в некоторых отраслях российской промышленности.

**4-й этап. PDM-системы четвертого поколения.** К концу 1990-х на зарубежном рынке PDM-систем возникли новые задачи, которые нельзя было решить в системах третьего поколения. Первая из них была связана с развитием электронной коммерции в сети Интернет, получившей название «e-Business», а вторая обусловлена все более развивающейся глобализацией промышленного производства. Эти тенденции требовали появления программного обеспечения, поддерживающего совместную работу над крупными наукоемкими проектами всех соисполнителей и субподрядчиков независимо от их географического расположения.

В системах PDM четвертого поколения существенно возросли возможности отслеживания запросов на внесение изменений в модельный ряд, управления внесением таких изменений и отслеживания процессов рассылки и протоколирования хода изменений.

Реально полноценная организация связей с заказчиками, напрямую или чаще всего через сеть дилеров-поставщиков, возможна только через Интернет при помощи Web-технологий. При этом чистая, «классическая» клиент-серверная модель уже перестает работать. Поэтому необходимо ориентироваться на широкое ис-

пользование принципов организации среды Web, особенностей применения Java, HTML и XML для формирования страниц взаимодействия с пользователями системы и т.д.

Совокупность всех этих требований приводит к появлению принципиально нового поколения систем PDM – Web-ориентированных, вернее, базирующихся на Web-технологиях систем PDM. В зарубежной литературе для характеристики таких систем применяется термин – Web-centric. Web-ориентированные PDM-системы четвертого поколения получили название cPDM (collaborative Product Definition management).

### 11.3. Место PDM в интегрированной среде предприятия

Важной задачей PDM-системы является интеграция данных об изделии на протяжении всего ЖЦ. Фактически на предприятии существуют два центра интеграции данных: АСУП и PDM-система (рис. 11.1). Но если АСУП интегрирует данные в основном о ресурсах предприятия, то PDM-система – данные о продукте. Кроме того, на предприятии существуют прикладные компьютерные системы, которые создают и обрабатывают данные об изделии. Таким образом, можно выделить два направления интеграции данных: вертикальное (PDM и прикладные системы) и горизонтальное (PDM-система и АСУП).

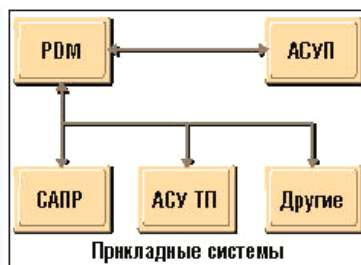


Рис. 11.1. Центры интеграции на предприятии

Основной выгодой при использовании PDM-системы является сокращение времени разработки и улучшение качества изделия. В результате повышается эффективность процесса проектирования:

- сотрудник избавляется от непроизводительных затрат времени на поиск, копирование и архивирование данных, что при работе с бумажной документацией составляет 25–30% времени;
- снижается количество изменений изделия благодаря более тесному взаимодействию сотрудников и применению параллельного проектирования;
- сокращаются сроки внесения изменений в конструкцию изделия или в технологию его производства за счет перехода на электронный документооборот и управление потоком работ;

- увеличиваются доли заимствованных компонентов в изделии (до 80%) за счет упрощения процедуры поиска детали с необходимыми характеристиками.

PDM-система должна быть основана на универсальных принципах сетевого взаимодействия (IP-адресация, независимость от физических характеристик среды передачи сигнала, глобальный охват), а ее пользовательский интерфейс тесно интегрирован со средствами для просмотра Web-страниц.

В состав современной системы PDM должны входить модули генерации и сохранения («Vaulting») объектов, их версий и релизов. Само хранение выполняется в системах четвертого поколения независимо от географического расположения сервера базы данных. Храниться на нем могут на равных правах как сами объекты, так и ссылки на них (URL, NFS-локализация, сетевой адрес файл-сервера и т.д.). При реальной сетевой реализации идеи Vaulting-серверов может быть несколько, база данных при этом получается распределенной, а СУБД должна выполнять в полной мере сетевой сервис. Реально СУБД, позволяющие реализовать идею «сетевого распределенного хранилища данных» («Distributed Vault» в зарубежной литературе), представлены пока только семейством Oracle 8i.

Современная система PDM в наиболее полном объеме реализует функции управления составом изделия, структурой всех его составных частей, деталей, узлов и агрегатов. Кроме того, в управляемую структуру должны входить дополнительные структурированные информационные объекты, состав которых отражает все необходимые данные для организации работ по производству самого изделия: структура оснастки, инструментального парка, операций и переходов, технологических приемов.

Современная система PDM управляет обменом данными о структуре изделия и вносимых в него изменениях, взаимодействием с любыми корпоративными приложениями, за счет чего упрощаются процессы совершенствования и модификации. Современная система PDM должна обеспечивать создание и поддержку множества взаимозависимых и взаимоувязанных спецификаций изделия (классические BOM, конструкторские, технологические, заказные спецификации, спецификации на покупные изделия, спецификации поставок и т.д.), благодаря чему пользователь получает согласованное представление об изделии на протяжении всего его жизненного цикла.

Современная система PDM должна иметь многоуровневый механизм управления реквизитами-атрибутами, настраиваемый на

конкретный состав задач по управлению тем или иным узлом, агрегатом или даже изделием в целом, а также встроенный механизм управления жизненным циклом изделия. В этот механизм должны входить средства ролевого управления любым пользователем системы PDM, средства отображения текущего состояния любого бизнес-объекта в терминах жизненного цикла, средства протоколирования состояний каждого бизнес-объекта, учет всех его состояний и средства администрирования. Для решения задач оперативного управления в системах PDM четвертого поколения обязательно наличие полнофункционального модуля Workflow.

На большинстве современных предприятий уже сформировались автоматизированные системы, предназначенные для замены ручного труда в некоторых сферах деятельности. По этой причине представляется особо важным интеграция и использование этих систем при внедрении PDM-системы путем реинжиниринга существующих бизнес-процессов.

На рис.11.2 изображена структурная схема этапов внедрения PDM-системы на предприятии с учетом уже имеющихся и используемых на нем автоматизированных систем.

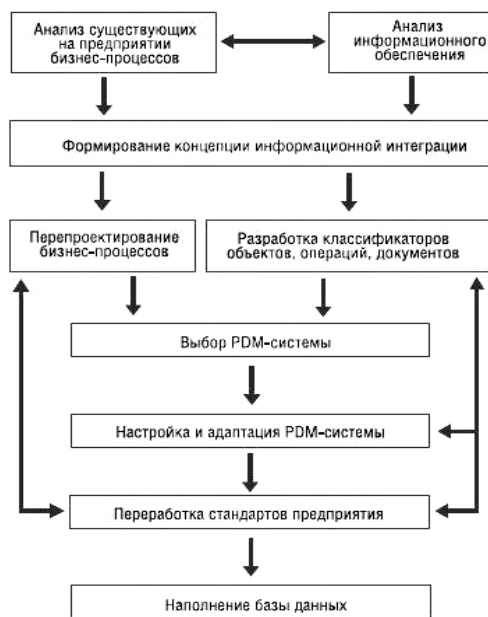


Рис. 11.2. Этапы внедрения PDM-системы



## 11.4. Управление работами. Поток работ

«Поток работ» (Workflow) – это упорядоченное во времени множество рабочих заданий, получаемых сотрудниками, которые обрабатывают эти задания вручную или с помощью средств механизации/автоматизации, в последовательности и в рамках правил, определенных для данного бизнес-процесса. Смысл понятия «поток работ» раскрывает следующая аналогия: бизнес-процесс – это своего рода конвейер, работающий по своим правилам и технологиям, а поток работ (заданий) аналогичен потоку изделий (узлов, деталей), которые этот конвейер передвигает.

Бизнес-процесс, по сути дела, объединяет поток заданий и функции, которые должны выполняться над элементами (заданиями) этого потока, людей и оборудование, которые реализуют эти функции, а также правила, управляющие последовательностью выполнения этих функций. Автоматизировать все это и призвана технология Workflow. Поток работ предполагает полную или частичную автоматизацию бизнес-процесса, при которой документы, информация или задания передаются для выполнения необходимых действий от одного участника к другому в соответствии с набором процедурных правил. Система управления потоком работ – это система, которая описывает поток (по сути – бизнес-процесс), создает его и управляет им при помощи программного обеспечения, которое способно интерпретировать описание процесса, взаимодействовать с его участниками и при необходимости вызывать соответствующие программные приложения и инструментальные средства. Такая система автоматизирует не функцию, а процесс.

Практически все предыдущие программные решения (чаще всего реализованные в технологиях локальных СУБД) позволяли достаточно эффективно автоматизировать лишь отдельные операции и функции. В рамках этих решений сотрудники, сидя за своими компьютерами (или терминалами), обмениваются информацией с базами данных и между собой, получают данные, справки, документы, формируют отчеты. При этом последовательность действий сотрудников и правила их взаимодействия определены в лучшем случае инструкциями, а за правильностью и сроками их выполнения следит вышестоящее начальство. Информационная система все это никак не поддерживает.

Одним из условий результативной работы предприятия является эффективное взаимодействие всех составляющих его подразделений и структур. Информационные потоки, отражающие суть производственного процесса, движутся по цепочке. Задания передаются от исполнителя к исполнителю. В силу множества причин (организационных, технических, субъективных) скорость и достоверность передачи данных не всегда удовлетворительны. Информация может искажаться, задерживаться, не передаваться вовсе. Все это не лучшим образом сказывается на скорости достижения конечного результата и на его качестве.

Снять эти проблемы (хотя бы отчасти) поможет технология, призванная упорядочить деятельность предприятия, представив ее в виде последовательности четких процедур – бизнес-процессов, управление которыми осуществляется автоматически в соответствии с заранее определенными правилами. Такая технология в современных системах документооборота называется WorkFlow.

Модуль WorkFlow реализован как в PDM/PLM-системах, так и в современных системах электронного документооборота и специально созданных для этого программных средствах (табл. 11.1).

Т а б л и ц а 11.1.

**Краткий перечень программных средств Workflow**

Наименование программного продукта	Фирма-изготовитель (страна)
CoCreate Work Manager	CoCreate Software, GmbH (ФРГ)
Staffware	Staffware Plc (Великобритания)
Casewise	Casewise Systems (США)
Product Center	Workgroup Technology Corp (США)
Лоцман Work Flow	Аскон (РФ)

Процессный подход заставил руководство предприятий сконцентрировать внимание на правилах взаимодействия участников процесса, так как именно взаимодействия в силу своей размытости и недостаточной определенности являются основными источниками неоправданных издержек и потерь. Потребность в средствах автоматического отслеживания порядка и времени выполнения отдельных функций (операций), маршрутов документов, занятости сотрудников на различных стадиях процесса и т.д. привели к соз-

данию разнообразных систем управления потоками работ и к утверждению этого понятия в качестве одного из базовых инвариантов CALS-технологий.

### **11.5. Управление конфигурацией изделия**

Это относительно новое для отечественного технического обихода понятие допускает две трактовки. В узком смысле под конфигурацией понимают структуру и состав изделия, а под управлением конфигурацией – правила и процедуры внесения изменений в конструкцию и их документирования. В широком смысле конфигурация – это структура и состав изделия, компоненты которого обладают определенными атрибутами, что обеспечивает соответствие технических характеристик заданным требованиям; процесс управления конфигурацией (Configuration Management/CM) предусматривает (рис. 11.3):

- идентификацию конфигурации, т.е. присвоение ее текущей версии определенного имени (кодowego обозначения);
- проверку конфигурации, т.е. получение подтверждения того, что текущая версия изделия соответствует техническим требованиям;
- при отрицательном результате проверки – анализ причин несоответствия требованиям и документально оформленное инициирование работ по внесению изменений в конструкцию (как правило, посредством замены или переделки отдельных узлов или агрегатов);
- контроль результатов изменения и при положительном результате – присвоение новой версии конфигурации нового имени.

Средства управления структурой изделия в системах четвертого поколения позволяют создавать и обрабатывать различные виды спецификаций изделия. Кроме того, нужно иметь возможность вести управление по деталям и узлам, составляющим изделие, а также по относящимся к ним документам (файлам, наборам файлов, адресам в интернете) и специальным производственным характеристикам – атрибутам. Для управления на уровне групп предприятий используется динамическая структура, содержащая максимально полную информацию об изделии, которая отображает все возможные его конфигурации.



Рис. 11.3. Алгоритм управления конфигурацией изделия

Сервисные функции должны допускать просмотр структуры изделия с любой степенью детализации, раскрывать сборки и получать представление о входящих в ее состав подборках и деталях.

1. **Ведение спецификаций.** Спецификация – ассоциативная структура изделия, из которой в соответствии с определенными критериями выводится представление сборки. Работая как фильтр, критерии конфигурации определяют, какую версию детали надо вывести. Например, часто специалист по планированию производства хотел бы видеть структуру изделия в зависимости от степени готовности всех ее составных частей к конкретным срокам, а специалист-технолог – в зависимости от применяемых материалов или технологических приемов их обработки.

2. **Многоуровневые спецификации.** Для современных PDM-систем фактическим стандартом является возможность вывода не менее двух типов спецификаций, а именно иерархической структуры (дерева сборки) и поддетального общего списка (списка наименований комплектующих). Спецификации первого типа чаще используются в конструкторско-технологических подразделениях, второго – на сборочных участках и при работе по заказам.

3. **Многовариантный генератор спецификаций.** Участникам производственного процесса часто необходимо иметь возможность строить спецификации в зависимости от рода деятельности и профессиональной принадлежности. Например, для инженеров-конструкторов важна спецификация, построенная по принципу «как спроектировано», а для специалистов планово-производственного отдела – по принципу «как запланировано».

4. **Отслеживание действия внесенных изменений и модификаций.** В системах PDM четвертого поколения одна из типичных функций – отслеживание того, какая деталь и как применяется в каждой из модификаций конкретного изделия. Эта возможность значительно упрощает процесс постепенного формирования полного электронного определения изделия. В процессе внесения и утверждения изменений в проект предприятие должно учитывать, когда и для каких партий эти изменения уже действуют, а для каких нет, когда и в каких количествах необходимо производить новые детали. Как правило, должно быть реализовано три типа такого отслеживания: по календарным срокам, по идентификационному номеру изделия и по номеру партии. Кроме того, часто на

предприятиях авиастроения и судостроения может быть задано отслеживание эффективности внесенных изменений для нескольких разных изделий, в которых используется данная деталь.

5. **Отслеживание принадлежности к модельному ряду («baseline»)** позволяет получать на произвольно выбранных этапах жизненного цикла актуальный срез по списку деталей и документов с определением тех из них, которые имеют ключевое значение для структуры изделия. Поскольку с течением времени появляется множество конфигураций структур, данная функция помогает определить те из них, которые представляют для предприятия наибольший интерес.

6. **Отслеживание ссылок и многоуровневых ссылок на документы** обеспечивает ассоциирование любых документов, относящихся к детали, агрегату или изделию, позволяя разработчикам присоединять дополнительную информацию в любом удобном для понимания виде. Примерами ссылочной информации (присоединенных документов) могут служить готовые спецификации, техническая документация, файлы САПР, мультимедийные файлы и даже ссылки на другие Web-сайты в интернете. Такая методика позволяет собирать все накопленные данные об изделии и обеспечивает создание его максимально насыщенной информационной структуры.

7. **Отслеживание изменений** позволяет группировать и просматривать в удобном для понимания виде информацию о тех вносимых изменениях, которые приводят к появлению новой версии (модификации) изделия. Пользователь, таким образом, будет знать как о состоянии проведения изменений в структуре изделия и этапах жизненного цикла, так и о незавершенных изменениях той или иной детали и сможет использовать эту информацию в процессе принятия решений.

8. **Динамический просмотр иерархически организованной информации («Навигация по структуре изделия»)**. Эффективность применения современных PDM-систем во многом определяется предоставляемыми пользователю возможностями поиска информации о нужных деталях, просмотра структуры изделия и выполнения необходимых операций над wybranными элементами этой структуры. Лучше всего «принимаются» промышленностью и легче всего «осваиваются» пользователями такие системы, в которых пользователь работает с хорошо знакомым ему графическим

интерфейсом (например, Netscape Communicator), который организует иерархическое представление всей информации об изделии и тем самым упрощает переходы от деталей к сборкам и обратно. Когда пользователь выбирает нужную ему деталь на дереве сборки, система PDM автоматически выводит на экран клиентской машины список ссылочных документов и всю необходимую информацию, например: номер детали, данные о ревизии, дату последней модификации и т.д.

**9. Сравнение структур изделия.** Пользователь может выбрать любые две структуры изделия, две версии, два релиза, сравнить их и выявить отличия друг от друга, если таковые существуют, на множестве отслеживаемых параметров модели изделия (структурный состав, атрибуты и их значения). Отчет о проведенном сравнении формируется в удобном для браузера системы виде, например в виде XML. При сравнении двух ревизий одной и той же структуры изделия требуется обнаружить следующие различия (типичная задача): уменьшилось или увеличилось количество определенных комплектующих, добавился ли ссылочный документ и САПР-модель для ссылочного документа. Интерактивный, динамический механизм сравнения структур незаменим для управления различными версиями изделия.

Согласно требованиям зарубежных нормативно-методических документов, например при создании сложных технических объектов (систем, комплексов) по заданию государства (госзаказу), ведомство-заказчик назначает специальное лицо – управляющего конфигурацией, в обязанности которого входит выполнение перечисленных выше функций. Порядок их выполнения, а также формы документирования всех совершаемых при этом действий регламентированы соответствующими стандартами.

При электронном проектировании средствами систем САЕ/CAD/CAM должны использоваться и электронные средства управления конфигурацией, отвечающие, в частности, требованиям стандарта ИСО 10304–203.

## **11.6. Управление изменениями**

В большинстве организаций поэтапная многоступенчатая процедура внесения и утверждения изменений достаточно хорошо отработана и успешно применяется в промышленном производст-

ве, что является важной предпосылкой к автоматизации этой процедуры на всех этапах для всех ее участников. Системы PDM четвертого поколения предоставляют универсальное решение, обеспечивающее реализацию следующих функций.

1. Контроль за всей информацией. Средства управления изменениями должны контролировать всю информацию о внесении изменения от момента постановки задачи до полного ее разрешения. Процесс внесения изменения разделяется на этапы: запрос на изменение, изучение причин, повлекших за собой необходимость изменения, предложения альтернативных вариантов, реализация изменения путем формулировки заявки на изменение и выполнение действий по внесению изменения. Решения каждого этапа должны протоколироваться для возможного «отката» и проверки принятых решений.

2. Гибкие процессы по внесению изменения. Разные модификации требуют разной степени детализации и задействуют разные этапы общего процесса внесения изменений. Средства управления изменениями в рамках таких требований должны позволять настраивать процесс внесения изменений таким образом, чтобы он включал необходимое для конкретной модификации число шагов и полностью описывал изменение и его последствия.

3. Автоматизация потоков заданий (Workflow). Наиболее полная автоматизация процесса внесения изменений достигается благодаря интеграции средств управления изменениями с функциями управления потоком заданий. Каждый этап процесса может быть представлен как задание потока работ и автоматически передан пользователю или системе, которые отвечают за выполнение этого задания. По завершении выполнения задания система управления потоком заданий продолжит процесс внесения изменений до тех пор, пока не будут завершены все его этапы и документация по изделию получит статус выпущенной. Для четвертого поколения систем PDM характерно следование рекомендациям и стандартам рабочей группы Workflow Management Coalition.

4. Визуализация трехмерных сборок и сопутствующей информации:

- реализация визуального представления любого уровня сложности, вплоть до фотореалистического, а также цифровое макетирование (Mock-Up) сборок любой степени сложности. Для того чтобы визуализация была возможна на любом рабочем месте вне зависи-



мости от технических параметров локального компьютера пользователя, собственно визуализация должна выполняться на специализированном сетевом сервере, а на рабочее место пользователя через сеть будет передаваться только «картинка» результата;

- динамическая навигация по трехмерной структуре сборки вне зависимости от конкретной САПР, с помощью которой были созданы входящие в сборку компоненты;

- автоматизация построения «взрывных» видов, сечений, разрезов сборки, «кинограммы» сборочных процессов, моделирование в трехмерном виде монтажных операций, сборочных и ремонтных работ, учет пространственных и эргономических ограничений функционирования изделия;

- реализация методики «виртуального предприятия», при которой трехмерная сборка и производственная инфраструктура анализируются на совместимость для вывода о возможности/целесообразности выпуска именно такого изделия именно этим цехом именно этого предприятия;

- мощное средство агрессивной маркетинговой политики – потребитель может «вписать» себя в трехмерную модель будущего изделия с требуемыми характеристиками, «почувствовать» необходимость покупки именно такого изделия именно у этого производителя.

5. Управление составом предприятий-поставщиков комплектующих. Для выпуска изделия с наименьшими затратами и оптимизации взаимодействия с поставщиками необходимо иметь ранжируемую базу данных по комплектующим. Она может быть выполнена на основе «отфильтрованной» информации из PDM-систем самих поставщиков комплектующих, причем принцип отбора информационных компонентов и набор общих технических характеристик («реквизитов») задается в «материнской» PDM. Для анализа применимости, надежности и перспективности поставщиков PDM четвертого поколения должна иметь некоторый сервис ранжирования поставщиков, позволяющий определить в каждом конкретном случае оптимальный состав соисполнителей, субподрядчиков и поставщиков.

Реализация этих и многих других вспомогательных функций в составе систем четвертого поколения приводит к тому, что PDM становится приложением, наиболее полно реализующим новаторские идеи ведения электронного бизнеса.

## 11.7. Примеры PDM-систем

В табл. 11.2 приводится список компаний, являющихся ведущими разработчиками PDM-систем. На российском рынке распространены программные продукты отечественных компаний Consistent Software, SWR, «Аскон», «Интермех», «Люция Софт», «НИЦ CALS-технологий», «Топ Системы», Omega Software.

Компания Consistent Software, известная разработками в области векторизации и гибридного редактирования растровых документов, предлагает универсальную систему технического документооборота и электронного архива TDMS. Для системы TDMS разработаны интерфейсы с системой векторизации растровых изображений RasterID (например, для распознавания основных надписей чертежей) и базой данных нормативно-справочной документации NormaCS. Система TDMS имеет родственный интерфейс с САПР AutoCAD компании Autodesk. Программное обеспечение TDMS применяется в ОАО «Красный Октябрь», ФГУП ПО «Севмаш», ФГУП МП «Звездочка», ОАО «Гипроспецгаз», ОАО «Институт Гипроникель» и ОАО «КБСМ».

Т а б л и ц а 11.2

### Ведущие мировые и отечественные разработчики PDM-систем

Компания	Класс решения	Компоненты PLM-системы			
		CAD	CAM	CAE	PDM
Dassault Systemes	High-end	Catia			Enovia, Smarteam
	Mid-range	Solid Works	CAMWorks	Cosmos	PDM Works
UGS	High-end	Unigraphics			Teamcenter
	Mid-range	Solid Edge	NX CAM Express	Femap	Teamcenter Express
PTC	High-end	Pro/Engineer Wildfire			Windchill
Autodesk	Mid-range	Autodesk Inventor	–	–	Vault/ Productstream/ Buzzsaw
Аскон	Mid-range	Компас 3D	–	–	Лоцман:PLM
Топ Системы	Mid-range	T-FLEX CAD 3D	T-FLEX ЧПУ	T-FLEX Анализ	T-FLEX DOCs

Российский представитель компании SolidWorks, SolidWorks-Russia (SWR), предлагает российским пользователям PDM-систему SWR-PDM для САПР SolidWorks. Интеграция SWR-PDM с SolidWorks позволяет рассматривать ее в качестве хранилища файлов SolidWorks, но по функциональным возможностям она уступает другим отечественным системам. Применение в качестве СУБД слабо распространенной в РФ базы данных Cache ставит под сомнение перспективы широкого распространения SWR-PDM.

Компания «Аскон» (разработчик САПР «Компас-График» и файл-серверной системы коллективного проектирования «Компас-Менеджер») в настоящее время предлагает систему «Лощман» PLM. Система позиционируется как универсальное решение, поскольку имеет интерфейсы к нескольким САПР. Ее преимуществом является наличие справочника стандартных изделий и классификатор ЕСКД в базовой поставке системы. Недостаток системы – требование применять на предприятии в качестве базовых САПР программное обеспечение компании «Аскон».

Компания «Интермех», авторизованный партнер компании Autodesk и Research Associate (компании SolidWorks), предлагает систему Search, сочетающую в последних версиях возможности TDM/PDM/Workflow. Search имеет встроенный модуль календарного планирования и управления проектами ImProject и библиотеку стандартных изделий ImBase. Все разработки компании «Интермех» тесно связаны между собой, поэтому наибольшая эффективность от внедрения Search может быть достигнута при их комплексном использовании. Недостатком этой системы является отсутствие гибких инструментов для ее настройки. Программное обеспечение компании «Интермех» применяется в ОАО «СКБТМ» и СПКТЬ «Ленгидросталь».

Компания «Лощия Софт», специализирующаяся на разработке систем PDM/TDM/Workflow/ERP, предлагает систему Lotsia PDM PLUS (известную также как PartY PLUS), ориентированную на интеграцию с различными САПР и поддержку территориально удаленных предприятий. Система легко адаптируется к особенностям предприятий и является одним из самых гибких решений в своем классе. В комплекте поставки системы имеются готовые шаблоны настроек для различных отраслей промышленности в

соответствии с требованиями ЕСКД. Программное обеспечение «Люция Софт» применяется в ФНПЦ «РПКБ», ОАО «ЛЮМО», ФГУП «ЦНТИ», ОАО «Якутагропромпроект».

НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», известный своими работами в области стандартизации, предлагает систему PDM Step Suite (PSS), базирующуюся на стандарте STEP (ISO 10303). Система специализирована для хранения информации об изделии в формате STEP. И хотя PDM Step Suite уступает многим другим PDM-системам по функциональности и интеграции с САПР, она может представлять интерес для предприятий, где идет активный обмен информацией с использованием формата STEP. PDM Step Suite используется в ОАО НПП «Аэросила», ОАО «ВМЗ», ГУП «КБП», ОАО «УМПО».

Компания «Топ Системы», разработчик комплекса САПР на основе параметрической САПР T-FLEX CAD, предлагает систему управления данными об изделии T-FLEX DOCs. Она ориентирована на интеграцию с другими разработками «Топ Системы» (например, САПР T-FLEX CAD), но может использоваться для решения широкого круга задач, в том числе для организации административного документооборота. Программное обеспечение «Топ Системы» применяется в ОАО «ПО «Севмаш» и ОАО «Пензтяжпромарматура».

Компания Omega Software предлагает подсистему управления производством (PDM/MRP-систему) Omega Production. По структуре и идеологии построения она относится к классу корпоративных информационных систем и позволяет промышленному предприятию связать в ЕИП информацию конструкторских, технологических и планово-экономических служб. Omega Software имеет заказчиков как среди предприятий государственного уровня (ПО «Минский тракторный завод», ПО «Минский автомобильный завод», ФГУП ММПП «Салют»), так и среди ведущих зарубежных компаний, таких как Bayer, Nokia Corp., Deutsche Telecom AG.

Для завершения обзора применяемых программных систем в табл. 11.3 приводятся функциональные возможности наиболее часто используемых зарубежных PDM-систем.

## Функциональные возможности зарубежных PDM-систем

	UGS	IBM/Dassault	PTC	PTC	MSC.Software	Rational Design	IBM/Dassault
Продукт	Teamcenter	ENOVIA	PRO/Intralink	PTC	MSC.SimManager	pdmOffice	SMARTTEAM
Взаимодействие с САПР	NX, I-deas NX +AutoCAD, CATIA V4 и V5, Inventor, Mentor Graphics, Pro/Engineer, Solid Edge, SolidWorks	CATIA V4, V5, AutoCAD, Inventor, UGS, Pro/E	Pro/E 2001, Pro/E Wildfire, Pro/E Wildfire 2.0	MCAD: Pro/E, Pro/E Wildfire, AutoCAD, Inventor, CADD5, CATIA V5, I-DEAS, SolidWorks, UGS NX. ECAD: Mentor Graphics, Cadence	CATIA V5	CATIA, SolidWorks, Pro/E, UGS, I-DEAS, Autodesk Inventor, Solid Edge	CATIA V4, V5, SolidWorks, Pro/ENGINEER, AutoCAD, Mechanical Desktop, Inventor, Solid Edge, MicroStation, UGS NX, I-deas NX, etc
Взаимодействие с различными САПР	MS Office; Асробат, многие ERP; другие через инкапсуляцию	MS Office, MS Project; интеграция с ERP, SCM w/ IBM WebSphere	MS Word и Excel	MS Office, PDF	IBM WebSphere, MS Office, Apache Tomcat, Adobe	MS Word, MS Excel, PDF, Text, Images	MS Office & Project, ERP адаптеры для SAP R/3, ведущих ERP, SCM, CRM систем
Доступ к данным нескольких различных САПР	Да	Через трансляторы	Нет	Да	Да	Да	Да



Окончание табл. 11.3

	UGS	IBM/Dassault	PTC	PTC	MSC.Software	Rational Design	IBM/Dassault
Продукт	Teamcenter	ENOVIA	PRO/Intraink	Windchill	MSC.SimManager	pdmOffice	SMARTTEAM
Предоставляет данные «Где используется?» для частей, документов и т.п.	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Конфигурируемые ограничения для Пользователя(ей) или Групп(ы)	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Операционные системы	Unix(HP, Sun, AIX), Windows (2000, XP, 2003), Интернет браузер	UNIX, AIX, Windows 2000/ XP, Интернет браузер	Server: Windows 2000, XP, 2003; Sun Solaris, HP-UX, IBM AIX. Client: Windows 2000, XP, Sun Solaris, HP-UX, IBM AIX.	Server: Windows 2000, 2003, Sun Solaris, HP-UX, IBM AIX. Client: Windows 2000, XP, Sun Solaris, HP-UX, IBM AIX, IRIX	Windows, UNIX, Linux	Windows, UNIX (Sun, SGI, HP, Linux) Macintosh	Windows 2000/XP, Интернет браузер
СУБД	Oracle, Microsoft SQL Server	DB2, Oracle	Oracle	Oracle	DB2, Oracle, SQL Server	MS SQL, Oracle, MySQL, DB2	DB2, Oracle 3, MS SQL 2000 SP3, MSDE 2000

## 11.8. Соотношение между PDM- и PLM-системами

Производственные документы, создаваемые различными автоматизированными системами (АС) предприятия (административные, технические или финансовые), в той или иной степени прямо или косвенно связаны с выпускаемой продукцией. Эти документы создаются разнородными АС, решающими локальные задачи (в рамках отдельных бизнес-процессов), поэтому имеют различные форматы. Различия, а порой и противоречивость форматов создают сложности в работе, не позволяют отследить взаимосвязи документов как с изделием, так и между собой.

Для устранения отмеченного недостатка и достижения максимального экономического эффекта от автоматизации предприятия в целом (комплексная автоматизация всех бизнес-процессов) необходима интеграция всех АС предприятия. Эту задачу решает интегрированная информационная среда PLM (Product Lifecycle Management), обеспечивающая взаимодействие разнородных АС (САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и других) на протяжении всего ЖЦ изделия.

Под PLM-системой следует понимать не один программный продукт, а их совокупность (в том числе от разных поставщиков). Эти программные продукты тесно интегрированы между собой (средствами PDM-системы) и решают задачи создания инженерных данных, управления этими данными, обмена данными с системой управления проектами и АСУП/ERP-системой, а также с информационными системами предприятий-контрагентов в рамках поддержки ЖЦ изделия. Таким образом, PLM-система позволяет сотрудникам разных категорий (руководителям, инженерам-проектировщикам, экономистам) оперативно получать консолидированную отчетность по технической информации об изделии и о связанных с ним договорах, финансовых документах и административных распоряжениях.

Как уже отмечалось, в основе PLM-системы лежат методы и программные средства управления данными об изделии (PDM). На рис. 11.4 показано условное разделение функций между PLM- и PDM-системами при их взаимодействии с основными потребителями/источниками информации.



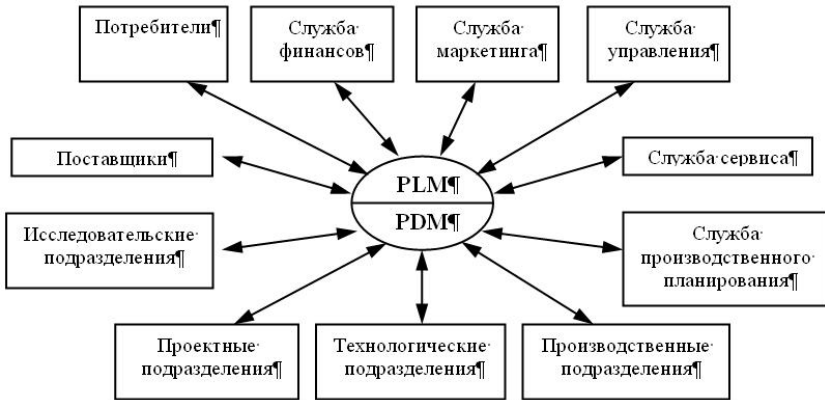


Рис. 11.4. Взаимодействие PLM/PDM-систем с основными потребителями и источниками информации

Из рисунка видно, что PDM-система является, с одной стороны, ядром PLM, с другой – выполняет свои специфические функции, отличные от функций PLM (как правило, PLM – внешние, а PDM – внутренние).

Основная функция PLM-системы – накопление и управление данными и документами об изделиях и объектах на всех этапах жизненного цикла этих изделий и объектов (рис. 11.5).

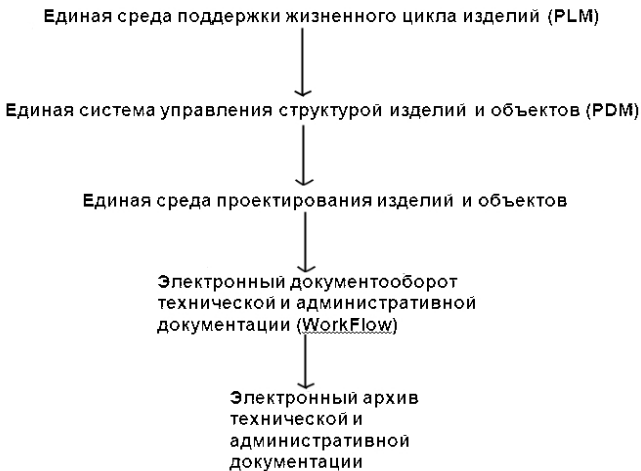


Рис. 11.5. Соотношение между PDM- и PLM-системами

Таким образом, целевой направленностью PLM-системы являются сами выпускаемые изделия, при этом основными выгодами от ее использования можно назвать общее повышение производительности труда, снижение материальных затрат, общее повышение прибыли. Последовательность внедрения PLM на предприятии можно представить в виде диаграммы, изображенной на рис. 11.6.

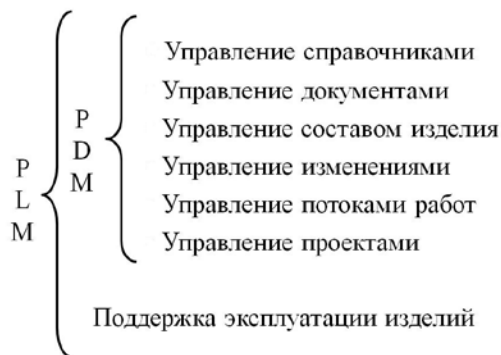


Рис. 11.6. Последовательность развития и внедрения PDM- и PLM-системы

Таким образом, PDM-система занимает центральное место в информационном пространстве каждого предприятия, а PLM-система выполняет роль связующего звена между всеми процессами ЖЦ изделия.

## 12. ЭЛЕКТРОННЫЕ АРХИВЫ И БАЗЫ ДАННЫХ

### 12.1. Формы представления информации

Процессы информационного обмена имеют своей конечной целью максимально возможное исключение из деловой практики традиционных бумажных документов и переход к прямому безбумажному обмену данными. Преимущества и технико-экономическая эффективность такого перехода очевидны. Тем не менее, в течение переходного периода нужно обеспечить совместное использование обеих форм. Причем информация имеет самый разнообразный характер (рис. 12.1), и не всегда очевидно, какова должна быть электронная форма ее представления для удобства использования в интегрированной информационной среде.



Рис. 12.1. Виды информации, используемой на этапе производства изделия

Так, например, в конструкторской практике приходится иметь дело со следующими видами представления информации (рис. 12.2): в форме базы данных (БД); в форме электронного документа; в форме, пригодной для восприятия человеком, – бумажной или экранной.

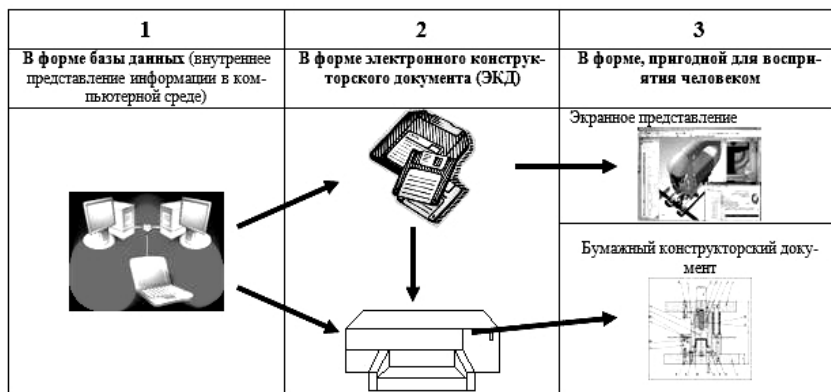


Рис. 12.2. Формы представления конструкторской информации

Общая характеристика перечисленных видов представления информации приводится в табл. 12.1.

Т а б л и ц а 12.1

**Общая характеристика форм представления информации**

Вид представления информации	Общая характеристика
БД об изделии	Хранилище информации, требуемой для выпуска документации, необходимой на всех стадиях жизненного цикла изделия
Электронный документ (ЭД)	Структурированный набор данных, необходимых для разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта, снабженный заголовком и подписанный электронно-цифровой подписью (ЭЦП)
Экранное представление данных	Отображение информации на экране компьютера в форме, удобной для восприятия человеком
Бумажный документ	Графический или текстовый документ, содержащий данные, необходимые для разработки, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта

Информация в форме БД используется при необходимости логического структурирования больших объемов данных и является ее внутренним представлением в компьютерной системе. При этом данные распределяются между таблицами БД, записями в таблицах, полями в записях (при использовании реляционной системы управления базой данных (СУБД)) и/или отдельными файлами и таблицами (при использовании объектно-ориентированной СУБД).

## 12.2. Базы данных

Если нужно оперировать с большими объемами информации, то возможностей традиционных файловых систем оказывается явно недостаточно для построения даже простейших информационных систем. В таких случаях создаются специальные хранилища информации, называемые базами данных, а сама информация представляется в специальной форме, удобной для оперирования ею в компьютерной среде.

Для работы с этими хранилищами используются системы управления базами данных (СУБД), которые, в отличие от файловых систем, позволяют поддерживать логически согласованный

набор файлов, обеспечивать языком манипулирования данными, восстанавливать информацию после сбоев различного рода, обеспечивать параллельную работу нескольких пользователей.

### *12.2.1. Основные функции СУБД*

К числу функций СУБД принято относить следующие.

1. Непосредственное управление данными во внешней памяти.
2. Управление буферами оперативной памяти.
3. Управление транзакциями. Транзакция – это последовательность операций над БД, рассматриваемых СУБД как единое целое.

4. Журнализация. Одно из основных требований к СУБД – надежность хранения данных во внешней памяти, под которой понимается возможность восстановления последнего согласованного состояния БД после любого аппаратного или программного сбоя. Журнал – особая часть БД, недоступная пользователям СУБД и поддерживаемая с особой тщательностью (иногда поддерживаются две копии журнала, располагаемые на разных физических дисках), в которую поступают записи обо всех изменениях в основной части БД.

5. Поддержка языков БД. Для работы с базами данных используются специальные языки, называемые языками баз данных. В ранних СУБД поддерживалось несколько специализированных по своим функциям языков. Чаще всего выделялись два языка: язык определения схемы БД (SDL – Schema Definition Language) и язык манипулирования данными (DML – Data Manipulation Language). SDL служил для определения логической структуры БД, представляемой пользователем. DML содержит набор операторов манипулирования данными, позволяющих заносить данные в БД, удалять, модифицировать или выбирать существующие данные.

В современных СУБД обычно поддерживается единый интегрированный язык, имеющий все необходимые средства для работы с БД, начиная от ее создания, и обеспечивающий базовый пользовательский интерфейс.

Наиболее распространенным языком современных реляционных СУБД является SQL (Structured Query Language) – язык структурированных запросов) — универсальный язык, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных.

SQL основывается на реляционной алгебре и делится на три вида операторов:

- 1) определения данных (*Data Definition Language, DDL*);
- 2) манипуляции данными (*Data Manipulation Language, DML*);
- 3) определения доступа к данным (*Data Control Language, DCL*).

### ***12.2.2. Типовая организация современной СУБД***

Организация типичной СУБД и состав ее компонентов соответствуют рассмотренному выше набору функций.

Во всех современных реляционных СУБД логически можно выделить внутреннюю часть – ядро СУБД (часто его называют Data Base Engine), компилятор языка БД (обычно SQL), подсистему поддержки времени выполнения, набор утилит.

Ядро СУБД отвечает за управление данными во внешней памяти, управление буферами оперативной памяти, управление транзакциями и журнализацию.

Можно выделить такие компоненты ядра, как менеджер данных, менеджер буферов, менеджер транзакций и менеджер журнала. Функции этих компонентов взаимосвязаны, и для обеспечения корректной работы СУБД они должны взаимодействовать по тщательно продуманным и проверенным протоколам.

Ядро СУБД обладает собственным интерфейсом, не доступным пользователям напрямую и используемым в программах, производимых компилятором SQL (или в подсистеме поддержки выполнения таких программ) и утилитах БД. Ядро СУБД – основная резидентная часть СУБД. При использовании архитектуры «клиент–сервер» ядро является основной составляющей серверной части системы.

### ***12.2.3. Модели баз данных***

Модель данных – это совокупность структур данных и операций по их обработке. С помощью модели данных можно наглядно представить структуру объектов и установленные между ними связи.

Элемент данных описывает любой набор данных, а правила связывания определяют алгоритмы взаимосвязи элементов данных.

К настоящему времени разработано множество различных моделей данных, но на практике используются три основные: иерархическая, сетевая и реляционная. Соответственно говорят об иерархических, сетевых и реляционных СУБД.

**Иерархическая модель данных.** Иерархически организованные данные встречаются в повседневной жизни очень часто. Например, структура высшего учебного заведения – это многоуровневая иерархическая структура. Иерархическая (древовидная) БД состоит из упорядоченного набора элементов. В этой модели исходные элементы порождают другие элементы, которые в свою очередь порождают следующие элементы. Каждый порожденный элемент имеет только один порождающий элемент.

Организационные структуры, списки материалов, оглавления в книгах, планы проектов и многие другие совокупности данных могут быть представлены в иерархическом виде. Автоматически поддерживается целостность ссылок между предками и потомками. Основное правило – никакой потомок не может существовать без своего родителя.

Основным недостатком этой модели является необходимость использования той иерархии, которая была заложена в основу БД при проектировании. Потребность в постоянной реорганизации данных, а часто и невозможность этой реорганизации привели к созданию более общей модели – сетевой.

**Сетевая модель данных.** Сетевой подход к организации данных является расширением иерархического. Данная модель отличается от иерархической тем, что каждый порожденный элемент может иметь более одного порождающего элемента.

Поскольку сетевая БД может представлять непосредственно все виды связей, присущих данным соответствующей организации, по этим данным можно перемещаться, исследовать и запрашивать их всевозможными способами, т.е. сетевая модель не связана всего лишь одной иерархией. Однако, для того чтобы составить запрос к сетевой БД, необходимо достаточно глубоко вникнуть в ее структуру (иметь под рукой схему этой БД) и выработать механизм навигации по базе данных, что является существенным недостатком этой модели.

**Реляционная модель данных.** Основная идея реляционной модели заключается в том, чтобы представить набор данных в виде двумерной таблицы. В простейшем случае реляционная модель опи-

сывает единственную двумерную таблицу, но чаще всего структуру и взаимоотношения между несколькими различными таблицами.

Объект, атрибут и связь – фундаментальные понятия информационной системы. В теории БД данные часто называют атрибутами, а объекты – сущностями. Объект (или сущность) – это нечто существующее и различимое, для которого существуют название и способ отличать один подобный объект от другого. Атрибут (или данное) – это некоторый показатель, который характеризует некий объект и принимает для конкретного экземпляра объекта некоторое числовое, текстовое или иное значение.

Информационная система оперирует наборами объектов, спроектированными применительно к данной предметной области, используя при этом конкретные значения атрибутов (данных) тех или иных объектов.

Реляционной считается такая БД, в которой все данные представлены для пользователя в виде прямоугольных таблиц значений данных и все операции над ней сводятся к манипуляциям с таблицами.

Таблица состоит из столбцов (полей) и строк (записей), имеет имя, уникальное внутри базы данных. Таблица отражает тип объекта реального мира (сущность), а каждая ее строка – конкретный объект. Каждый столбец таблицы – это совокупность значений конкретного атрибута объекта. Значения выбираются из множества всех возможных значений атрибута объекта, которое называется доменом (domain).

Если два значения берутся из одного и того же домена, то можно выполнять их сравнение. Например, если два значения взяты из домена «дата рождения», то можно сравнить их и определить, кто из сотрудников старше. Если же значения берутся из разных доменов, то их сравнение не допускается, так как, по всей вероятности, оно не имеет смысла. Например, сравнение имени и даты рождения сотрудника не дает ничего определенного.

Каждый столбец (поле) имеет имя, которое обычно записывается в верхней части таблицы. При проектировании таблиц в рамках конкретной СУБД можно выбрать для каждого поля его тип, т.е. определить набор правил по его отображению, а также те операции, которые можно выполнять над данными, хранящимися в этом поле. Наборы типов могут различаться у разных СУБД.



Имя поля должно быть уникальным в таблице, однако различные таблицы могут иметь поля с одинаковыми именами. Любая таблица должна иметь по крайней мере одно поле; поля расположены в таблице в соответствии с порядком следования их имен при ее создании. В отличие от полей строки не имеют имен; порядок их следования в таблице не определен, а количество логически не ограничено.

Так как строки в таблице не упорядочены, невозможно выбрать строку по ее позиции: среди них не существует «первой», «второй», «последней». Любая таблица имеет один или несколько столбцов, значения в которых однозначно идентифицируют каждую ее строку. Такой столбец (или комбинация столбцов) называется первичным ключом (primary key). Часто вводят искусственное поле, предназначенное для нумерации записей в таблице. Таким полем, например, может быть его порядковый номер, который сможет обеспечить уникальность каждой записи.

#### ***12.2.4. Реляционные базы данных***

Реляционная база данных – это совокупность отношений, содержащих всю информацию, которая должна храниться в базе данных. То есть база данных представляет набор таблиц, необходимых для хранения всех данных. Таблицы реляционной базы данных логически связаны между собой. Требования к проектированию реляционной базы данных в общем виде можно свести к следующим:

1. Данные хранятся в таблицах, состоящих из столбцов и строк.
2. На пересечении каждого столбца и строки стоит одно значение.
3. У каждого столбца есть своё имя, которое служит его названием, и все значения в одном столбце имеют один тип.
4. Столбцы располагаются в определённом порядке, который определяется при создании таблицы, в отличие от строк, которые располагаются в произвольном порядке. В таблице может не быть ни одной строки, но обязательно должен быть хотя бы один столбец.
5. Запросы к базе данных возвращают результат в виде таблиц, которые тоже могут выступать как объект запросов.

6. Строки не упорядочены; упорядочивание производится в момент формирования ответа на запрос.

7. Общепринятым стандартом языка работы с реляционными базами данных является язык SQL.

Примеры современных PCУБД: Oracle (СУБД), MS SQL Server, DB/2, Informix, Interbase (Firebird, Yaffil), MySQL, PostgreSQL, Sybase Adaptive Server Enterprise (ASE), Sybase Adaptive Server Anywhere (ASA), Sybase Adaptive Server IQ (IQ).

### ***12.2.5. Распределенные базы данных***

Основная задача систем управления распределенными базами данных состоит в обеспечении средства интеграции локальных БД, располагающихся в некоторых узлах вычислительной сети, с тем чтобы пользователь, работающий в любом узле сети, имел доступ ко всем этим базам данных как к единой БД. При этом должны обеспечиваться простота использования системы, возможность автономного функционирования при нарушениях связности сети или при административных потребностях, высокая степень эффективности.

Возможны однородные и неоднородные распределенные базы данных. В однородных каждая локальная БД управляется одной и той же СУБД, в неоднородных локальные БД могут относиться даже к разным моделям данных. Сетевая интеграция неоднородных баз данных – актуальная, но очень сложная проблема. Многие решения теоретически известны, но пока не удается справиться с главной проблемой – недостаточной эффективностью интегрированных систем.

Заметим, что более успешно практически решается промежуточная задача – интеграция неоднородных SQL-ориентированных систем. Понятно, что этому в большой степени способствует стандартизация языка SQL и общее следование производителей СУБД принципам открытых систем.

Системная информационная поддержка и сопровождение ЖЦ изделия осуществляются в интегрированных информационных системах (ИИС). ИИС – это совокупность распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, обеспечивающая корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем

субъектам производственно-хозяйственной деятельности, участвующим в осуществлении ЖЦ изделия, кому это необходимо и разрешено. Все сведения (данные) в ИИС хранятся в виде информационных объектов.

ИИС представляет собой модульную систему, в которой реализуются следующие базовые принципы CALS:

- прикладные программные средства отделены от данных;
- структуры данных и интерфейс доступа к ним стандартизованы;
- данные об изделии, процессах и ресурсах не дублируются, число ошибок в них минимизируется, обеспечивается полнота и целостность информации;
- прикладные средства работы с данными представляют собой, как правило, типовые коммерческие решения различных производителей, что обеспечивает возможность дальнейшего развития ИИС.

Интегрированная информационная система представляет собой хранилище данных, содержащее все сведения, создаваемые и используемые всеми участниками ЖЦ изделия в процессе их производственной деятельности.

Это хранилище по необходимости имеет сложную структуру и многообразные внешние и внутренние связи. В рамках отдельного предприятия-производителя изделия ИИС, как минимум, должна включать в свой состав две базы данных: общую об изделии (изделиях) и общую о предприятии.

На рис. 12.3 схематически представлена структура ИИС во взаимодействии с процессами, охватывающими ЖЦ продукции предприятия. Из схемы видно, что при реализации этих процессов в качестве исходных данных используется информация, содержащаяся в ИИС, а информационные объекты (ИО), порождаемые в ходе процессов, возвращаются в ИИС для хранения и последующего использования в других процессах. Этот факт отображен на схеме двунаправленными стрелками. С общей базой данных об изделиях (ОБДИ) связаны процессы на всех стадиях ЖЦ. Общая база данных о предприятии (ОБДП) имеет информационные связи с процессами технологической и организационно-экономической подготовки производства и собственно производством (включая процессы отгрузки и транспортировки готовой продукции).

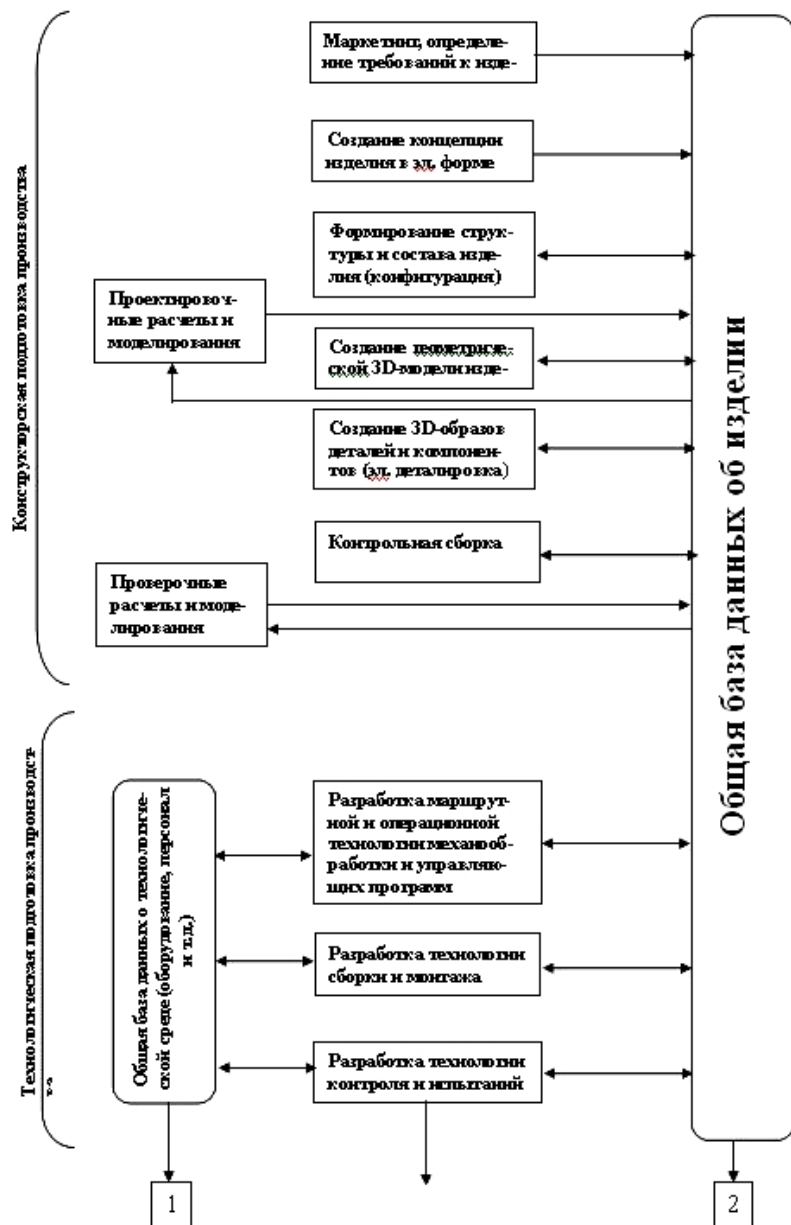


Рис. 12.3. Структурная схема распределенной базы данных об изделии

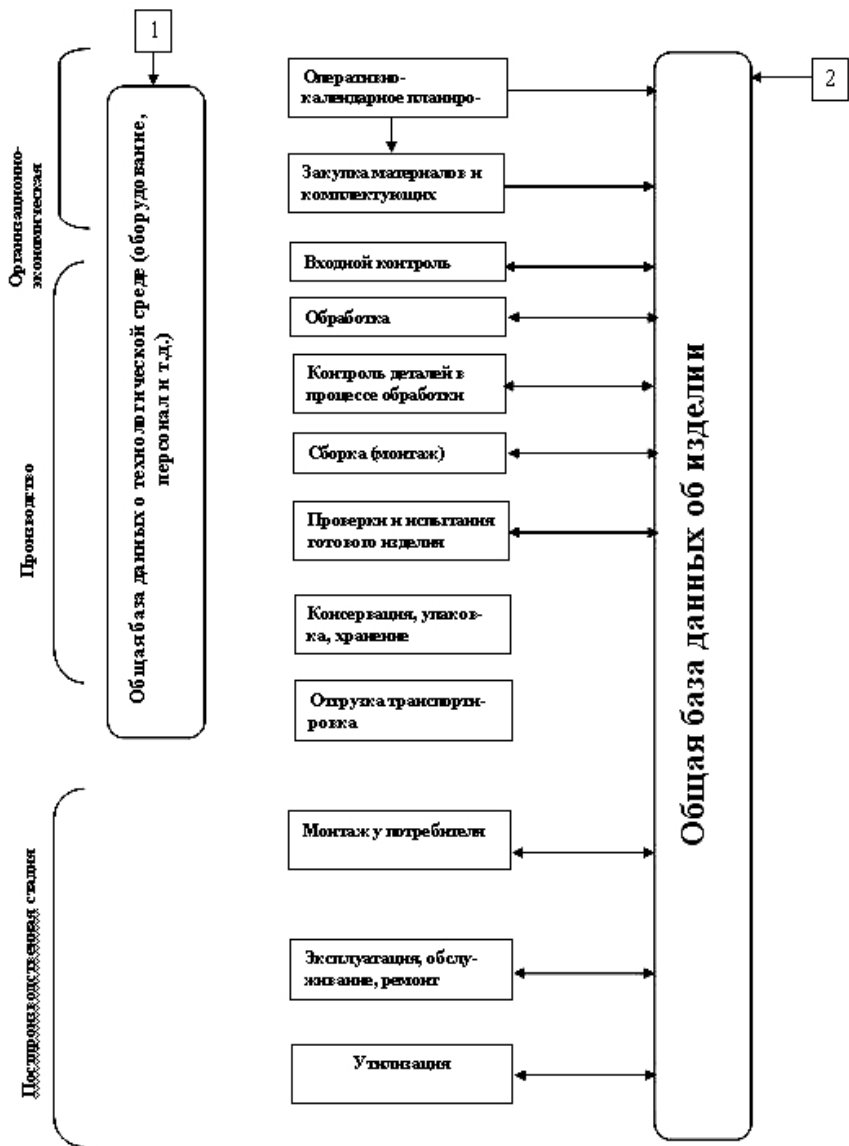


Рис. 12.3 (окончание)

Все процессы ЖЦ продукции отображаются в ИИС посредством ИО. При создании нового изделия и технологической подготовке его производства средствами конструкторских и технологических САПР (CAD/CAM) в ИИС создаются ИО, описывающие структуру изделия, его состав и все входящие компоненты (детали, подузлы, узлы, агрегаты, комплектующие, материалы и т.д.) Каждый ИО обладает набором характеристик (атрибутов), описывающих свойства отображаемого им реального физического (материального) объекта.

ИО в составе ОБДИ содержат в стандартном формате информацию, необходимую на всех стадиях ЖЦ для всех изделий, выпускаемых предприятием. Каждый ИО идентифицируется уникальным кодом и может быть извлечен из ОБДИ для выполнения действий с ним. Кроме ИО, относящихся (прямо или косвенно) к изделиям, в ИИС содержится информация о предприятии: о производственной и управленческой структуре, технологическом и вспомогательном оборудовании, персонале, финансах и т.д.

Таким образом, совокупность баз данных, входящих в состав ИИС, обеспечивает все информационные потребности процессов, образующих ЖЦ изделия.

### **12.3. Электронные документы**

Электронный документ – это структурированный набор данных, включающий в себя заголовок, содержательную часть и электронно-цифровую подпись (ЭЦП).

Обобщенная структура электронного документа приведена на рис. 12.4. Электронный документ используется в качестве формы представления результатов работы и предназначен для передачи из одной автоматизированной системы в другую или для последующей визуализации.

Существующие стандарты, регламентирующие конструкторско-технологическую деятельность, такие как ЕСКД, ЕСТД, СРПП и им подобные, касаются только визуальной формы представления информации, в то время как обе описанные формы представления информации требуют специальных программных средств визуализации, преобразующих данные в бумажный документ или экранную форму. Поэтому неотложными задачами внедрения CALS являются корректировка стандартов ЕСКД и выработка новых

стандартов и спецификаций, регламентирующих электронную форму представления и обращения данных.



Рис. 12.4. Структура электронного документа

Использование и обращение информации в электронной форме требуют ее авторизации. Эта проблема решается при помощи электронной цифровой подписи. Процедура ЭЦП основана на математических принципах так называемых «систем с открытым ключом». В формировании подписи используется индивидуальное число (закрытый ключ) пользователя, которое порождается при помощи генератора случайных чисел и сохраняется пользователем в секрете в течение всего времени его действия.

Для проверки подлинности ЭЦП применяется другое число – так называемый «открытый ключ проверки ЭЦП» (или, более кратко, «открытый ключ»), который по известному алгоритму вычисляется из индивидуального закрытого ключа и предоставляется всем, кому это необходимо. Общая схема использования ЭЦП изображена на рис. 12.5.

Электронная цифровая подпись (Sign) представляет собой вычисляемую по стандартизованному алгоритму математическую функцию (так называемую хэш-функцию) от содержимого подписываемых данных (data) и секретного ключа автора (secret\_key):  $sign = h(data, secret\_key)$ . В результате вычисления хэш-функции формируется пара чисел, байтовые представления которых, записанные друг за другом, объявляются цифровой подписью.

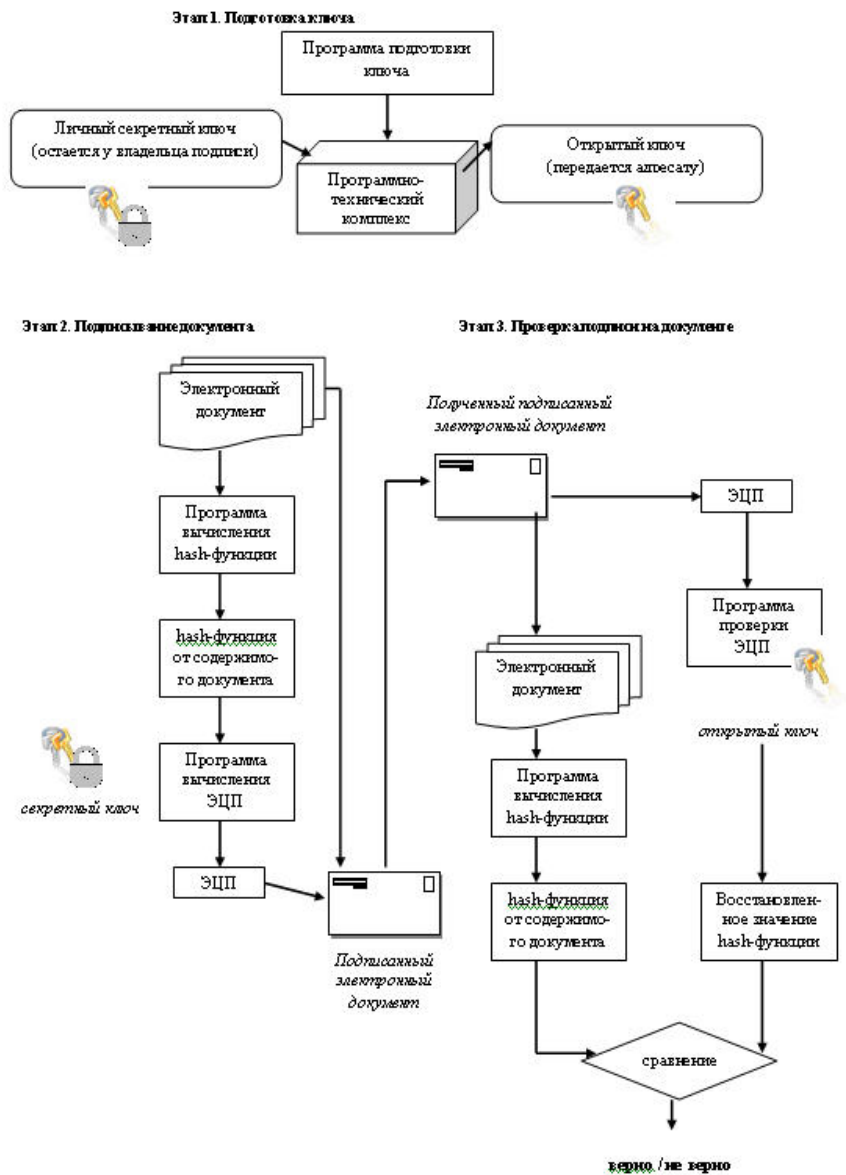


Рис. 12.5. Схема использования электронной цифровой подписи



Для проверки подлинности подписей используют открытые ключи, которыми участники совместной работы с данными должны обмениваться друг с другом. Однако при большом числе участников такая процедура может оказаться организационно и технически сложной. Одним из упрощающих решений является использование сертификатов ключа. Для этой цели некое доверенное лицо принимает на себя функции центра сертификации ключей. Это лицо формирует для каждого открытого ключа пакет данных, содержащий собственно открытый ключ и данные о его владельце (имя, должность и т.д.), и подписывает его собственной ЭЦП.

Такой пакет данных называется сертификатом ключа. В свою очередь открытый ключ центра сертификации может быть заверен центром сертификации более высокого уровня. В результате образуется цепочка сертификатов: от сертификата ключа проверки подписи конечного пользователя до самого верхнего (главного) центра сертификации (ЦС). В этой цепочке авторство подписи на предшествующем сертификате удостоверяется последующим сертификатом. Сертификаты не содержат никакой конфиденциальной информации, могут распространяться в открытом виде по сетям передачи данных или присоединяться к подписываемым данным.

Процедура проверки подлинности подписи состоит из следующих шагов. С использованием открытого ключа вычисляется хэш-функция подписанных данных. Одновременно выделяется значение хэш-функции из предъявленной ЭЦП. Затем оба полученных значения сравниваются. Если они совпадают, то данные считаются подлинными, а подпись действительной, если не совпадают, то подпись считается недействительной.

В соответствии с законом Российской Федерации об использовании ЭЦП последняя обеспечивает целостность и юридически доказательное подтверждение подлинности электронных данных. Она позволяет не только убедиться в достоверности данных, но и доказать это любой третьей стороне, в частности в суде.

## 12.4. Электронные архивы

Электронный архив необходим для того, чтобы структурировать электронную информацию независимо от ее типа и формата, и реализует следующие основные функции:

- управление документами и иерархической структурой архива (check-in/check-out, поддержка версий, обеспечение безопасного

хранения документов, управление сервисами и назначение документам атрибутов);

- имиджинг документов (оцифровка, трансформация, представление в разных форматах бумажных документов);
- поточный ввод – ускорение занесения большого массива типовых и разнородных документов в систему;
- управление Web-контентом;
- поддержка системы сообщений, позволяющих пользователям обмениваться сообщениями, а также назначать задачи и отслеживать статус их выполнения.

В зависимости от разновидности системы архива и ее предназначения появляются также другие, специфичные функции.

Различают следующие типы электронных архивов:

- финансовой (платежной) документации. Обеспечивает централизованный учет и хранение электронных образцов первичных финансово-экономических документов, договоров и прочих документов, имеющих отношение к финансово-экономической деятельности предприятия;

- нормативных документов. Представляет собой организованный каталог всех стандартов предприятия, закупленных и (или) разработанных им;

- юридической документации. Содержит договоры и сопутствующую документацию;

- кадровой документации. Используется для хранения личных дел, трудовых договоров, приказов и распоряжений, инструкций и регламентов внутри компании;

- инженерно-технической документации. Предназначен для хранения документации на изделия (проектной, конструкторской, научно-технической, эксплуатационной, технологической и прочее) и позволяет организовать доступ к копиям документов (например, чертежей) независимо от их срока давности.

Можно выделить следующие основные этапы создания ЭА.

1. Обследование предприятия. Результатом его должен стать документ, отражающий текущее состояние документации, которая будет находиться в архиве, ее количество, структуру и взаимосвязи. В систему ЭА также должна быть размещена информация о подразделениях, которые будут пользоваться архивом, о технической и программной базе предприятия, о возможности интеграции

с другими системами, из которых необходим доступ, а также об уровне подготовленности сотрудников. На основе этого документа разрабатывается ТЗ на систему ЭА.

2. Установка и настройка системы ЭА. На данном этапе также приобретается (при необходимости) оборудование для организации поточного ввода документов (промышленные сканеры, серверы и рабочие станции обработки документов) и для долговременного защищенного хранения данных (RAID-массивы, библиотеки на различных носителях).

3. Наполнение системы – наиболее трудоемкий процесс, включающий в себя:

- сканирование документов, начиная с их подготовки и заканчивая проверкой качества полученных после оцифровки изображений;

- ввод информации в систему, включающий в себя создание либо карточки электронного документа с описывающими его атрибутами, либо полнотекстовой базы имеющихся документов, а также верификация данных.

Необходимо различать залповый ввод – единовременный ввод в систему большого массива документов, формирующий архивный фонд, и текущий ввод – сканирование текущих документов и их последующий ввод в систему по мере появления.

#### *Библиографический список*

1. *Губанов, В.А.*, Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ: учебное пособие. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 232 с.
2. *Hubka, V. and W. E. Eder*, Theory of Technical Systems, Berlin: Springer-Verlag, 1988.
3. *CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении / Под ред. А.Г. Братухина* М.: МАИ, 2002.
4. *Норенков, И.П.*, Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
5. *Ли, К.* Основы САПР (CAD/CAM/CAE). СПб.: Питер, 2004. 560 с.
6. *Уемов, А.И.* Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978.
7. *Шеннон, Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 418 с.
8. *Советов, Б.Я.*, Яковлев С.А.. Моделирование систем: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1985. 271 с.

9. *Нейлор, Т.* Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. М.: Мир, 1978. 500 с.
10. *Таха, Х.* Введение в исследование операций. Т. 2. М.: Мир, 1978. 496 с.
11. *Вентцель, Е.С.* Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972.
12. *Соболь, И.М.* Метод Монте-Карло. М.: Наука, 1985.
13. *Экономико-математические методы и прикладные модели* / Под ред. В.В. Федосеева. М.: Юнити, 2001.
14. *Harel, D.* Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems // *Science of Computer Programming*. 1987. № 8. P. 231–274.
15. *Бакаев, В.В., Судов Е.В., Гомозов В.А.* и др. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / Под ред. В.В. Бакаева. М.: Машиностроение, 2005. 624 с.
16. *Судов, Е.В., Левин А.И., Петров А.В., Чубарова Е.В.* Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения. М.: Машиностроение, 2006. 264 с.
17. *Судов, Е.В.* CALS-технологии или информационная поддержка жизненного цикла изделия // *PCWeek/RE*, № 45(169) (17–23 ноября). 1998.
18. *Дмитров, В.И.* К вопросу о государственной стратегии России в области CALS-технологий // *Информационные технологии*. 1996. № 5.
19. *Дмитров, В.И.* Опыт внедрения CALS за рубежом // *Автоматизация проектирования*. 1997. №1.
20. *Дмитров, В.И., Макаренков Ю.М.* CALS-стандарты // *Автоматизация проектирования*. 1997. №2–4.
21. *Дмитров, В.И.* CALS как основа для проектирования виртуальных предприятий // *Автоматизация проектирования*. 1997. №5.
22. *Давыдов, А.Н., Судов Е.В., Якунина О.В.* Применение расширенной идеологии IDEF для анализа и реинжиниринга бизнес-процессов в производственных и организационных системах // *Проблемы продвижения продукции и технологий на внешний рынок, специальный выпуск*. 1997. С. 23–27.
23. *Шильников, П.С., Овсянников М.В.* Система электронной документации CALS – реальное воплощение виртуального мира // *САПР и графика*. 1997. №8.
24. *Шильников, П.С., Овсянников М.В.* Глава семьи информационных CALS-стандартов – ISO 10303 STEP // *САПР и графика*. 1997. №11.
25. *Зиндер, Е.З.* Бизнес-реинжиниринг и технологии системного проектирования: учебное пособие. М.: ЦИТ, 1996.
26. Р 50.1 – 2000 Рекомендации по стандартизации. CALS-технологии. Терминологический словарь. Ч. 1. Терминология, относящаяся к стадиям жизненного цикла продукции. М.: Госстандарт России. 57 с.
27. Р 50.1 – 2000 Рекомендации по стандартизации. CALS-Технологии. Терминологический словарь Ч. 2. Основные термины и определения методологии и функциональных объектов в стандартах серии ISO 10303. М.: Госстандарт России, 19 с.
28. *Уилтон, Пол, Джон Колби.* Язык запросов SQL для начинающих: пер. с англ. М.: Компьютерное изд-во «Диалектика», 2005. 496 с.
29. *Хендерсон, Кен.* Профессиональное руководство по Microsoft SQL Server: структура и реализация: пер.с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. 1056 с.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. СЛОЖНАЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА .....	5
1.1. Основные термины и определения .....	5
1.2. Свойства системы .....	9
1.3. Организационно-технические системы и их классификация .....	10
1.4. Структура системы .....	11
2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СЛОЖНОСТЬ СИСТЕМЫ .....	15
2.1. Принципы системного подхода .....	15
2.2. Алгоритм системного анализа .....	17
2.3. Символьное описание системы .....	19
2.4. Степень сложности системы .....	21
2.4.1. Мера Р. Хартли .....	22
2.4.2. Мера К. Шеннона .....	23
2.4.3. Аналогия с формулой Больцмана в термодинамике .....	23
2.4.4. Термодинамическая мера .....	26
3. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ СИСТЕМЫ .....	27
3.1. Основные термины и определения .....	27
3.2. Жизненный цикл продукции .....	28
3.3. Внешнее и внутреннее проектирование в жизненном цикле технической системы .....	32
3.4. Этапы жизненного цикла летательного аппарата .....	35
4. ПРОЦЕССЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА .....	37
4.1. Основные термины и определения .....	37
4.2. Основные процессы .....	39
4.2.1. Процесс заказа .....	41
4.2.2. Процесс закупки комплектующих изделий .....	43
4.3. Вспомогательные процессы .....	46
4.4. Организационные процессы .....	46
5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ .....	47
5.1. Основные понятия .....	47
5.2. Классификация и виды моделей .....	51
5.2.1. Классификация моделей .....	52
5.2.2. Математические модели .....	55
5.2.3. Информационная модель .....	57
5.3. Планирование экспериментов .....	58
6. МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА .....	62

7. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА .....	69
7.1. Структурная схема процессов жизненного цикла .....	71
7.2. Математическая модель .....	72
7.3. Алгоритм статистического моделирования .....	74
7.4. Приближенное соотношение в случае пуассоновского спроса .....	75
8. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НА ОСНОВЕ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ .....	76
8.1. Концепция CALS .....	79
8.1.1. <i>Стратегия CALS</i> .....	80
8.1.2. <i>Идеология и методология CALS</i> .....	81
8.1.3. <i>CALS-технологии</i> .....	82
8.1.4. <i>CALS системы</i> .....	82
8.2. Виды обеспечения CALS-систем .....	85
8.3. Переход предприятий на CALS-технологии .....	87
9. СТАНДАРТЫ CALS .....	92
9.1. Общие сведения .....	92
9.2. Функциональные стандарты .....	96
9.2.1. <i>Метод IDEF0</i> .....	98
9.2.2. <i>Метод IDEFIX</i> .....	100
9.3. Информационные стандарты .....	103
9.3.1. <i>Стандарт ISO 10303 (STEP)</i> .....	104
9.3.2. <i>Стандарт ISO 13584 PLIB</i> .....	107
9.3.3. <i>Стандарт ISO 15531 MANDATE</i> .....	108
9.3.4. <i>Стандарты представления текстовой и графической информации</i> ..	109
9.4. Стандарты технического обмена .....	111
9.5. Стандарты по защите информации .....	113
9.6. Государственные стандарты Российской Федерации и рекомендации по стандартизации .....	116
10. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ ..	119
10.1. Автоматизированные системы для поддержки жизненного цикла изделий .....	119
10.2. Маркетинговые исследования .....	125
10.3. Управление ресурсами предприятия .....	126
10.4. Управление качеством .....	128
10.5. Управление конфигурацией .....	132
11. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ОБ ИЗДЕЛИЯХ .....	135
11.1. Основные термины и определения .....	135
11.2. Эволюция систем управления данными об изделии .....	138
11.3. Место PDM в интегрированной среде предприятия .....	141
11.4. Управление работами. Поток работ .....	144
11.5. Управление конфигурацией изделия .....	146

11.6. Управление изменениями.....	150
11.7. Примеры PDM-систем.....	153
11.8. Соотношение между PDM- и PLM-системами.....	159
12. ЭЛЕКТРОННЫЕ АРХИВЫ И БАЗЫ ДАННЫХ.....	161
12.1. Формы представления информации.....	161
12.2. Базы данных.....	163
12.2.1. Основные функции СУБД.....	164
12.2.2. Типовая организация современной СУБД.....	165
12.2.3. Модели баз данных.....	165
12.2.4. Реляционные базы данных.....	168
12.2.5. Распределенные базы данных.....	169
12.3. Электронные документы.....	173
12.4. Электронные архивы.....	176
Библиографический список.....	178

*Погорелов Виктор Иванович*

**Система и ее жизненный цикл: введение  
в CALS-технологии**

Редактор *Г.М. Звягина*  
Корректор *Л.А. Петрова*

Подписано в печать 28.12.2010. Формат бумаги 60x84/16. Бумага документная.

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 10,575. Тираж 200 экз. Заказ № 8.

Балтийский государственный технический университет

Типография БГТУ

190005, С.-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1