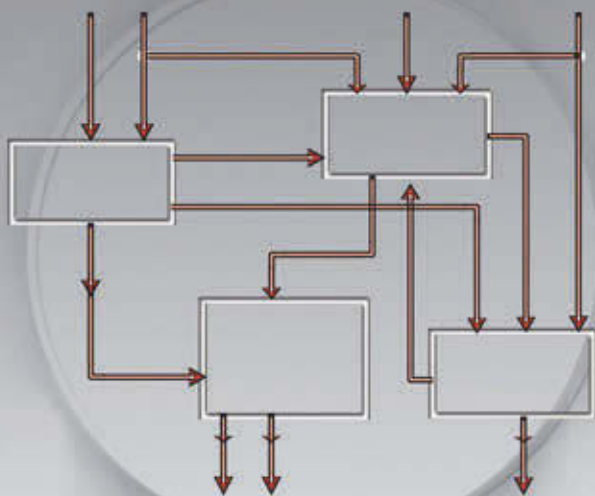


УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Я.А. Хетагуров

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ (АСОИУ)



ИЗДАТЕЛЬСТВО

**БИНОМ**

УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Я. А. Хетагуров

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ (АСОИУ)

Допущено

Учебно-методическим объединением вузов  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки 230100  
«Информатика и вычислительная техника»

ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний  
2015

УДК 004.3  
ББК 32.973-02  
Х41

*Серия основана в 2009 г.*

Рецензенты:

кафедра АСОИУ Московской государственной академии приборостроения и информатики (зав. кафедрой — заслуженный деятель науки и техники, д-р техн. наук, проф. *О. М. Петров*);  
акад. РАЕН, акад. Международной академии информатизации, д-р техн. наук,  
проф. *Н. И. Федунец* (МГГУ)

**Хетагуров Я. А.**

Х41 Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ) [Электронный ресурс] : учебник / Я. А. Хетагуров. — Эл. изд. — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 243 с.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — (Учебник для высшей школы). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10".

ISBN 978-5-9963-2900-7

В книге изложены основы проектирования автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ). Дана классификация технических средств АСОИУ и требований к ним, рассмотрены источники информации, исполнительные средства, средства управления системой оператором, основы построения электропитания и характеристики конструкций, приведен порядок создания и управления проектом АСОИУ.

Для студентов и инженеров, занимающихся проектированием АСОИУ.

УДК 004.3  
ББК 32.973-02

**Деривативное электронное издание на основе печатного аналога:** Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ) : учебник / Я. А. Хетагуров. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 240 с. : ил. — (Учебник для высшей школы). — ISBN 978-5-9963-1697-7.

**В соответствии со ст.1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации**

ISBN 978-5-9963-2900-7 © БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	<b>6</b>
<b>Глава 1. Основания для создания АСОИУ</b> .....	<b>15</b>
1.1. Экономическая целесообразность производства продукта .....	15
1.2. Оценка качества продукта .....	18
1.3. Цена продукта и его качество .....	20
1.4. Затраты на создание и выпуск продукта .....	22
<b>Глава 2. Задачи и организация решения</b> .....	<b>29</b>
2.1. Основные характеристики процесса .....	29
2.2. Общие требованиям к алгоритмам процесса .....	31
2.3. Разделение алгоритма процесса на подсистемы .....	37
2.4. Декомпозиция алгоритма подсистемы .....	40
2.5. Построение временной диаграммы работы .....	45
2.6. Определение требований к надежности и правильности работы системы и уровню автоматизации .....	52
2.7. Защита информации в системах управления .....	60
2.7.1. Средства защиты и основные требования к ним .....	65
2.7.2. Экономическая оценка средств и методов защиты .....	72

<b>Глава 3. Построение автоматизированной системы обработки информации и управления процессом</b> . . . . .	<b>78</b>
3.1. Структура управляющей системы и ее вычислительных средств . . . . .	78
3.2. Основные типы структур АСОИУ . . . . .	81
3.3. Оценка деления системы на части . . . . .	89
3.4. Принципы построения связи в управляющих системах . . . . .	92
3.5. Определение требований к правильности информации и контролю системы и ее частей . . . . .	104
3.6. Оценка затрат на аппаратуру системы с требуемой правильностью информации . . . . .	114
3.7. Оценка условий обслуживания систем. . . . .	117
<b>Глава 4. Технические средства АСОИУ</b> . . . . .	<b>123</b>
4.1. Источники информации . . . . .	123
4.2. Исполнительные устройства . . . . .	132
4.3. Средства управления автоматизированной системой . . . . .	137
4.4. Системы питания АСОИУ . . . . .	149
4.5. Характеристики конструкций . . . . .	163
<b>Глава 5. Порядок создания и управления проектом АСОИУ</b> . . . . .	<b>170</b>
5.1. Порядок создания АСОИУ . . . . .	170
5.2. Управление процессом создания АСОИУ . . . . .	181
5.2.1. Оценка затрат на создание АСОИУ . . . . .	181
5.2.2. Оценка времени создания АСОИУ . . . . .	189
5.2.3. Определение количества событий в графике работ . . . . .	193
5.3. Отладка управляющих систем . . . . .	196
5.3.1. Отладка аппаратуры АСОИУ . . . . .	198
5.3.2. Отладка программного обеспечения . . . . .	199

---

5.3.3. Оценка завершения этапов отладки программ . . . . .	203
5.3.4. Комплексная отладка АСОИУ . . . . .	203
5.3.5. Оценка затрат на комплексную отладку АСОИУ . . . . .	205
5.3.6. Принципы построения имитаторов . . . . .	211
5.4. Испытания АСОИУ . . . . .	219
<b>Глава 6. Комплексные проблемы развития систем . . . . .</b>	<b>227</b>
6.1. Поколения систем . . . . .	227
6.2. Условия стандартизации блоков систем . . . . .	230
<b>Литература . . . . .</b>	<b>238</b>
<b>Об авторе . . . . .</b>	<b>239</b>

*70-летию СКБ-НКСП, МНИИ-1,  
ЦМНИИ, ЦНИИ «Агат», НПО «Агат»,  
Концерна «Моринфосистема-Агат»  
посвящается*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Работа любой организации или групп людей связана с использованием и осмыслением информации, а затем — с выполнением определенных действий, т. е. управлением.

Развитие общества сопровождалось производством новых продуктов и изделий, созданием новых отраслей промышленности и т. д., что усложнило взаимодействие таких организаций и групп людей. Например, для распределения продукции появилась торговля; для учета и организации работ — бухгалтерия; для организации денежных потоков между производителями и торговлей — банки и т. д.

Все данные о товарах, объемах производства, ценах, потребностях общества являются информацией, которой обмениваются организации и группы людей для принятия решений по управлению своей деятельностью.

В каждой предметной области деятельности людей (изготовление изделий, производство материалов, добыча и переработка полезных ископаемых, сельскохозяйственное производство и т. п.) накапливаются данные о наиболее эффективных операциях, сокращающих затраты человеческого труда на создание определенного продукта. Эта информация является основой для применения автоматизации.

Анализируя развитие общества, можно отметить, что чем обширнее разделение труда между членами общества, т. е. между организациями и группами, тем больший объем данных — информации — необходим для взаимодействия между членами этого общества. Объем информации, которым обмениваются его члены, растет быстрее, чем число специализаций выполняемых работ, связанных с разделением труда. Таким образом, можно сформулировать общую

закономерность: *объем обмениваемой информации в обществе между его членами определяется числом специализаций в производстве, науке, искусстве, медицине и т. п. и числом организаций и групп, участвующих в процессе воспроизводства продуктов.*

Увеличение объемов обмениваемой информации во времени зависит от роста количества новых организаций и групп.

Важнейшая роль в обмене информацией принадлежит средствам связи. Применение связи обеспечивает обмен информацией между организациями и группами лиц, участвующими в процессах управления.

Принципы построения системы обработки информации и вопросы автоматизации оказались общими для большого круга систем в различных областях человеческой деятельности. Такая возможность появилась в результате развития средств вычислительной техники, повышения ее производительности, упрощения общения человека с этими системами, широкого использования автоматизации, сокращения затрат на эти действия. Степень участия человека в управлении организацией определяется характером и условиями ее работы и уровнем автоматизации системы.

Курс «Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ)» изучает вопросы проектирования АСОИУ, которые связаны с организацией работы по созданию системы, контролю, обеспечению надежности, защищенности и безопасности эксплуатации и затратами на создание системы и ее эксплуатацию.

Основные проблемы построения АСОИУ следующие.

*Первой* проблемой является определение **необходимости применения АСОИУ**. Ее решение связано с анализом важности задач, для которых она создается. Эти задачи могут определяться:

- социальным заказом общества;
- обеспечением безопасности личности и общества;
- защитой от экономических экспансий в определенных областях промышленности, а также проведением экономических экспансий в своих интересах.



*Социальный заказ* для АСОИУ связан с необходимостью обработки информации, например, в области медицинского обслуживания, пенсионного обеспечения и т. п.

Под *безопасностью личности* понимается не только защита от бандитов и хулиганов, но и обеспечение условий безопасного труда. *Безопасность общества* также рассматривается не только как защита государства и его строя, но и как обеспечение безопасности производства для работающих людей и окружающей среды.

Безопасность определяется законами государства.

АСОИУ используются также для обеспечения внедрения новых высоких технологий, приводящих к снижению себестоимости, повышению эффективности проведения экономических экспансий с целью увеличения дохода в отраслях промышленности.

*Второй* проблемой является определение **целесообразности построения АСОИУ**. Под целесообразностью построения АСОИУ будем понимать получение экономических преимуществ в результате использования автоматизированной системы, главным образом дохода, путем сокращения затрат на эксплуатацию при выполнении работ.

Обе рассматриваемые проблемы — необходимость применения и целесообразность построения АСОИУ — практически связаны между собой. Можно принять, что первая проблема определяется политическими, а вторая — экономическими вопросами жизни общества. Учет взаимного влияния этих проблем обеспечивает создание рациональной АСОИУ.

Следующая, *третья*, проблема — **оценка качества выполняемой работы и выпускаемого АСОИУ продукта**. Это важнейший показатель, который связывает качество продукции с ее характеристиками и обеспечивает экономическую основу системы.

Решению этих проблем посвящена первая глава.

Проблема **определения рационального построения АСОИУ и уровня ее автоматизации** является *четвертой* и ключевой, так как в ней определяются задачи и алгоритмы, проводится деление на части-подсистемы, принимаются решения по защищенности и безопасности, оцениваются

требования к контролю, надежности, уровню автоматизации и затраты на создание и эксплуатацию.

Во второй, третьей и четвертой главах рассмотрены вопросы, связанные с решением этой проблемы.

*Пятая* проблема, от которой зависит рациональная организация работ по созданию АСОИУ, определяется **затратами и сроками выполнения**. Решение этой проблемы связано с особенностями построения АСОИУ, условиями контроля работоспособности частей и затратами на эксплуатацию, а также последовательностью проведения испытаний. Этой проблеме посвящена пятая глава.

Критериями оценки рациональности принимаемых решений по рассмотренным проблемам, наряду с использованием различных оценок эффективности при проектировании, являются экономические показатели, связанные с затратами на разработку, изготовление и эксплуатацию АСОИУ. Главным является *доход* от выпускаемого продукта, который предполагает получить его создатель. Такой подход к построению АСОИУ требует знания функциональных зависимостей между техническими параметрами и характеристиками АСОИУ и экономическими показателями. Методы определения этих зависимостей приведены в настоящей книге.

Для определения закона изменения какой-либо величины по отдельным ее значениям применяются линейная или гиперболическая аппроксимации. Учитывая, что данных для построения аппроксимирующей кривой обычно бывает мало, методы аппроксимации и вопросы достоверности рассматриваются отдельно.

Приведем определения основных терминов, которые используются в этой книге.

**Система управления** — это взаимосвязанные и взаимодействующие в пространстве и во времени аппаратные и программные средства и личности, реализующие алгоритм управления во времени определенными процессами, целью которых является производство продукта. Продуктом системы могут являться вещества, изделия, цифровые данные, аудио- и видеоинформация, сигналы управления и т. п.

**Процессом** называется последовательность выполняемых во времени определенных действий — операций, происходящих при производстве продукта. Например, понятие «процесс» соответствует сборка-монтаж для получения изделия, проведение химических или других реакций для получения вещества, выполнение программы расчета по алгоритму с выдачей данных в самых различных объектах: самолете, корабле, торговой фирме, банке и т. п.

**Алгоритмы** описывают процессы, которыми управляет система. На основании алгоритмов, в которых указываются диапазоны и погрешности всех входных и выходных данных, их временные характеристики, формульные и логические зависимости, а также методики проверки правильности их выполнения, пишутся программы, реализующие алгоритмы на вычислительных средствах.

**Автоматизированной системой обработки информации и управления (АСОИУ)** будем называть систему, состоящую из взаимосвязанных и взаимодействующих в пространстве и во времени вычислительных, алгоритмических и связанных средств, источников информации с метрологическим обеспечением, средств управления и отображения, применяемых для получения продукта заданного качества в определенных условиях эксплуатации с участием человека.

**Структурной схемой устройства, алгоритма, системы** будем называть схему, на которой обозначены связи между ее частями.

В соответствии с природой процессов, протекающих в АСОИУ при ее функционировании, можно условно выделить два вида систем: технические и организационные.

*Технические* системы включают в себя широкий круг подсистем, использующих различные технические средства. К ним относятся системы управления отдельными объектами (станком, краном, кораблем, самолетом и т. п.) и системы, предназначенные для контроля и управления технологическими процессами. Для этих АСОИУ характерно получение информации в основном от автоматических и полуавтоматических устройств и выдача ее также автоматическим исполнительным органам. Для технических систем недопустимо большое запаздывание при передаче и перера-

ботке информации и характерны высокие требования к надежности работы всех процессов управления.

*Организационные АСОИУ* используются в системах управления административно-организационного типа. К административным системам относятся АСОИУ различными отраслями народного хозяйства, информационно-справочные и информационно-поисковые системы. На первый план в таких системах выдвигаются проблемы поиска информации и разработки программ для решения на ЭВМ отдельных задач. Для систем этого вида источниками информации являются документы, подготовленные человеком и введенные оператором или поступившие по линиям связи. На выходе в этих системах информация выдается в виде документов, удобных для восприятия людьми или в линии связи.

В АСОИУ организационного вида, в силу большей по сравнению с техническими длительностью самих управляемых процессов, обычно происходит относительно большее запаздывание при сборе, передаче и обработке информации и, кроме того, характерно долговременное хранение больших массивов информации.

Конечно, имеются системы, включающие в себя подсистемы различных видов. Так, функционирование крупного предприятия немислимо без экономической подсистемы и в более общем виде может быть представлено как комплекс технической и организационной АСОИУ.

Системы, в которых человек полностью исключен из процесса управления, называются **автоматическими**. Когда в системе управления часть функций по управлению осуществляется человеком, она называется **автоматизированной**.

Известны АСОИУ, в которых человек-оператор или группа операторов не принимает непосредственного участия в выполнении системной задачи, а вмешивается в работу лишь при необходимости изменения характеристик функционирования. В этих системах сложность объекта управления и ответственность решаемых системой задач не позволяют исключить человека полностью или на достаточно длительный период из процесса управления. Для изменения характеристик функционирования системы оператор,

по показаниям индикационных устройств, принимает решение о необходимости воздействия на процесс управления. При этом возникает проблема определения объема и формы представления оператору информации, которую нужно понять и принять решение в определенный промежуток времени. Особенно актуальна эта проблема в системах с малым временем, отводимым на контроль и принятие решения.

Известны АСОИУ, в которых человек-оператор осуществляет функции непосредственного управления выполнением системой задачи. Применение этих АСОИУ характерно для наиболее сложных объектов, когда воздействие на процесс не может быть полностью алгоритмизировано, зависит, в общем случае, от множества факторов самой различной природы (общественно-экономической, юридической, политической и т. д.) и осуществляется человеком или группой лиц, обладающих специальными знаниями и конкретными целевыми установками. В этих случаях, управляя процессом, человек-оператор стремится добиться в определенном смысле наилучшего хода процесса.

Автоматизированные системы обработки информации и управления могут значительно отличаться по характеру и объему решаемых задач, типам объектов управления и ряду других признаков. Поэтому можно классифицировать АСОИУ по различным признакам:

- размерам сферы действия (в масштабах земного шара, государства, отрасли, предприятия, отдельных процессов и операций);
- характеру решаемых задач (стратегические, тактические, оперативные).

Исторически сложилось разделение АСОИУ на следующие классы по требованиям к *времени реакции* на поступающую информацию и сигналы:

- АСОИУ реального масштаба времени;
- АСОИУ с контрольным временем;
- АСОИУ со свободным временем.

По *областям работы* АСОИУ разделяются:

- на АСУП — автоматизированные системы управления производством;

- БАС — банковские автоматизированные системы;
- связные, осуществляющие коммутацию линий связи;
- используемые в торговле;
- военные;
- бронирования мест;
- медицинские;
- административные;
- справочные.

В свою очередь, каждая область АСОИУ может делиться на классы по определенным условиям использования. Например, военные АСОИУ делятся *по месту их установки* на стационарные, передвижные, бортовые; по требованиям к *конструкции, схемам и условиям работы* — на наземные, морские, самолетные, ракетные и т. д.

Рассмотрим требования к временным характеристикам работы различных классов АСОИУ.

1. АСОИУ реального масштаба времени характеризуются тем, что они используются в управлении процессами, в которых жестко регламентированы моменты поступления информации и выдачи сигналов управления и данных либо жестко регламентированы длительность обработки информации и моменты выдачи сигналов управления и данных. Характерной особенностью этих систем является высокая частота поступления данных (до нескольких мегагерц) и частота выдачи сигналов управления и данных (до нескольких сотен герц). Эти требования относятся к АСОИУ двигателями, самолетами, стрельбой и запуском ракет, некоторыми химическими производствами, станками и обрабатывающими центрами, тренажерами и т. п.

2. АСОИУ с контрольным временем в основном встречаются при обслуживании процессов, в которых регламентируются только определенные этапы выполнения процесса, например выдача на экран заранее подготовленных данных не более чем через 3...6 с от момента запроса, получение данных по определенным реквизитам за время не более заданного и т. п.

3. К АСОИУ со свободным временем относятся аналитические, исследовательские, автоматизированные системы

управления производством, коммерческие и др., у которых время получения результата определяется производительностью вычислительных средств, а время выполнения заявки может составлять 10 мин или более.

4. Каждая АСОИУ в любой области применения должна иметь защиту от несанкционированного использования и проникновения вирусов, которые нарушают работу программ и системы. Это требование является обязательным для любой АСОИУ, в зависимости от области применения оно только конкретизируется.

# 1

## ГЛАВА

---

# ОСНОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АСОИУ

Проблемы создания системы определяются потребностью и уровнем развития общества, затратами на создание системы производства продукта, его ценой на рынке и объемом выпуска. Эти показатели непосредственно связаны с характеристиками процесса производства продукта и его потреблением обществом.

Рассмотрим экономические показатели выбираемого процесса производства продукта.

### **1.1. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТА**

Для определения целесообразности производства продукции необходимо знание ряда экономических показателей, которые общество или его часть предъявляет к продукту, производимому системой, а также тенденции их изменения во времени. Эти экономические показатели практически определяют требования к основным техническим характеристикам предполагаемой к построению системы, времени ее создания и длительности использования — эксплуатации.

Перспективность выбранного процесса и системы управления оценивается на основе маркетинговых исследований, которые определяют:

- затраты на создание продукта;
- основные показатели продукта;
- потребности в продукте и объеме его выпуска;



- диапазон возможных цен продажи продукта;
- прогнозируемую длительность использования продукта;
- затраты на утилизацию системы.

Основными показателями для потребителя являются высокое качество продукта, относительно низкая его цена и объем выпуска.

Для производителя продукта главной является величина дохода, которую он получает после учета всех затрат, связанных с созданием системы, длительностью ее эксплуатации, объемом производства продукта. Эта величина зависит от цены продукта на рынке, его качества, объема изготовления и организации производства.

Стоимость производимого продукта за год определяется зависимостью

$$S = MЦ, \quad (1.1)$$

где  $M$  — объем производимого продукта за год;  $Ц$  — цена единицы продукта.

Экономическая эффективность создаваемой системы определяется величиной дохода

$$D = S - S_{сж}, \quad (1.2)$$

где  $D$  — доход за период жизни системы;  $S_{сж}$  — затраты за период жизни системы, состоящие из затрат на создание системы  $S_{п}$  и эксплуатацию  $S_{эк}$ , в процессе которой производится выпуск продукта.

$$S_{эк} = CM, \quad (1.3)$$

где  $C$  — затраты на производство системой одного вида продукта.

$$S_{сж} = S_{п} + CM. \quad (1.4)$$

Затраты на продукт, производимый системой, определяются следующими основными факторами:

- процессом получения продукта — затратами человеческого труда, надежностью аппаратуры системы;
- потреблением энергии для производства продукта;
- стоимостью исходных материалов продукта;
- величиной налогов и накладных расходов.

Подставив в уравнение дохода значения составляющих, запишем

$$D = M\Pi - (S_{\Pi} + CM) = M(\Pi - C) - S_{\Pi}. \quad (1.5)$$

Доход зависит от цены продукта, которая во многом определяется его качеством. Доход связан с затратами на производство продукта, т. е. чем ниже затраты по отношению к цене, тем выше доход, который определяется объемом производимого продукта. Приведенные факторы связаны друг с другом. При их анализе на первом этапе не будем учитывать роль рынка, влияющего на цену продукта и объем его производства, а также изменение курса денег, которыми производитель не управляет, но должен учитывать.

Распределение доходов по интервалам времени жизни даст представление об экономической эффективности создаваемой системы.

Средний доход в единицу времени (например, за год) за период жизни системы

$$D_{\text{ж}} = \frac{D}{t_{\text{ж}}},$$

где  $t_{\text{ж}}$  — период жизни.

Средний доход за период эксплуатации системы (за год)

$$D_{\text{эк}} = \frac{D}{t_{\text{эк}}}. \quad (1.6)$$

где  $t_{\text{эк}}$  — период эксплуатации.

Соотношение между этими доходами определим, используя приведенные выражения:

$$D_{\text{ж}} = D_{\text{эк}} \frac{t_{\text{эк}}}{t_{\text{ж}}}. \quad (1.7)$$

Полученная зависимость оценивает влияние времени создания и изготовления системы на ее доходность, а также длительности эксплуатации на экономическую эффективность.

Далее рассмотрим внутренние зависимости, определяемые выбранным процессом и системой управления, параметры которых влияют на качество продукта, затраты на производство и объем производимого продукта.

## 1.2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОДУКТА

Для комплексного представления качества, учитывая его связь со многими показателями, определим его числом  $K$ . Повышение качества продукта приводит к увеличению числа  $K$ .

Число  $K$  назовем *коэффициентом качества продукта*. Определение коэффициента качества представляет сложную задачу, состоящую из двух частей. Первая — выявление показателей, т. е. параметров качества продукта, влияющих на его цену и потребительские свойства. Вторая — оценка степени важности каждого параметра качества анализируемого продукта.

Для определения качества продукта, производимого процессом и системой управления, пользуются:

- 1) габаритно-массовыми показателями продукта;
- 2) характеристиками продукта:

- для химических веществ: чистотой, концентрацией и т. д.;
- для продуктов питания: калорийностью, жирностью, градусами крепости, вкусовыми свойствами и т. п.;
- для информации: достоверностью данных, скоростью передачи, объемом данных и т. п.;

3) если продукт является устройством, прибором или машиной, то качество может оцениваться:

- удельным потреблением энергии;
- длительностью использования продукта;
- затратами на эксплуатацию;
- внешним видом;
- удобством использования продукта, которое может оцениваться уменьшением затрат человеческого труда, повышением производительности и т. п.

Качество продукта может определяться и многими другими показателями, важными для потребителя. Выбранная потребителем совокупность параметров интересующего его продукта с учетом их важности и будет оценивать качество.

Каждый параметр качества характеризуется диапазоном изменения  $\Pi$  и точностью его представления. Для даль-

нейших исследований диапазон определим в относительных единицах в виде:

$$\Pi_i = \frac{P_{2i} - P_{1i}}{\delta P_i}, \quad (1.8)$$

где  $P_{1i}, P_{2i}$  — предельные значения  $i$ -го параметра, представляющие диапазон его изменения;  $\delta P_i$  — точность измерения  $i$ -го параметра.

Для объективного количественного представления каждого  $i$ -го параметра, влияющего на качество продукта, необходимо их привести к единой единице измерения, которой обычно является денежная единица, например рубль, 1000 рублей, доллар и т. п.

Определим стоимость единицы измерения параметра  $\delta P_i$  в денежных единицах, например в рублях ( $s_{ni}$ ). Приведение к единой единице производится путем оценки стоимости каждого  $i$ -го параметра, т. е. определения стоимости  $\Pi_i$  единицы измерения точности параметра  $\delta P_i$ .

Стоимость одной единицы измерения  $i$ -го параметра

$$\Pi_i = s_{ni}. \quad (1.9)$$

Величину затрат  $x_i$  на получение  $i$ -го параметра определим по формуле

$$x_i = \Pi_i \Pi_i. \quad (1.10)$$

Совокупность параметров для получения коэффициента качества можно представить аддитивным или мультипликативным выражением либо смешанной зависимостью.

*Аддитивное* представление функции качества запишем в виде

$$K_a = \sum_{i=1}^n a_i x_i, \quad (1.11)$$

где  $n$  — число параметров, участвующих в форматировании коэффициента качества;  $x_i$  — величина затрат на  $i$ -й параметр;  $a_i$  — коэффициент, учитывающий степень влияния  $i$ -го параметра на коэффициент качества продукта. При этом должно выполняться соотношение

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1. \quad (1.12)$$

*Мультипликативное* представление функции качества запишем в виде

$$K_M = \prod_{i=1}^n x_i^{a'_i}, \quad (1.13)$$

где  $a'_i$  — коэффициент, учитывающий степень влияния  $i$ -го параметра.

Выбор параметров, определяющих качество продукта, в основном задается рынком, т.е. потребителем, и является одним из важных результатов маркетингового анализа.

Величина  $a'_i$  часто назначается на основании оценок руководителей и является субъективной. Для уменьшения влияния случайных обстоятельств целесообразно использовать для определения  $a'_i$  экспертные методы и методы аппроксимации.

В некоторых случаях можно нормализовать величины затрат на каждый  $i$ -й параметр по формуле

$$x'_i = \frac{x}{x_{\text{ср}}}, \quad (1.14)$$

где  $x_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n x_i/n$ . Это дает возможность оценить степень влияния  $i$ -го параметра.

При определении некоторых коэффициентов качества продукта бывает целесообразно использовать смешанное представление функции качества  $K_{\Sigma} = K_a K_M$ .

Такое определение позволяет лучше учитывать влияние физических свойств параметров на качество. Например, учет надежности целесообразнее вести в виде мультипликативного показателя, так как он в определенной мере комплексно характеризует любой продукт. Для некоторых продуктов может оказаться рациональным проводить учет потребляемой энергии аддитивным способом.

Определение  $a_i$  и  $a'_i$  — важнейшая задача маркетинга.

### 1.3. ЦЕНА ПРОДУКТА И ЕГО КАЧЕСТВО

Цена продукта, его качество и объем изготовления тесно связаны. Можно считать, что главное влияние на цену оказывают качество и объем производства.

На основании рыночных данных повышение качества любого продукта в определенной степени связано с повышением его цены. Для каждого вида продукта эта связь индивидуальна, так как она учитывает особенности процесса производства и потребности рынка.

Для определения зависимости цены  $\Pi$  от качества  $K$  и объема производства  $M$  построим аппроксимирующую математическую модель в виде:

$$\Pi = \frac{b_1 K}{1 + b_2 M}, \quad (1.15)$$

где  $b_1, b_2$  — коэффициенты аппроксимации.

Эта модель учитывает влияние качества на цену: повышение качества продукта увеличивает его цену, увеличение объема выпуска обычно способствует снижению цены и увеличению дохода.

Определение коэффициентов аппроксимирующей зависимости математической модели требует данных не менее двух-трех систем, производящих близкие по характеристикам продукты. Вопросы аппроксимации для малого числа экспериментов (данных) рассматриваются отдельно.

Подставив в уравнение дохода зависимость цены от качества и количества продукта, можно определить рациональное значение дохода, связанное с затратами на производство, качеством и количеством продукта, в виде:

$$D = \left( \frac{b_1 K}{1 + b_2 M} - C \right) M - S_{\pi}, \quad (1.16)$$

где  $C$  — затраты на создание и изготовление единицы продукта определенного качества.

По приведенной зависимости можно оценить количество продукции  $M_3$ , соответствующее экстремальной величине дохода  $D_M$  при заданном качестве:

$$\frac{dD_M}{dM} = 0, \quad M_3 = \frac{1}{b_2} \left( 1 \pm \sqrt{\frac{b_1 K}{C}} \right). \quad (1.17)$$

Для дальнейшего анализа рассмотрим вопросы, связанные с определением затрат и влиянием качества и объема

производимого продукта на построение системы управления процессом.

#### 1.4. ЗАТРАТЫ НА СОЗДАНИЕ И ВЫПУСК ПРОДУКТА

Затраты на создание, изготовление и выпуск единицы продукта за время эксплуатации  $t_{\text{эк}}$  определяются уравнением

$$C = (S_{\text{эк}} + S_{\text{п}} + S_{\text{м}})(1 + H_{\text{с}}) \frac{1}{M}, \quad (1.18)$$

где  $S_{\text{эк}}$  — затраты за время эксплуатации системы, которые определяются надежностью работы, количеством продукта, производимого системой, уровнем автоматизации или числом участвующих в управлении системой людей, а также затратами на электроэнергию;  $S_{\text{п}}$  — затраты на создание автоматизированной системы управления, производящей продукт, определяются уровнем автоматизации процесса производства продукта, объемом выпуска продукции, надежностью работы системы, качеством выпускаемого продукта, габаритно-массовыми показателями системы, условиями работы;  $S_{\text{м}}$  — затраты на исходные материалы, потребляемые для производства продукта за время жизни системы, объем которых определяется процессом производства;  $H_{\text{с}}$  — доля от общей стоимости единицы производимого продукта, которая связана с налогами и накладными расходами, зависящими от организации работ на фирме и законодательства;  $M$  — объем продукта, произведенного системой за время ее эксплуатации.

Определим функции каждой составляющей уравнения затрат на создание и выпуск продукции системы от объема выпускаемого продукта и его качества.

**Влияние изменения объема, качества и уровня автоматизации производимого продукта на затраты по созданию системы.** Оценивать влияние объема и качества производимого продукта на затраты по созданию системы для его производства начнем с определения затрат на разработку и изготовление системы. Это вызвано тем, что особенности построения системы оказывают существенное влияние на все составляющие производства продукта.

Проанализируем изменение стоимости системы в зависимости от изменения объема производимого продукта и его качества. Построение любой системы, производящей продукт, в подавляющем большинстве случаев (или как правило) базируется на существующих или модернизируемых процессах. Поэтому проектирование в основном заключается в улучшении и совершенствовании уже достигнутых показателей системы.

Существует мировая практика оценки целесообразности внедрения в создаваемую систему не более 10...20% новаций для создания качественной системы в согласованные сроки.

Систему с существующими показателями-характеристиками и определенными затратами на ее изготовление будем называть **базовой**.

Затраты на создание системы определяем по отклонениям основных ее показателей от показателей базовой системы, используя математические модели (ММ) на основе аппроксимирующих зависимостей. Приведем два варианта ММ:

$$S_{п1} = F_1(M_6 m, K_6 q) F_2(N_6 \Pi) \quad (1.19)$$

и

$$S_{п2} = F_3(M_6 m, K_6 q, N_6 \Pi), \quad (1.20)$$

где  $M_6$  — объем продукции, производимый базовой системой;  $m$  — коэффициент, учитывающий отклонение в объеме производства продукции от базового;  $K_6$  — качество продукта, производимого базовой системой;  $q$  — коэффициент, учитывающий отклонение показателя качества продукта от базового;  $N_6$  — число людей, участвующих в работе базовой автоматизированной системы;  $\Pi$  — коэффициент, учитывающий изменения числа людей, работающих в системе.

Рассмотрим ММ составляющих первого варианта:

$$F_1 = \frac{K_6 q a'}{1 - M_6 m b'}, \quad (1.21)$$

где  $a'$ ,  $b'$  — коэффициенты аппроксимации;  $q = 1 \pm \Delta K / K_6$ ;  $\Delta K$  — величина изменения качества продукта относительно



базового;  $m = 1 \pm \Delta M / M_6$ ;  $\Delta M$  — величина изменения объема производимого продукта относительно базового.

Эта математическая модель определяет влияние объема производства продукта  $M$  и его качества  $K$  на затраты по созданию автоматизированной системы.

Математическая модель, учитывающая влияние числа людей, участвующих в работе системы (уровень автоматизации), на затраты создания системы, описывается следующими выражениями:

$$F_2 = a'' / (1 + N_6 \Pi b''),$$

где  $a''$ ,  $b''$  — коэффициенты аппроксимации;  $\Pi = 1 \pm \Delta N / N_6$ ;  $\Delta N$  — изменение числа работающих в системе людей.

Для учета влияния уровня автоматизации на затраты можно использовать математическую модель на основе коэффициента автоматизации  $F_2'(\alpha_6 \varepsilon)$ :

$$F_2' = \frac{a'''}{1 + \alpha_6 \varepsilon b'''},$$

где  $a'''$ ,  $b'''$  — коэффициенты аппроксимации;  $\alpha_6$  — коэффициент автоматизации, определяемый числом людей, участвующих в работе автоматизированной системы:

$$\alpha_6 = \frac{N_{\text{и}} - N_6}{N_{\text{и}}} = 1 - \frac{N_6}{N_{\text{и}}},$$

где  $N_{\text{и}}$  — число людей, работающих в системе без средств автоматизации;  $N_6$  — число людей, работающих в базовой системе.

Коэффициент, учитывающий изменение автоматизации:

$$\varepsilon = 1 \pm \frac{\Delta \alpha}{\alpha_6},$$

где  $\Delta \alpha$  — изменение коэффициента автоматизации в зависимости от изменения числа работающих относительно базового  $\alpha_6$ .

Использование ММ, учитывающей затраты на создание системы в зависимости от числа работающих людей или величины коэффициента автоматизации, позволяет оценить влияние уровня автоматизации на затраты при создании системы.

Учет числа работающих людей — это прямой результат автоматизации для каждой области использования систем.

Он не требует пересчетов по определению коэффициента автоматизации, которые характерны для каждой области использования систем.

Для комплексной оценки влияния характеристик может использоваться и объединенная ММ затрат на создание и производство системы:

$$S_{п2} = F_3(M_6 m, K_6 q, N_6 \Pi).$$

Рассмотрим ММ этого второго варианта:

$$S_{п2} = F_3 = \frac{M_6 m K_6 q a'_3}{1 + N_6 \Pi b'_3}. \quad (1.22)$$

Для определения коэффициента аппроксимации ММ необходимы данные двух-четырёх систем. Методы аппроксимации рассматриваются отдельно.

Анализируя влияние изменения объема производимого продукта на изменение затрат на создание системы, можно классифицировать системы:

- на экстенсивные — затраты на создание системы увеличиваются в большей степени, чем объем выпускаемого продукта;
- интенсивные — объем выпускаемого продукта увеличивается в большей степени, чем затраты на создание системы.

Этот анализ дает представление о развитии АСОИУ в исследуемой области.

**Определение затрат на эксплуатацию.** Затраты на эксплуатацию системы при производстве продукта за время жизни системы

$$S_{эк} = S_o + S_{зип} + S_э + S_{п.п}, \quad (1.23)$$

где  $S_o$  — затраты на оплату труда людей, обслуживающих систему в процессе производства продукта;  $S_{зип}$  — затраты на запасную аппаратуру (ЗИП) для обеспечения надежной работы системы при производстве продукта;  $S_{п.п}$  — затраты, связанные с потерей продукта из-за ненадежности системы;  $S_э$  — затраты на энергию, потребляемую системой и процессом при производстве.

Все приведенные затраты непосредственно зависят от размеров системы, особенности ее построения, объема выпускаемого продукта, его качества и ряда других факторов.

На начальном этапе проектирования можно оценивать величины составляющих затрат на эксплуатацию на основании только затрат на создание системы с учетом объема и качества выпускаемого продукта, а также числа обслуживающего персонала. Рассмотрим составляющие этих затрат на эксплуатацию.

Оценим затраты на оплату людей, участвующих в работе системы в процессе производства продукта. Запишем их в виде

$$S_o = N_6 s_0,$$

где  $s_0$  — затраты на одного человека, работающего в системе за период ее эксплуатации.

Затраты для обеспечения надежности (ЗИП) за время эксплуатации системы запишем в виде:

$$S_{\text{зип}} = a_5 S_{\text{п}},$$

где  $a_5$  — коэффициент влияния объема аппаратуры на ЗИП. Этот коэффициент определяется по опыту эксплуатации систем, близких по условиям, объему и надежности работы.

Затраты на энергию, потребляемую системой и процессом при производстве продукта за время эксплуатации системы, запишем в виде:

$$S_{\text{эн}} = a_6 S_{\text{п}},$$

где  $a_6$  — коэффициент, учитывающий влияние объема аппаратуры на затраты на энергию. Его величина оценивается по статистическим данным работы процессов и систем, близких к анализируемой.

Затраты, связанные с потерей продукта при производстве из-за ненадежности системы, зависят от надежности ее работы. Принимая в первом приближении, что надежность работы связана с количеством аппаратуры и соответственно с затратами на систему, определим потери от ненадежности:

$$S_{\text{п.п}} = a_7 S_{\text{п}},$$

где  $a_7$  — коэффициент, учитывающий влияние затрат на создание системы на потери производимого продукта. Величина коэффициента определяется по статистическим данным систем, выпускающих аналогичные продукты и имеющих близкие по величине надежность, объемы и стоимость.

Подставив составляющие в уравнение (1.23), получим уравнение затрат за время эксплуатации:

$$S_{\text{эк}} = N_6 \Pi s_0 + S_{\Pi} (a_5 + a_6 + a_7). \quad (1.24)$$

После подстановки функции составляющих затрат, уравнение (1.18) представим в виде:

$$C = [N_6 \Pi s_0 + S_{\Pi} (a_5 + a_6 + a_7) + S_{\Pi} + S_{\text{м}}] \frac{1 + H_c}{M_6 m}. \quad (1.25)$$

При использовании объединенной ММ  $S_{\Pi} = S_{\Pi 2}$ .

Выполнив преобразования и введя обозначения, запишем:

$$C = \frac{N_6 \Pi s_0 B}{M_6 m} + \frac{K_6 q B a' A_0}{1 + N_6 \Pi b''} + \frac{S_{\text{м}} B}{M_6 m}, \quad (1.26)$$

где  $B = 1 + H_c$ ;  $A_0 = a_5 + a_6 + a_7 + 1$ .

Определим экстремальные затраты на единицу продукта в зависимости от числа людей, участвующих в работе системы (от величины коэффициента автоматизации).

Для удобства вычисления введем обозначения и запишем

$$C = A_1 \Pi + \frac{A_2}{1 + \Pi b''} + A_3, \quad (1.27)$$

где

$$A_1 = \frac{N_6 \Pi s_0 B}{M_6 m}; \quad A_2 = K_6 q B a' A_0; \quad A_3 = \frac{S_{\text{м}} B}{M_6 m}; \quad b'' = N_6 b'.$$

Определим

$$\frac{dC}{d\Pi} = A_1 = \frac{A_2 b''}{(1 + \Pi b'')^2} \quad (1.28)$$

и экстремальную величину  $\Pi_3$ :

$$\Pi_3 = \frac{1}{b''} \left( 1 \pm \sqrt{\frac{A_2 b''}{A_1}} \right). \quad (1.29)$$

Подставив  $\Pi_3$  в уравнение (1.27), получим экстремальное значение затрат на единицу продукта  $C_3$  при условии постоянства объема производства продукции и ее качества.

Оценим влияние качества продукта на затраты по выпуску единицы продукта и доход.

Подставив в уравнение дохода зависимости и выполнив преобразования, получим линейную зависимость дохода от качества продукта при неизменном количестве выпускаемого продукта  $M$  и числа работающих людей  $N_6$  (коэффициента автоматизации):

$$D = K \left( \frac{b_1 M}{1 + b_2 M} - A_4 \right) + (A_n + A'_3), \quad (1.30)$$

где

$$A_n = N_6 \Pi s_0 B; \quad A_4 = \frac{M B a' A_0}{1 + N_6 \Pi b'}; \quad A'_3 = S_m B.$$

Проведенная предварительная оценка соотношения качества, объема выпускаемой продукции и числа обслуживающего персонала обеспечит максимальную доходность от эксплуатации системы. Полученные данные являются оценочными.

После проведения работ по выбору алгоритма процесса и выявления требований к аппаратуре АСОИУ определяют:

- необходимую надежность ее работы;
- коэффициент автоматизации;
- затраты на эксплуатацию;
- затраты на производство единицы продукции.

# 2

## ГЛАВА \_\_\_\_\_

# ЗАДАЧИ И ОРГАНИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ

### 2.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА

Рассмотрим процессы, связанные с различными областями применения. Условно разделим их на две группы: первая — процессы, происходящие в технических системах; вторая — процессы, происходящие в организационных системах.

Процессы, происходящие в любых системах управления, описываются:

- алгоритмом поведения процесса и его безопасности;
- временными параметрами его течения;
- величинами объемов входных продуктов и производимого продукта;
- качеством производимого продукта;
- удельными затратами энергии на единицу продукта;
- надежностью и контролем работы системы;
- занимаемым объемом, массой системы и условиями ее работы.

Определяющим для наиболее сложной части системы — вычислительных средств — является алгоритм работы системы во времени. Он оказывает существенное влияние на ее стоимость. Серьезное влияние на стоимость производства системы имеют требования к занимаемому объему, массе и условиям эксплуатации. Они характерны для определенного вида систем. Важным требованием по обеспечению безопасности работы является защищенность от вредных воздействий, нарушающих жизненно важные функции людей в зоне работы системы.

Рассмотрим процессы, относимые к *техническим* системам. Они характеризуются высокой степенью автоматизации управления. Это процессы по производству продукта, связанные с химическими и металлургическими производствами, изготовлением изделий машиностроения, приборостроения, радиоэлектроники, сельским хозяйством, пищевой промышленностью и т. п., а также с автоматизированным управлением различными объектами, к которым относятся самолеты, корабли (надводные и подводные), ракеты, транспортные средства, оружие, различные двигатели, турбины, станки и т. п.

Процессы, происходящие в технических системах, имеют высокие скорости и требуют малого времени для управления. Степень участия человека в управлении этими процессами определяется их эргономическими показателями. Человеку обычно поручается управление относительно медленными процессами, а также контроль и наблюдение за работой системы. В управлении системой человек начинает принимать участие, если замечаются отклонения от нормального хода процесса (нештатные ситуации).

Процессы, происходящие в *организационных* системах, определяются должностными инструкциями, которые описывают взаимодействие людей в иерархии управления. Это процессы планирования по обеспечению материалами и комплектующими, диспетчеризация производственных процессов и т. п. Технические средства в этих системах призваны облегчить рутинный труд, уменьшить число людей, участвующих в процессе управления, и повысить качество и оперативность управления процессом. Временные характеристики этих процессов имеют существенно большие величины, на несколько порядков превосходящие величины технических систем. Время, затрачиваемое на управление ходом процесса организационных систем, может составлять часы, сутки. Однако требования по получению информации в этих системах должны выполняться в течение нескольких секунд. В технических системах время реакции на изменения процесса составляет миллисекунды, секунды.

Организационные системы используются в различных сферах жизни общества, например в административном

управлении, банковском деле, медицине, социальных организациях, налоговых службах, планировании, торговых организациях и т. п.

## 2.2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯМ К АЛГОРИТМАМ ПРОЦЕССА

Характеристики процессов определяются их предметной областью, алгоритмами и условиями работы и требованиями безопасности.

Началом создания любой системы является разработка алгоритма процесса и методов управления им. *Алгоритм управления процессом* представляет собой описание последовательности выполнения операций во времени и необходимых действий, которые требуется выполнять при отклонениях показателей процесса от нормы для обеспечения качества продукта и безопасности. В алгоритме предусматриваются временные интервалы контроля состояния процесса и их изменение при отклонении от нормы.

Алгоритмы управления процессом могут быть представлены в виде математических и логических выражений, набором предельных условий, вербальным описанием процесса.

Работоспособность создаваемой системы во многом определяется выбранным алгоритмом управления процессом. Алгоритмы управления должны наиболее полно отражать изменение процесса и наилучшим образом использовать данные, представляющие его состояние.

Для обеспечения надежного управления важно, чтобы данные о состоянии или течении процесса были функционально связаны друг с другом. Это дает возможность осуществлять контроль за ходом процесса и работой датчиков, выдающих информацию. Для повышения надежности работы системы часто вводится избыточность используемых данных, хотя и увеличиваются объемы обрабатываемой информации.

Алгоритмы управления должны быть устойчивы к случайным отклонениям и ошибкам. Желательно для управления процессом использовать *итерационные* алгоритмы, которые дают возможность контролировать ход вычислений и исправлять случайные ошибки, а также обнаруживать



аппаратурные неисправности. Выбор алгоритмов процессов и управления зависит от их погрешностей, характеристик вычислительных ресурсов, разрядности чисел, производительности и объемов памяти, используемых в системе. Чем ниже требования к вычислительным ресурсам, тем более совершенны алгоритмы при одинаковых управляющих показателях, ниже затраты на производство и меньше себестоимость продукта системы.

Существует несколько видов погрешностей, наблюдаемых в системах.

*Погрешность входных данных*  $\delta x_{dj}$ , т. е. датчиков входной информации, участвующих в работе АСОИУ.

*Трансформированная погрешность*  $\delta y_{ti}$  — это погрешность выходных данных. Она получается в результате преобразования погрешностей входных данных и зависит только от характеристик алгоритмов и их устойчивости к изменениям входных данных.

*Методическая погрешность*  $\delta y_{mi}$  выдаваемых данных зависит от того, насколько выбранный алгоритм соответствует физическому процессу.

*Вычислительная погрешность*  $\delta y_{vi}$  выдаваемых данных определяется вычислительными методами, которые применяются при проведении расчетов по алгоритмам.

*Инструментальная погрешность*  $\delta y_{ni}$  зависит от арифметических операций и количества разрядов в числе.

Рассмотрим функциональные зависимости погрешностей от параметров системы.

Трансформированная погрешность  $\delta y_{ti}$  каждой выходной величины  $y_i$  определяется функцией  $F_i$ , связывающей погрешности  $\delta x_{dj}$  и величины  $x_{dj}$  у всех входных данных, участвующих в алгоритме:

$$\delta y_{ti} = f_i(\delta x_{d1}, \delta x_{d2}, \dots, \delta x_{dj}, x_{d1}, \dots, x_{dj}). \quad (2.1)$$

Для определения наибольшей погрешности выходных данных проводят расчеты по всем данным  $y_i$  с учетом наилучшего распределения входных величин  $x_{dj}$  и их погрешностей  $\delta x_{dj}$  и выбирают величину  $y_i$ , имеющую наибольшую погрешность.

Методическая погрешность  $i$ -й выходной величины  $\delta y_{mi}$  оценивается по отклонению расчетных значений принятого алгоритма описания процесса от измеренных физических значений его протекания. Она связана с входными величинами  $x_{dj}$  и определяется при проведении экспериментальных или научно-исследовательских работ:

$$\delta y_{mi} = f_i(x_{d1}, x_{d2}, \dots, x_{dj}). \quad (2.2)$$

При построении АСОИУ используют датчики информации, выпускаемые промышленностью, однако в некоторых случаях для уменьшения случайной погрешности применяют статистические методы обработки данных от нескольких датчиков, измеряющих одну величину.

Величины трансформированной и методической погрешностей во многом определяются уровнем развития промышленности, от которого зависит качество датчиков информации, и состоянием научно-исследовательских работ, которые влияют на соответствие алгоритмов физическим процессам.

Для выбора рациональных алгоритмов работы системы проводят оценку их методических ошибок с определением максимальных величин  $\delta y_{mi}$  для соответствующих входных данных  $x_{dj}$  и определяют максимальные трансформированные выходные ошибки алгоритмов  $\delta y_{tj}$  при выбранных данных  $x_{dj}$  с их ошибками  $\delta x_{dj}$ . Величина отношения максимальных ошибок  $\delta y_{mi}/\delta y_{tj}$  у близких алгоритмов системы оценивает рациональность созданных алгоритмов. В среднем это отношение оценивается несколькими единицами.

Рассмотрим вопрос определения количества двоичных разрядов для чисел, участвующих в решении алгоритмов.

Для этого на основании принятых алгоритмов системы анализируют по точности и величине изменений входные  $\delta x_{dj}$  и  $\Delta x_{dj}$  и выходные  $\delta y_{ti}$  и  $\Delta Y_{ti}$  данные. Диапазон изменения  $j$ -й входной величины  $x_j$ :

$$\Delta x_{dj} = x_{dj2} - x_{dj1},$$

где  $x_{dj2}$  — наибольшая входная величина  $d_j$ ;  $x_{dj1}$  — наименьшая входная величина  $d_j$ .

Далее выбирают входные данные с максимальным диапазоном изменения:

$$D_{\max x} = \frac{x_{dj2} - x_{dj1}}{\delta x_{dj}} = \frac{\Delta x_{dj \max}}{\delta x_{dj}} \quad (2.3)$$

или выходные

$$D_{\max y} = \frac{\Delta y_{i \Gamma \max}}{\delta y_{ti}} \quad (2.4)$$

Количество двоичных разрядов в числе ( $P_1$ ) определяется по величине диапазона:

$$|P_1| = \log_2 D_{\max} \quad (2.5)$$

Число разрядов  $P_1$  округляется до большего.

Погрешность датчиков информации в большинстве случаев является случайной и подчиняется вероятностному закону Гаусса.

Погрешность датчика в этом случае принимается равной

$$\delta_i = (1 \pm 0,5) \delta_{xi}, \quad (2.6)$$

где  $\delta_{xi}$  — среднеквадратическое отклонение погрешности величины  $x_{dj}$ .

Вычислительную и инструментальную погрешности выбирают такими, чтобы они практически не оказывали влияние на методическую и трансформированную погрешности.

Данные, получаемые с источников информации и используемые в алгоритмах задач, должны иметь метрологическое обеспечение, т. е. должны быть предусмотрены средства и методики для проверки погрешности и идентичности их измерений.

Уменьшение вычислительной и инструментальной погрешностей непосредственно связано с величинами затрат на построение системы. Так, снижение *вычислительной* погрешности, которое определяется применением более сложных вычислительных методов, увеличивает объем вычислений и требуемую скорость работы вычислительных средств.

Уменьшение *инструментальной* погрешности непосредственно связано с увеличением разрядности вычислительной машины.

При использовании представления чисел с *фиксированной* запятой для исключения возрастания погрешностей, связанных с масштабированием и операцией умножения, число разрядов увеличивают.

Вычислительная погрешность зависит от сложности вычислительных алгоритмов и объема вычислений и является функцией количества операций в цепочке расчетов, которые выполняются с округлением (умножение, деление, сдвиги). Для практического исключения влияния округления при выполнении операции умножения число разрядов  $P_1$  увеличивают в 2...2,5 раза, что также уменьшает влияние погрешностей округления операций деления и сдвигов. Общее количество разрядов числа — мантиссы, которое обеспечивает необходимую (допустимую) точность расчетов для чисел с фиксированной запятой, оценивается выражением

$$P_m = P_1(2...2,2). \quad (2.7)$$

Использование чисел с *плавающей* запятой — чисел с порядками — упрощает процесс программирования для обеспечения точности вычислений (исключаются масштабные коэффициенты). Однако, как показал опыт создания программ алгоритмов, при использовании чисел с порядками для получения устойчивых результатов вычислений (без ошибок) необходимо выполнение определенных соотношений между данными.

Для исключения неустойчивых результатов вычислений все величины данных при расчетах должны лежать в диапазоне  $d_{мп}$ . Диапазон  $d_{мп}$  — изменение переменной величины, определяется разрядностью мантиссы  $P_m$  при заданной погрешности  $\delta_x$  или  $\delta_y$ :

$$d_{мп} = 2^{P_m}. \quad (2.8)$$

Количество разрядов для чисел с порядками определяется суммой

$$P_{п} = P_m + P_{пп}, \quad (2.9)$$

где  $P_{пп}$  — количество разрядов в числе порядков:

$$P_{пп} = \log_2 P_m. \quad (2.10)$$

Приведенные оценки являются предварительными и требуют обязательного уточнения. Поэтому для проверки алгоритмов широко используются расчеты на универсальных машинах, которые дают возможность оценить требования к точности как используемых алгоритмов, так и используемых данных, определенных количеством разрядов в мантиссе.

По уточненным данным цифрового моделирования определяются требования к разрядности вычислительных средств. Разрядность цифровых средств (микропроцессоров, контроллеров, вычислительных машин) нормирована и имеет следующие значения разрядности чисел: 8, 16, 32 и 64 разряда. Количество разрядов цифрового средства выбирается из приведенного ряда нормированием полученного значения большим числом.

*Моделирование* динамических процессов обеспечивает проверку выбранной частоты преобразования аналоговой информации в цифровую для получения требуемой точности расчетов.

В процессе эксплуатации обычно появляются предложения по совершенствованию системы, приводящие к сокращению удельных затрат на выпускаемый продукт, улучшению его качества и увеличению длительности жизни системы. Для реализации этих предложений проводят *модернизацию* системы. Сокращение затрат на модернизацию связано со структурой построения алгоритмов, в которой должны предусматриваться возможности изменения, исключения отдельных частей алгоритмов, а также введения новых без существенных переделок системы.

Важным требованием к системе является *безопасность* ее *эксплуатации*. Это требование реализуется специальными мерами, связанными с применением особых алгоритмов управления, дополнительных датчиков информации и аппаратуры, которые исключают возможности влияния неисправностей и ошибок на создание аварийных ситуаций. Эти меры должны предусматриваться при проектировании технических систем.

В технических и организационных системах необходимы меры по *защите информации*, находящейся в си-

стемах. Эти меры обеспечивают возможность управления системой и получение информации только определенными лицами. Для реализации этих требований по защите применяются различные способы: от использования паролей до криптографической защиты информации; от механических средств, закрывающих доступ к управляющим устройствам, до введения контроля за сотрудниками, имеющими доступ к системе.

### **2.3. РАЗДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМА ПРОЦЕССА НА ПОДСИСТЕМЫ**

При проектировании систем управления сложными процессами для удобства эксплуатации и организации работы алгоритм системы обычно делят на подсистемы. Это дает возможность учитывать специфику работы отдельных частей системы и требований к их аппаратуре, создает условия для параллельного выполнения работы большим числом разработчиков и сокращения времени создания системы.

Деление алгоритма внутри подсистемы на части определяется отдельными требованиями к быстройдействию, контролю, организации обмена.

Рассмотрим основные положения, которым необходимо следовать при распределении алгоритмов по подсистемам.

1. Алгоритм подсистемы должен удовлетворять следующим условиям:

- 1) алгоритм задачи, решаемой подсистемой, должен иметь минимальное число связей с остальными подсистемами как по количеству цепей передачи данных, так и по объему и времени обмена данными, иметь автономный контроль работоспособности;
- 2) алгоритм должен соответствовать требованиям к аппаратуре подсистемы как по условиям работы, так и по надежности и правильности работы, а также допускать возможность использования аппаратуры, выпускаемой промышленностью и имеющейся в продаже.

2. Деление алгоритма системы на алгоритмы подсистем в ряде областей связано с традиционным распределением

зон ответственности и специфики работы, которые необходимо учитывать. Например, система управления кораблем делится на подсистемы управления навигацией, двигателями, связью и т. п.

3. При делении на подсистемы необходимо учитывать сложность их алгоритмов, которые определяют длительность и затраты на создание программного обеспечения (ПО) подсистемы. Близкие объемы ПО подсистем при одновременном их изготовлении способствуют сокращению времени на создание системы.

Например, блок-схема деления системы на подсистемы может иметь вид, показанный на рис. 2.1. Система имеет пять входных каналов (1–5), по которым подаются данные. Каждый канал передает определенные величины, имеющие заданное число разрядов и время или частоту поступления.

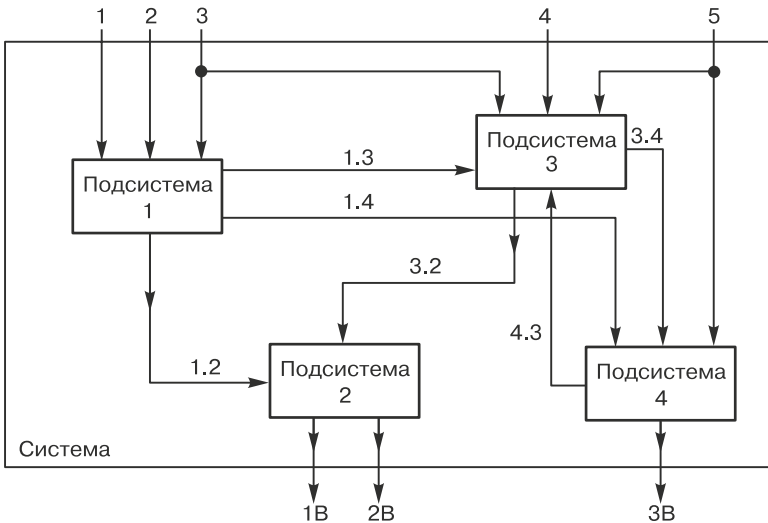


Рис. 2.1

Система имеет три выходных канала (1В, 2В, 3В), по которым производится выдача выходных данных. Число выходных данных, поступающих по каждому каналу, их разрядность и период выдачи определены решаемым алгоритмом.

Разделим систему на четыре подсистемы. Каждая характеризуется числом входных данных, которые делятся на внешние, т. е. поступающие в систему извне, и внутренние, поступающие от подсистем системы, и числом выходных данных, которые могут быть внешними, т. е. выдаваемыми из системы, и внутренними, которые выдаются в подсистемы.

Подсистема 1 имеет внешние входные данные 1, 2, 3 и внутренние выходные данные 1.3, 1.4, 1.2.

Подсистема 2 имеет внутренние входные данные 1.2, 3.2 и внешние выходные данные 1В, 2В. Подсистема 3 имеет внешние входные данные 3, 4, 5 и внутренние — 4.3, 1.3 и выходные данные 3.2, 3.4.

Подсистема 4 имеет внешний вход 5, внутренние 1.4 и 3.4 данные, выходные внешние 3В и внутренние 4.3 данные.

Приведенные данные по количеству связей в системе и между подсистемами можно представить в виде матрицы, состоящей из трех частей. Первая часть — внешние входы в систему, вторая — внешние выходы из системы, третья — внутренние связи между подсистемами (рис. 2.2).

Подсистема	Внешние входы					$\sum B_{j\text{вх}}$	Внешние выходы			$\sum B_{j\text{вых}}$	$N_{\text{впс}i}$	Внутренние связи				$\sum B_{\text{кв}}$	$\sum N_{\text{пс}i}$
	1	2	3	4	5		1В	2В	3В			1	2	3	4		
1	1	1	1	0	0	3	0	0	0	0	3		1	1	1	3	6
2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	1		1	0	2	4
3	0	0	1	1	1	3	0	0	0	0	3	1	1		2	4	7
4	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	2	1	0	2		3	5
$N_c = \sum_{i=1}^4 N_{\text{впс}i} =$											10						

Рис. 2.2



Общее число внешних связей у системы:

$$N_c = \sum_{j=1}^4 N_{\text{впс}i}, \quad (2.11)$$

где  $N_{\text{впс}i}$  — количество внешних связей у  $i$ -й подсистемы:

$$N_{\text{впс}i} = \sum_{j=1}^3 B_{j\text{вх}} + \sum_{l=1}^3 B_{l\text{вых}}, \quad (2.12)$$

где  $B_{j\text{вх}}$  — количество  $j$  внешних входных связей у  $i$ -й подсистемы;  $B_{l\text{вых}}$  — количество  $l$  внешних выходных связей у  $i$ -й подсистемы.

Определим количество связей у каждой подсистемы:

$$N_{\text{пс}i} = N_{\text{впс}i} + \sum_{k=1}^4 B_{k\text{в}}, \quad (2.13)$$

где  $B_{k\text{в}}$  — количество  $k$  внутренних связей у  $i$ -й подсистемы.

Каждая связь характеризуется объемом передаваемой информации (количеством данных и их разрядностью) и цикличностью ее передачи. В ряде случаев поступление внешней информации может задаваться частотой или временем передачи данных и периодом их повторения. Возможны подобные требования и к выходной информации.

При создании системы управления деление ее алгоритма на алгоритмы подсистем — весьма важное и ответственное решение, так как оно определяет взаимоотношение между персоналом, который работает на подсистемах, с построением аппаратуры и ее производством.

Рациональное распределение алгоритма между подсистемами сокращает затраты на их эксплуатацию и способствует повышению эффективности работы. Затраты на изготовление системы, состоящей из подсистем, их совместная отладка и проверка во многом определяются приведенными положениями о разделении алгоритма системы на подсистемы.

## 2.4. ДЕКОМПОЗИЦИЯ АЛГОРИТМА ПОДСИСТЕМЫ

Следующим шагом в проектировании подсистем является связанное с программированием разделение каждой подсистемы на части. Это действие получило название *декомпозиции*.

Проведем анализ построения программного обеспечения вычислительных средств, линий обмена данными и средств индикации и управления подсистем. В первую очередь рассмотрим вопросы декомпозиции алгоритма подсистемы управления на частные алгоритмы и далее на модули. Программное обеспечение решения частных алгоритмов, состоящих из модулей, является основой для определения требуемой скорости их выполнения и объемов памяти. Эти показатели необходимы для выявления основных характеристик вычислительных средств.

Декомпозиция алгоритма подсистемы на частные алгоритмы и далее на модули проводится для сокращения сроков создания программ и уменьшения затрат на контроль их работоспособности. Кроме того, при декомпозиции алгоритма подсистемы анализируются возможности их параллельного выполнения для организации мультимашинной или мультипроцессорной работы (рис. 2.3).

При декомпозиции алгоритма подсистемы на частные алгоритмы и далее на модули необходимо учитывать ряд положений.

1. Частный алгоритм и модуль должны представлять логически завершенную часть программы, которая:

- 1) имеет минимальное число связей с остальными частными алгоритмами, модулями;
- 2) требует минимальных затрат на контроль работоспособности и тесты для проверок;
- 3) программы отдельных частных алгоритмов и модулей могут выполняться независимо друг друга, т. е. параллельно.

2. Желательно, чтобы объемы программ частных алгоритмов и модулей были близки по величине. Это упрощает организацию разработки программного обеспечения и при параллельной разработке программ сокращает время его создания.

3. Возможность применения существующих проверенных программ частных алгоритмов. Хотя использование этих программ может увеличивать ПО подсистемы и повышать требования к скорости и объемам памяти, однако,

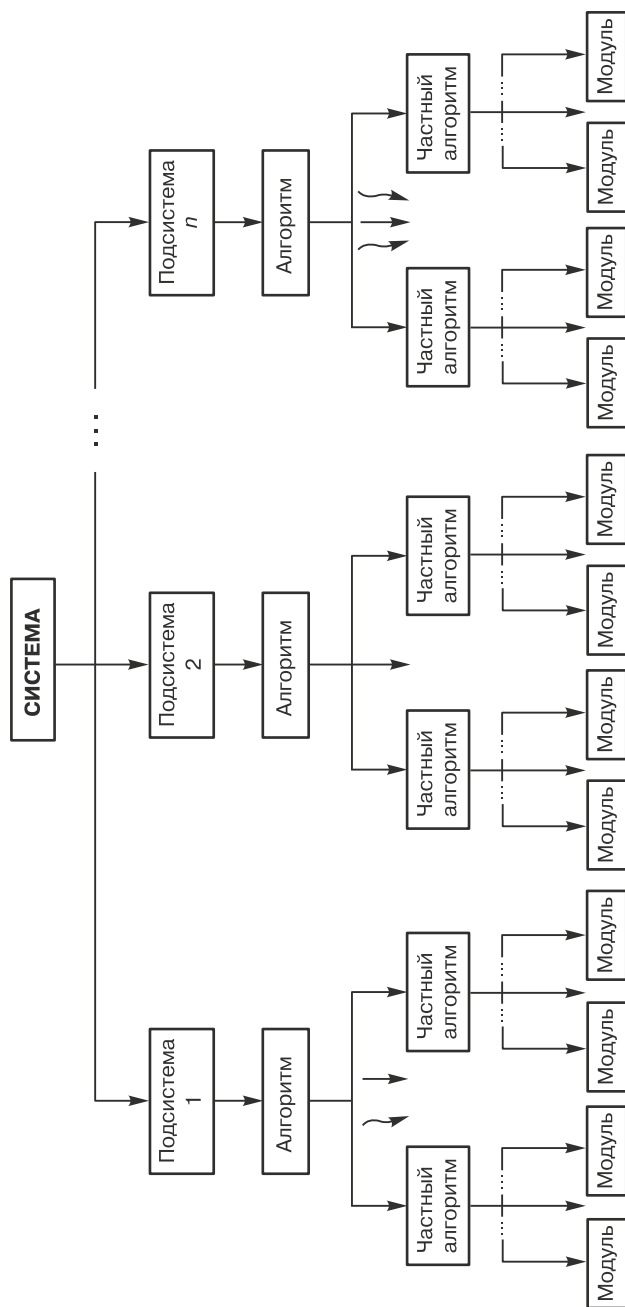


Рис. 2.3

если это приводит к сокращению времени создания ПО, необходимо учитывать эти возможности.

Рассмотрим структурную схему декомпозиции алгоритма подсистемы на частные алгоритмы. Для примера проведем анализ декомпозиции одной подсистемы.

Структурная схема частных алгоритмов подсистемы 4 приведена на рис. 2.4 и в таблице на рис. 2.5.

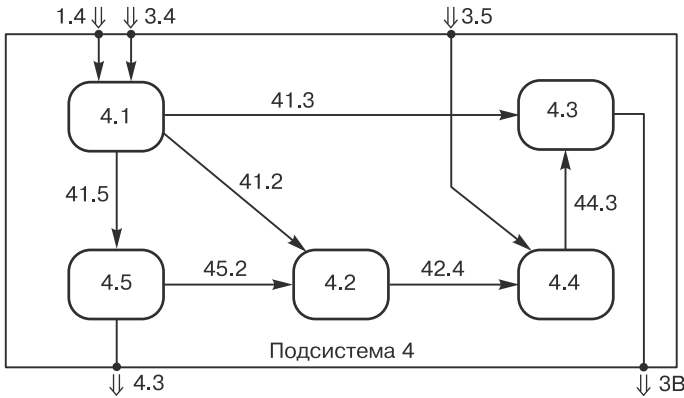


Рис. 2.4

Частный алгоритм	Внешние входы			$\sum B_{\text{вх}}$	Внешние выходы		$\sum B_{\text{вых}}$	$N_{\text{всч}}$	Внутренние связи					$\sum B_{\text{кв}}$	$\sum N_{\text{псч}}$	
	1.4	3.4	5		4.3	3B			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5			
4.1	1	1	0	2	0	0	0	2	1	1	0	1	3	5		
4.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	3		
4.3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	2	3		
4.4	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	2	3		
4.5	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	2	3		
$N_{\text{всч4}} =$								5								

Рис. 2.5

Матрица (см. рис. 2.5) представляет все связи подсистемы и дает возможность определять входы и выходы частных алгоритмов.

В зависимости от объема программы каждого частного алгоритма, его можно представить в виде структурной схемы, состоящей из модулей. Методика построения структурной схемы связей модулей частного алгоритма аналогична методике построения структурной схемы частных алгоритмов подсистемы.

Каждый частный алгоритм может состоять из определенного числа модулей. Модуль представляется дугой графа. Протяженность дуги соответствует величине выполняемой программы. На дуге модуля фиксируется необходимое число ячеек памяти для выполнения программы. Каждый модуль может иметь два входа и два выхода.

На рис. 2.6 приведены графы модулей каждого частного алгоритма подсистемы 4.

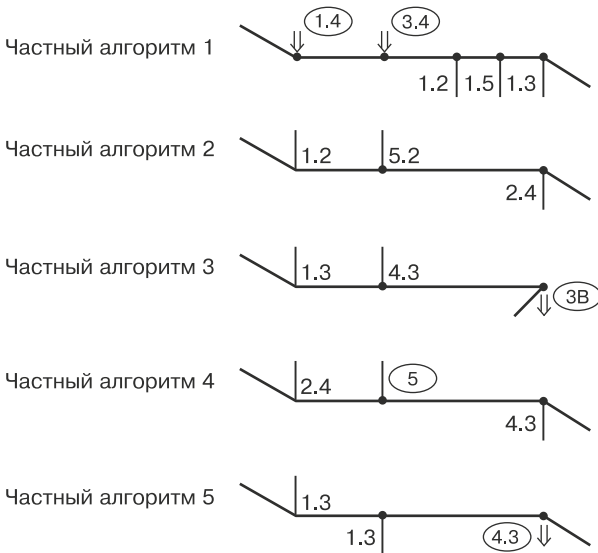


Рис. 2.6

Связи, поступающие из других подсистем в частный алгоритм, обозначаются двойными стрелками с номером подсистемы в кружке. Связи, выходящие из частного алгоритма

и подсистемы, также обозначаются двойными стрелками и номером в кружке, показывающим, в какую подсистему они направляются. Стрелки над графами показывают входящие данные; стрелки под графом показывают выходящие данные из частного алгоритма.

Для оценки требуемых скоростей выполнения частных алгоритмов и модулей подсистемы строят временную диаграмму работы подсистемы.

## 2.5. ПОСТРОЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ ДИАГРАММЫ РАБОТЫ

Временная диаграмма работы подсистемы определяется выполняемыми ею задачами, т. е. их алгоритмами.

Известны следующие основные виды временных диаграмм работы подсистем.

*Циклическая временная диаграмма* периодически повторяется в процессе работы подсистемы. Различают диаграммы:

- 1) с постоянным периодом повторения  $t_{ц1}$  в течение всей длительности работы подсистемы (рис. 2.7, а);
- 2) с переменным периодом повторения  $t_{цi}$ , зависящим от выполняемых задач (рис. 2.7, б).

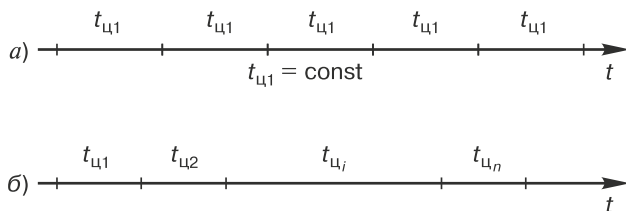


Рис. 2.7

*Апериодическая временная диаграмма* выполняется один раз при каждом включении подсистемы.

*Смешанная временная диаграмма* — когда в аperiодической диаграмме имеются участки с циклической диаграммой.

Вид временной диаграммы определяется задачей, решаемой подсистемой.

Для задач, связанных с управлением процессами, длительность работы которых строго не регламентирована, широко применяются циклические временные диаграммы. Это процессы слежения за объектами, состоянием производства, электроснабжения; процессы управления перемещением груза, полетом самолета, работой предприятия и т. п.

Апериодические и смешанные временные диаграммы используются при управлении разовыми процессами. Например, процессы посадки самолета, запуска ракеты и т. п.

Построение временной диаграммы после определения ее вида начинается с выяснения времени поступления данных, которые приведены в структурной блок-схеме подсистемы и времени выдачи данных из подсистемы. Интервалы между этими событиями и представляют время, которое используется для выполнения программы частных алгоритмов и их модулей.

Для циклической временной диаграммы необходимо выбрать цикл или интервал времени, в течение которого проводятся вычисления по частным алгоритмам и их модулям. Этот интервал времени определяется процессом управления. Его величина в технических системах определяется физическими характеристиками процесса, а в организационных — условиями работы организации.

В технических подсистемах временной цикл может принимать значения от 1 мкс до нескольких десятков секунд. Например, цикл обработки информации, поступающей с обзорной радиолокационной станции, может изменяться от 2 до 10...15 с.

В организационных подсистемах временной цикл может составлять десятки минут и несколько часов, однако время выдачи данных по запросам пользователей должно быть не более 2...5 с.

На временной диаграмме (рис. 2.8) приведены времена поступления и выдачи из подсистемы данных в цикле ее работы  $t_{ц}$ . На рис. 2.9 показана привязка частных алгоритмов к поступающим и выдаваемым данным.

Длительность выполнения каждого частного алгоритма примем пропорциональным числу выполняемых команд.

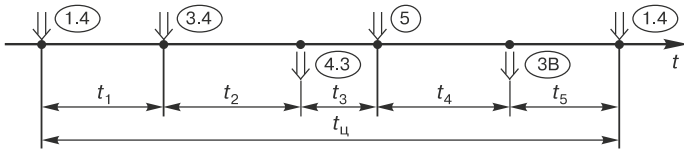


Рис. 2.8

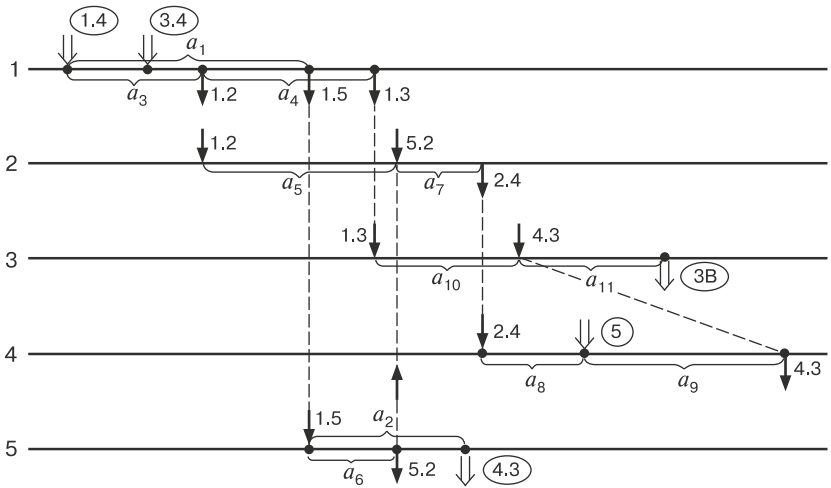


Рис. 2.9

Число выполняемых команд программы всегда больше числа записанных и зависит от характера алгоритма.

Входные данные, поступающие в подсистему, на диаграмме представим двойными стрелками, находящимися *над* осью времени.

Выходные данные, выдаваемые из подсистемы, также представляются стрелками, находящимися *под* осью времени. Числа, установленные в кружках около стрелок, показывают связи передаваемых данных между номерами частных алгоритмов, а для входных и выходных данных — связи с номерами подсистем.

Построим граф-схему частных алгоритмов и их модулей, предусматривающую логические связи между ними. Определим цепочки модулей частных алгоритмов, участвующих в выработке выходных данных.



1. Цепочка модулей, участвующих в получении данных

4.3):

1.4), 3.4), 1.5), 4.3).

2. Цепочка модулей, участвующих в получении выходных данных 3В):

1.4), 3.4), 1.2, 1.5, 5.2, 2.4, 5), 1.3, 4.3, 3В).

Оценим средние скорости выполнения команд. Для этого определим суммы исполняемых команд в цепочках модулей, обозначив их  $a_1$  и  $a_2$ , и время проведения этих вычислений. Средняя скорость, необходимая для получения данных 4.3), будет:

$$\frac{a_1 + a_2}{t_1 + t_2} = V_{4.3}.$$

Средняя скорость для получения данных ответа 3В) определяется в виде:

$$\frac{a_3 + a_5 + a_7 + a_8 + a_9 + a_4 + a_{10} + a_{11}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} = V_{3В,3}.$$

Средняя скорость для ответа 3В) после получения данных 5):

$$\frac{a_9 + a_{11}}{t_4} = V_{3В}.$$

Средняя скорость для получения данных до получения данных 5)

$$\frac{a_3 + a_5 + a_7 + a_8}{t_1 + t_2 + t_3} = V_4.$$

Для дальнейших расчетов используется максимальная скорость, выбранная среди значений скоростей  $V_{4.3}$ ,  $V_{3В,3}$  и  $V_{3В}$ . Величины  $a_1, a_2, \dots, a_{11}$  представляют количество выполняемых команд в модулях с учетом выполнения циклов.

Для выбранной максимальной скорости выполнения команд на определенном участке программы необходимо определить среднюю скорость работы вычислительных средств. Ее определение для решения задачи или части программы требует знания времени выполнения каждого вида команды предполагаемого к использованию вычислительного сред-

ства и количества этого вида команд у анализируемой части программы решения задачи.

Среднюю скорость работы вычислительного средства для рассматриваемой части программы запишем в виде:

$$V_{\text{в}} = \frac{1}{1+\gamma} (V_k + V_g \gamma), \quad (2.14)$$

где  $V_k = 1/t_k$  — скорость выполнения «коротких» команд (сложения, вычитания, передачи и т. п.);  $t_k$  — время выполнения «короткой» команды;  $V_g = 1/t_g$  — скорость выполнения «длинных» команд (умножение, деление, сдвиги);  $t_g$  — время выполнения «длинной» команды;  $\gamma = N_g/N_k$ ;  $N_g, N_k$  — количество «длинных» и «коротких» команд в выполняемой программе.

Для определения требований к скорости выполнения «коротких» и «длинных» команд используем их отношение, которое характеризует построение вычислительного средства:

$$\beta = \frac{V_k}{V_g} = \frac{t_g}{t_k}.$$

Решая систему уравнений

$$\begin{cases} V_{\text{в}} = \frac{1}{1+\gamma} (V_k + V_g); \\ \beta = \frac{V_k}{V_g}, \end{cases}$$

получим зависимость скорости коротких и длинных команд от характеристики программы и вычислительного средства:

$$V_k = V_{\text{в}} \frac{1+\gamma}{\beta + \gamma} \beta; \quad V_g = \frac{V_k}{\beta}. \quad (2.15)$$

При определении требуемого быстродействия, или скорости решения задачи, необходимо предусмотреть запас быстродействия для проведения контроля вычислений.

При программных методах контроля обычно увеличивают требования к быстродействию в 0,5...3,0 раза. При аппаратных методах контроля увеличение быстродействия оценивают в 0,1...0,2 раза.

Предварительная оценка увеличения быстродействия вычислительного комплекса (ВК) с учетом контроля:

$V'_{\text{BK}} = V_{\text{B}}(1,5...4,0)$  — программный контроль;

$V''_{\text{BK}} = V_{\text{B}}(1,1...1,2)$  — аппаратный контроль.

Для учета затрат на работу операционной системы (ОС) на начальном этапе проектирования можно пользоваться процентной оценкой затрат на быстродействие ОС.

Запишем требования к скорости работы вычислительных средств:

$$V'_B = V_{\text{BK}} \left( 1 + \frac{c}{100} \right), \quad (2.16)$$

где  $c$  — доля скорости работы вычислительных средств, приходящаяся на работу ОС, %. Эта доля зависит от универсальности ОС. Чем выше универсальность, тем больший процент скорости вычислительных средств расходуется на работу ОС. Для универсальной ОС он составляет 60...80%, а для специализированной — 10...20%.

Для некоторых вычислительных систем необходимо оценивать влияние времени обмена данными на скорость работы вычислительных средств. Влияние объема обмениваемых данных на среднюю скорость работы можно оценить, используя среднее время, необходимое для проведения обмена словом и данными, которые поступают и выдаются в цикле работы подсистемы.

Средняя скорость вычислительных средств, необходимая для обмена, равна

$$V_0 = \frac{M_0}{t_0}, \quad (2.17)$$

где  $M_0$  — количество обмениваемых данных в цикле работы подсистемы;  $t_0$  — среднее время, необходимое для проведения обмена одним словом. Это время можно определить из выражения

$$t_0 = N_0 t_{k0}, \quad (2.18)$$

где  $N_0$  — число команд, используемых для обмена одним словом;  $t_{k0}$  — среднее время выполнения команды при обмене одним словом.

Суммарная скорость вычислительных средств

$$V_{\Sigma} = V'_B + V_0. \quad (2.19)$$

При одновременном выполнении обменов данными и проведении вычислений по программе эти затраты не учитываются, так как не влияют на производительность вычислительных средств.

Объем памяти, т. е. количество слов, которое можно в нее поместить, состоит из двух частей. Первая — это объем памяти, требуемый для хранения данных как в процессе вычислений, так и при приеме и выдаче для управления и индикации. Вторая часть — это объемы памяти, предназначенные для хранения программ вычислений по алгоритмам, тестов для проверки работы частей и всей системы, программ управления работой системы в различных режимах и при резервировании ее вычислительных средств, а также для операционной системы.

Объем первой части памяти определяется при анализе алгоритмов и оценивается числом входных и выходных данных. В ряде систем предусматривается хранение входных и выходных данных в течение определенного времени для восстановления вычислений при сбоях и резервирования.

Оценим объем памяти каждой частной задачи:

$$M_i = M_{\text{вх}i} \beta_1 + M_{\text{вых}i} \beta_2 + M_{0i}, \quad (2.20)$$

где  $M_{\text{вх}i}$  — число входных данных (слов)  $i$ -й задачи;  $M_{\text{вых}i}$  — число выходных данных  $i$ -й задачи;  $\beta_1 = 2 \dots 3$  — коэффициент, учитывающий необходимость хранения входных данных при резервировании и анализе;  $\beta_2 = 1 \dots 2$  — коэффициент, учитывающий необходимость хранения выходных данных для их анализа;  $M_{0i}$  — число ячеек памяти, используемых в процессе работы программы.

Общий объем первой части памяти для выполнения программы задачи равен

$$M_3 = \sum_{i=1}^n (\beta_1 M_{\text{вх}i} + \beta_2 M_{\text{вых}i}) + \beta_3 \sum_{i=1}^n M_{0i}, \quad (2.21)$$

где  $n$  — число частных задач в общей задаче системы;  $\beta_3$  — коэффициент, учитывающий одновременность решения частных задач. При высокой одновременности использова-

ния ячеек памяти  $\beta_3$  может приближаться к 1, в большинстве случаев  $\beta_3 = 0, 2 \dots 0, 3$ .

Объем второй части определяется суммарным числом команд, необходимых для ведения программы системы и выполнения тестовых режимов работы системы и ее частей, а также для управления контролем и резервированием.

Общий объем второй части памяти

$$M_{\Pi} = \sum_{i=1}^n M_{\Pi i} + M_{\text{ос}} + M_{\text{т}} + M_{\text{у}} + M_{\text{б}}, \quad (2.22)$$

где  $M_{\Pi i}$  — число команд в записанной программе решения  $i$ -й частной задачи на машинном языке;  $M_{\text{ос}}$  — число команд в ОС;  $M_{\text{т}}$  — число команд в тестовых программах систем;  $M_{\text{у}}$  — число команд в программе ОС и управляющих программах системы;  $M_{\text{б}}$  — число данных в базах.

Общий объем оперативной памяти вычислительных средств

$$M_{\text{с}} = M_{\text{з}} + M_{\Pi}. \quad (2.23)$$

В некоторых системах необходимо хранить большие массивы данных, требуемых для работы. Это, в основном, организационные системы. Для хранения используется память на жестких магнитных дисках, и ее размеры оцениваются в байтах. Объемы хранимых данных определяются решаемыми задачами и могут оцениваться мега- и гигабайтами.

## 2.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ И ПРАВИЛЬНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ И УРОВНЮ АВТОМАТИЗАЦИИ

Важной задачей построения структуры системы является обеспечение требуемой или необходимой надежности ее работы.

Надежность работы *системы* оценивается интервалом времени между выдачей единиц продукта, соответствующего заданным требованиям.

Надежность работы *аппаратуры* определяется либо надежностью работы наихудшего комплектующего элемента, либо надежностью работы соединений — цепей связи элементов и линий передачи данных.

Надежность *программного обеспечения* определяется качеством отладки программ, т. е. отсутствием ошибок.

В ряде случаев, кроме надежности работы, необходимо обеспечить живучесть системы. Под *живучестью* будем понимать способность системы выполнять «определенные функции» при нарушениях или выведении из строя ее частей и линий передач данных, вызванных внешними воздействиями. Иногда «определенные функции» уточняются совместно заказчиком и разработчиком, при этом состав функции часто несколько уменьшают по сравнению со штатной системой.

Выполнение основных функций в управляющей системе определяется получением правильных безошибочных данных. При этом предполагается, что алгоритм управления и программы, его реализующие, не имеют ошибок, так как прошли соответствующие проверки. Подобная особенность работы системы оценивается специальной характеристикой — правильностью ее работы.

*Правильность* работы системы определяется величиной интервала времени между появлениями неправильных данных на ее выходе. Правильность работы непосредственно связана с качеством контроля работы и надежностью аппаратуры. Появление ошибочных, т. е. неправильных данных на выходе системы зависит от выхода из строя элемента системы или появления сбоя (неправильных данных) в результате помех. Для определения неправильных данных в системе предусматривается контроль работы ее аппаратуры. Контроль может проводиться с применением:

1) дополнительных программ, использующих команду сравнения вычислительных устройств, т. е. программный метод контроля;

2) специальной аппаратуры, т. е. аппаратурный метод контроля;

3) комплексного использования двух указанных способов контроля.

Правильность информации цифровой системы оценивается зависимостью

$$D_c = TK, \quad (2.24)$$

где  $T$  — надежность работы аппаратуры, участвующей в контроле, т. е. время работы между ее выходами из строя;  $K$  — коэффициент качества метода контроля, который представляется отношением количества ошибок, выявленных контролем, к максимальному количеству ошибок; коэффициент качества метода контроля имеет диапазон  $1 > K > 0$ . Чем лучше контроль, тем больше  $K$ . Коэффициент контроля качества — детерминированный показатель.

На основании достигнутого уровня надежности в производстве элементов и систем оценивают пути выполнения определенных или поставленных требований к новой системе.

Задача обеспечения надежности, правильности и живучести в системе решается введением резервирования. Это путь сокращения времени на выполнение поставленных условий по надежности по сравнению с проведением работ по повышению надежности комплектующих элементов или разработкой специальных схем. Однако использование резервирования увеличивает объем аппаратуры и затраты на эксплуатацию системы. Кроме того, введение резервирования усложняет систему, так как появляются схемы контроля работы устройств и их переключения, устройство управления резервом, а также специальные программы анализа неисправностей и управления резервированием.

Рациональный выбор исходных величин по надежности работы системы, уровню ее автоматизации для некоторых систем управления связан с габаритно-массовыми характеристиками. Решения задач управления процессом производства продукта заданного качества и требуемого объема должны обеспечивать минимизацию затрат на производимый продукт.

Надежность работы системы управления в большинстве случаев определяется на основе минимизации затрат на производимый продукт. Эту надежность назовем *необходимой*. Однако возможно особое задание надежности работы системы, связанное с условиями ее использования или эксплуатации. Эту надежность назовем *требуемой*. Требуемая надежность задается в большинстве случаев для военных систем.

Методы обеспечения надежности выбираются на основе достигнутых в промышленности уровней надежности используемых комплектующих изделий и характеристик их быстродействия, а также технологий изготовления и контроля приборов системы.

Надежность работы системы или устройства будем оценивать частотой выхода их из строя  $\omega_c$  или длительностью правильной работы  $T_c$ , определяемой надежностью работы наилучшей части. Если требуемая надежность работы системы  $T_c$  (или частота выхода ее из строя  $\omega_c$ ) ниже фактически достигнутой промышленностью частоты выхода из строя  $\omega_1$ , то она обеспечивается с помощью резервирования. Оценка кратности резервирования определяется соотношением

$$p = \left| \frac{\omega_1}{\omega_c} \right| = \left| \frac{T_c}{T_1} \right|, \quad (2.25)$$

где  $p$  — кратность резервирования, которая обеспечивает требуемую надежность, т. е. частоту выхода из строя системы  $\omega_c$  или период  $T_c$ . Нормализация  $p$  производится в большую сторону.

Затраты на систему с учетом введения резервирования увеличиваются и оцениваются зависимостью

$$S_{\text{пн}} = pS_{\text{пн}}, \quad (2.26)$$

где  $S_{\text{пн}}$  — стоимость системы, которая использует выпускаемые промышленностью комплектующие изделия и имеет надежность  $\omega_c$  или  $T_1$  с учетом затрат на организацию резервирования.

На основании статистических данных  $S_{\text{пн}}$  в зависимости от частоты выхода из строя можно аппроксимировать следующими зависимостями:

$$S'_{\text{пн}} = \frac{d'_1}{1 + l'_1\omega_1} \quad (2.27)$$

или

$$S''_{\text{пн}} = d''_1 - l''_1\omega_1, \quad (2.28)$$

где  $d'_1$ ,  $l'_1$  и  $d''_1$ ,  $l''_1$  — коэффициенты аппроксимации, для определения которых необходимо использовать показатели  $S_{\text{пн}}$  и  $\omega_1$  систем, близких по объему аппаратуры и назначению.



Отметим, что система, построенная на существующих комплектующих изделиях, соответствует базовой системе, поэтому можно принять, что

$$S_{\text{пи}} = S_{\text{пб}}\gamma, \quad (2.29)$$

где  $\gamma$  — коэффициент, учитывающий затраты на резервирование.

Затраты на систему с учетом требований по надежности с резервом для двух вариантов ММ затрат на создание системы запишем в виде:

$$S_{\text{пи1}} = \frac{\omega_1}{\omega_c} F_1 F_2 \quad \text{и} \quad S_{\text{пи2}} = \frac{\omega_1}{\omega_c} F_3 \quad (2.30)$$

или

$$S_{\text{пи1}} = \frac{T_c}{T_1} F_1 F_2 \quad \text{и} \quad S_{\text{пи2}} = \frac{T_c}{T_1} F_3. \quad (2.31)$$

Рассмотрим влияние надежности работы системы на затраты по производству единицы продукта. Выходы системы из строя приводят к потерям этого продукта. Ранее при определении затрат на изготовление продукта величину потерь учитывали через стоимость системы. При дальнейшем проектировании будем использовать прямую зависимость потерь от величины ненадежности работы.

Затраты, определяемые потерями продукта от ненадежной работы системы, для автоматических систем оцениваются назначением системы; для автоматизированных систем, восстанавливаемых персоналом, предварительные затраты от потери продукта оценим количеством выходов из строя системы за период эксплуатации и объемом произведенного продукта:

$$S_{\text{по}} = \frac{t_{\text{эк}}}{T_c} \delta_m, \quad (2.32)$$

где  $\delta_m$  — статистическая оценка объема произведенного продукта при каждом выходе системы из строя.

Уменьшение частоты выхода из строя системы или увеличение  $T_c$ , т. е. повышение надежности ее работы, приводит к снижению потерь продукта.

Затраты на создание системы с учетом резервирования

$$S_{\text{пн1}} = \frac{\omega_1}{\omega_c} \frac{K_6 qa'}{(1 - M_6 mb') (1 + N_6 Пб'')} \frac{a''}{(2.33)}$$

или

$$S_{\text{пн2}} = \frac{T_c}{T_1} \frac{M_6 m K_6 qa}{(1 + N_6 Пб')}. \quad (2.34)$$

Рассмотрим эксплуатационные затраты на надежность работы  $S_{\text{эR}}$ , которые связаны с организацией работ по ее обеспечению. Раньше они оценивались величиной, пропорциональной стоимости системы. Учтем два фактора, влияющие на это: организацию эксплуатации системы и собственно надежность ее работы.

Первый фактор определяется затратами, связанными с каждым периодом подготовки аппаратуры системы к работе, тестовыми проверками и профилактическими работами —  $S_{\text{эRп}}$ . Второй фактор определяет частоту или период проведения работ по проверке аппаратуры системы. Он связан с надежностью системы  $\omega_c$  или  $T_c$ .

Для оценки влияния этих факторов определим суммарные затраты на обеспечение надежности за период жизни системы:

$$S_{\text{эR}\Sigma} = S_{\text{эRп}} t_{\text{п}} n, \quad (2.35)$$

где  $t_{\text{п}}$  — длительность проведения проверки аппаратуры и программных средств (т. е. профилактических работ);  $n = T_{\text{ж}} / (t_{\text{п}} + t_{\text{р}})$  — число рабочих периодов за время жизни системы;  $t_{\text{р}} = T_c = 1/\omega_c$  — длительность периода работы системы, обычно принимаемая меньшей, чем средний интервал времени работы системы без отказов. Проведем преобразование и перепишем уравнение (2.35) в виде

$$S_{\text{эR}\Sigma} = S_{\text{эRп}} t_{\text{п}} \frac{T_{\text{ж}}}{t_{\text{п}} + T_c} = S_{\text{эRп}} \frac{T_{\text{ж}}}{1 + T_c/t_{\text{п}}}. \quad (2.36)$$

Отношение  $T_c/t_{\text{п}}$  характеризует качество аппаратуры системы и организацию эксплуатации. Чем больше это отношение, тем эффективнее эксплуатируется система.

Учитывая, что величина  $T_c/t_{\Pi}$  всегда значительно больше единицы, можно записать:

$$S_{\text{э}R\Sigma} = S_{\text{э}R\Pi} \frac{T_{\text{ж}} t_{\Pi}}{T_c}. \quad (2.37)$$

Среднее значение затрат на обеспечение надежности имеет вид:

$$S_{\text{э}R} = \frac{S_{\text{э}R\Sigma}}{T_{\text{ж}}}, \quad S_{\text{э}R} = \frac{t_{\Pi}}{T_c} S_{\text{э}R\Pi}. \quad (2.38)$$

Примем, что затраты на тестовые проверки и профилактические работы для поддержания надежности работы системы пропорциональны объему аппаратуры системы или частоте выхода ее из строя.

Для нерезервированной системы

$$S_{\text{э}R\Pi} = \omega_1 d_1. \quad (2.39)$$

Для резервированной системы

$$S_{\text{э}R\Pi} = \omega_1 p d_1 \quad \text{или} \quad S_{\text{э}R\Pi} = \frac{\omega_1^2}{\omega_c} d_1, \quad (2.40)$$

где  $d_1$  — коэффициент, определяющий затраты на обслуживание аппаратуры. Он зависит от опыта персонала и его численности, а также сервисного оборудования. Чем опытней персонал и лучше сервисное оборудование, тем меньше величина  $d_1$ .

Среднее значение затрат на обеспечение надежности после подстановки имеет вид:

$$S_{\text{э}R\Pi} = \omega_1^2 d_1 t_{\Pi}. \quad (2.41)$$

Затраты на электроэнергию, потребляемую системой при производстве продукта за период жизни, оцениваются пропорционально затратам на ее изготовление (создание):

$$S_{\text{э}3} = S_{\text{ин}} d_2 t_{\text{ш}}, \quad (2.42)$$

где  $d_2 = 0,1 \dots 0,4$  — коэффициент пропорциональности, определяющий затраты электроэнергии на производство продукции относительно затрат на работу системы за период жизни;  $t_{\text{ш}}$  — длительность штатной эксплуатации.

Затраты на эксплуатацию нерезервированной системы ( $\omega_c = \omega_1$ )

$$S_{\text{э}1} = N_6 \Pi_1 s_0 + \omega_1^2 d_1 t_{\text{п}1} + d_2 t_{\text{ш}} S_{\text{п}} + t_{\text{э}} \omega_1 \delta_{\text{м}} C. \quad (2.43)$$

Затраты на эксплуатацию резервированной системы

$$S_{\text{э}2} = N_6 \Pi_2 s_0 + \omega_1^2 d_1 t_{\text{п}2} P + d_2 t_{\text{ш}} S_{\text{п}} (2, 1 \dots 2, 2). \quad (2.44)$$

Затраты меняются в результате изменения:

- числа обслуживаемого состава — обычно  $\Pi_2 > \Pi_1$ ;
- длительности проведения проверок ( $t_{\text{п}2}$  обычно значительно больше  $t_{\text{п}1}$ ) и объем аппаратуры увеличиваются в  $P$  раз;
- потребление электроэнергии при работающей резервной аппаратуре — увеличивается в  $2, 1 \dots 2, 2$  раза;
- исключения потерь продукта.

Изменение данных при введении резервирования зависит от многих факторов, поэтому затраты на эксплуатацию являются оценочными.

Определим затраты системы на производство единицы продукта.

Приведем зависимость для нерезервированной системы с использованием затрат на создание и производство ММ  $S_{\text{п}2}$ :

$$C_1 = [(1 + d_2 t_{\text{ш}}) S_{\text{п}2} + N_6 \Pi_1 s_0 + d_1 t_{\text{п}1} + S_{\text{м}}] \frac{1 + H_c}{M_6 m} + \frac{t_{\text{э}} \delta_{\text{м}} (1 + H_c)}{T_c M_6 m} C. \quad (2.45)$$

После введения значений  $S_{\text{п}2}$ ,  $M_6 m = M$ ,  $N_6 \Pi = N_1$ ,  $K_6 q = K$ ,  $t_{\text{э}} \delta_{\text{э}} (1 + H_c) = B$  и проведения преобразований получим:

$$C_1 = \left[ \frac{(1 + d_2 t_{\text{ш}}) M K a}{(1 + N_1 b)(M - B \omega_1)} + \frac{N_1 s_0}{(M - B \omega_1)} + \frac{\omega_1^2 d_1 t_{\text{п}1}}{(M - B \omega_1)} + \frac{S_{\text{м}}}{(M - B \omega_1)} \right] (1 + H_c). \quad (2.46)$$

Для резервированной системы:

$$C_2 = \left[ \frac{(\gamma P + d_2 t_{\text{III}})(2, 1 \dots 2, 2) K a}{(1 + N_2 b)} + \frac{N_2 s_0}{M} + \frac{\omega_1^2 d_1 t_{\text{II}2} P}{M} + \frac{S_M}{M} \right] (1 + H_c), \quad (2.47)$$

где  $\gamma = 1, 1 \dots 1, 2$  — переменная, учитывающая затраты на дополнительную аппаратуру, обеспечивающую резервирование.

При использовании полученных данных для принятия решений по производству продукта необходимо иметь в виду, что при выводе уравнений не учитывались практические ситуации, появляющиеся в процессе производства продукта, которые могут влиять на принимаемые решения. Поэтому считаем необходимым еще раз обратить внимание на то, что полученные данные являются рекомендациями для принятия практических решений при построении АСОИУ.

## 2.7. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Расширение сферы применения АСОИУ, резкое увеличение объемов накапливаемой информации, комплексное и централизованное использование вычислительных средств, наличие систем передачи данных для ее пересылки между системами поставили задачу защиты информации от уничтожения (т. е. нарушения ее физической целостности), искажения или изменения, несанкционированного использования (т. е. копирования и утечки информации).

Утечка происходит в основном: 1) при запоминании или копировании информации, находящейся на носителях; 2) несанкционированном подключении к аппаратуре АСОИУ и линиям связи или незаконном использовании «законной» (т. е. зарегистрированной) аппаратуры; 3) несанкционированном доступе к информации путем специального приспособления математического и программного обеспечения; 4) перехвате электромагнитных волн, излучаемых аппаратурой АСОИУ в процессе обработки информации; 5) прямом хищении носителей и документов.

Разработано много средств, методов и мероприятий по защите информации. Их подразделяют на технические средства, физические меры, организационные мероприятия, законодательные меры. Рассмотрим основные принципы этих способов защиты [2].

К **техническим средствам** относятся аппаратурные, программные и криптографические средства защиты.

Наиболее распространены следующие *аппаратурные* средства:

- специальные регистры для хранения реквизитов защиты — паролей, идентифицирующих кодов, грифов или уровней секретности и т. п.;
- генераторы кодов, предназначенные для автоматического формирования идентифицирующего кода устройства (например, терминала) при включении пользователя в работу и обращении к ресурсам АСОИУ;
- кодированные замки для включения технических средств в систему;
- устройства измерения индивидуальных характеристик человека (например, голоса) с целью его идентификации;
- схемы контроля границ адреса ЗУ с целью определения законности обращения к заданному полю памяти;
- схемы прерывания передачи информации в линии связи для периодической проверки адреса выдачи данных.

Наибольшее распространение в АСОИУ получили *программные* средства защиты. Этому способствуют такие их свойства, как универсальность, гибкость, удобство реализации, возможности модернизации. Конечно, при этом нужно учитывать, что программные средства требуют значительных затрат системных ресурсов — производительности и памяти.

По функциональному назначению программные средства защиты можно разделить на группы:

- идентификации технических средств, задач, пользователей и массивов;
- определения прав технических средств (время работы, разрешенные к использованию задачи, массивы и т. п.) и пользователей;

- контроля работы технических средств и пользователей;
- регистрации работы технических средств и пользователей при обработке информации ограниченного использования;
- уничтожения информации в ЗУ после использования;
- сигнализации при несанкционированных действиях;
- вспомогательных программ различного назначения: контроля работы механизма защиты, проставления грифа секретности на выдаваемых документах и т. п.

Широкое распространение в АСОИУ получают *криптографические* методы защиты информации, которые давно уже применяются при передаче данных по линиям связи. Криптографическое закрытие (шифрование) информации заключается в таком преобразовании защищаемых данных, при котором по их внешнему виду и без применения специальных средств нельзя определить содержание. Криптографическое закрытие — единственное средство защиты от хищения информации, передаваемой по линиям связи. Чаще всего применяют следующие способы шифрования:

- замена (подтасовка), при которой символы шифруемого текста заменяются символами того же или другого алфавита в соответствии с заранее обусловленной схемой замены;
- перестановка, при которой символы шифруемого текста переставляются по определенному правилу в пределах какого-то блока этого текста;
- гаммирование, при котором блоки шифруемого текста складываются с кодами некоторой случайной последовательности (гаммы);
- аналитическое преобразование, когда шифруемый текст преобразуется по некоторой формуле, например умножение вектора (шифруемого текста) на матрицу (ключ шифрования).

Особенно эффективны комбинированные шифры, когда текст последовательно шифруется несколькими способами; при этом стойкость шифрования превышает суммарную стойкость составных шифров.

Каждую из рассмотренных систем шифрования можно реализовать программным путем, аппаратурными средствами или совокупностью этих двух способов. Программная реализация по сравнению с аппаратурной лучше приспособлена к модернизации. Схемные методы производительнее, поэтому в АСОИУ с большими объемами закрываемой информации их применение экономически более целесообразно.

К **физическим мерам** относят создание устройств и сооружений, а также проведение мероприятий, которые затрудняют или делают невозможным проникновение потенциальных нарушителей в места, где возможен доступ к защищаемой информации. Чаще всего применяют:

- физическую изоляцию сооружений, где установлена аппаратура АСОИУ, от других сооружений;
- ограждение территории, где расположена АСОИУ, на таком расстоянии, которое достаточно для исключения возможности эффективной регистрации электромагнитных излучений, и организацию систематического контроля этой территории;
- организацию контрольно-пропускных пунктов у входов в помещения АСОИУ или оборудование входных дверей специальными замками, позволяющими регулировать доступ в помещения;
- организацию системы охранной сигнализации.

**Организационные мероприятия** — это совокупность организационно-технических и организационно-правовых мер, регламентирующих процесс функционирования АСОИУ, использование ресурсов, а также обеспечивающих запрет или затруднение несанкционированного доступа к информации. Организационные мероприятия применяют вместе с физическими мерами защиты. Наиболее распространены:

- мероприятия, осуществляемые при проектировании, строительстве и оборудовании мест установки АСОИУ и исключаящие влияние стихийных бедствий, возможностей тайного проникновения и т. п.;



- мероприятия по подбору и подготовке персонала АСО-ИУ (проверка принимаемых на работу, обучение правилам работы с закрытой информацией, ознакомление с мерами ответственности за нарушение правил защиты, исключение текучести кадров и т. п.);
- организация надежного пропускного режима;
- организация хранения и использования документов и носителей: маркировка, определение и соблюдение правил выдачи, использования и возвращения;
- контроль внесения изменений в математическое и программное обеспечение (только по утвержденным проектам со строгим контролем, их проверка на удовлетворение требований защиты и т. п.);
- организация подготовки и контроля работы пользователей.

К законодательным мерам относятся действующие в стране законы, указы и положения, которые регламентируют правила обращения с информацией ограниченного пользования и ответственность за их нарушение, препятствуя тем самым несанкционированному ее использованию [3].

Наибольшая эффективность защиты может быть обеспечена только применением рационального сочетания всех рассмотренных средств и мероприятий. Они должны объединяться в единый, целостный механизм защиты, проектирование которого следует вести параллельно с созданием АСОИУ. Только при этом возможно построение эффективной и защищенной системы. Функционирование механизма защиты должно планироваться и обеспечиваться параллельно с основными процессами обработки информации, причем необходимо осуществлять постоянный контроль качества работы защиты.

Построение защиты основано на обязательном использовании комплекса, состоящего из трех систем:

- 1) учета информации;
- 2) контроля за состоянием информации;
- 3) системы, защищающей информацию и исключающей ее экспроприацию или искажение.

Рассмотрим назначение каждой системы комплекса защиты.

**Система учета информации.** Началом работ по организации защиты информации является формирование четкого представления о ее характеристике, виде представления, составе, объеме и важности. Только зная эти данные и проверяя их через определенные интервалы времени, можно по фактам несоответствия определить объемы хищения и нанесенный владельцу ущерб. Таким образом, система учета хранимой и используемой информации в автоматизированной управляющей системе дает возможность обнаружить хищение информации.

**Система контроля за состоянием информации** определяет состояние информации в соответствии с принятой структурой ее хранения. Контроль проводится через определенные интервалы времени, которые определяются характером информации и процессом, в котором она участвует. Система выявляет факты нарушения, место и время происшедшего события. Она может строиться в виде автоматизированной или автоматической системы, в которой проверка состояния выполняется при любом обращении к системе или по заданному алгоритму.

Система учета хранимой информации и система контроля за ее состоянием тесно связаны друг с другом, и их комплексное построение может сократить объем аппаратуры, повысить защищенность и уменьшить затраты на защиту.

**В системе, защищающей информацию от экспроприации и искажения,** в большинстве случаев используют различные аппаратурные средства, запрещающие доступ к информации и средствам управления, а также криптографические средства.

### **2.7.1. Средства защиты и основные требования к ним**

При построении системы защиты прежде всего необходимо определить, от каких несанкционированных действий она должна защищать. Опыт работы АСОИУ позволяет установить ряд основных каналов утечки информации и соответствующие меры защиты. Как видно из табл. 2.1, наиболее

универсальным средством служит шифрование информации, однако следует иметь в виду, что это самый дорогой механизм защиты.

Таблица 2.1

Несанкционированные действия	Меры защиты	
	технические	организационные
Получение или копирование информации, находящейся в АСОИУ	<p>Шифрование информации.</p> <p>Применение генераторов пароля для контроля обращения.</p> <p>Определение прав пользователя.</p> <p>Регистрация работы технических средств</p>	<p>Организация пропускного режима.</p> <p>Контроль за хранением и использованием документов.</p> <p>Система охранной сигнализации</p>
Подключение к АСОИУ или линиям связи и использование аппаратуры	<p>Шифрование информации.</p> <p>Применение паролей и кодированных замков для включения в работу средств системы.</p> <p>Схемы прерывания передачи информации по линиям связи для проверки адресата.</p> <p>Идентификация технических средств, задач и массивов.</p> <p>Определение прав пользователя.</p> <p>Регистрация работы технических средств</p>	То же

## Окончание табл. 2.1

Несанкционированные действия	Меры защиты	
	технические	организационные
Изменение информации путем внесения специальных дополнений в математическое и программное обеспечение	Шифрование информации. Использование паролей и генератора кода для паролей. Схема контроля границ зон адресов. Контроль объема и состава программного обеспечения. Регистрация работы пользователей и технических средств	Организация контроля пользователей
Перехват электромагнитных излучений	Шифрование информации. Регистрация работы пользователей и технических средств. Защита и экранизация устройств и линий передачи данных	Физическая изоляция. Ограждение территории для исключения регистрации излучений. Организация контроля территории и системы охранной сигнализации
Прямое хищение носителей и документов	Шифрование информации. Применение специальных конструкций и замков. Использование сигнализации о состоянии аппаратуры	При проектировании: исключение возможности проникновения и удобство контроля. Проверка принимаемых на работу сотрудников. Надежный пропускной режим. Организация: <ul style="list-style-type: none"> <li>• хранения и использования документов;</li> <li>• контроля пользователей;</li> <li>• контрольно-пропускных пунктов.</li> </ul> Охранная сигнализация

При проектировании системы защиты следует руководствоваться рядом принципов, что способствует построению рациональной и эффективной системы защиты.

1. Средства защиты должны проверять полномочия пользователя при каждом его обращении к ресурсам системы. При изменении его полномочий результаты проверок предыдущих полномочий не должны учитываться, но возможность их перепроверки должна быть обеспечена.

2. Каждому пользователю, техническому средству или программе следует давать только те права, которые необходимы для выполнения поставленных задач.

3. Проход через защиту для работы с АСОИУ должен требовать наличия двух и более «ключей» для открывания механизма защиты. Эти «ключи» (разрешения) могут быть физически разнесены и реализованы разными способами и средствами.

4. Механизм защиты должен требовать минимальных затрат ресурсов АСОИУ. Кроме повышения эффективности использования системы, реализация этого принципа сокращает возможности раскрытия системы защиты. Вообще следует стремиться к сокращению числа уязвимых мест в системе.

5. Средства защиты не должны создавать трудностей для санкционированного доступа; взаимодействие человека с системой защиты должно быть простым и удобным для работы.

6. Все решения, касающиеся построения защиты, порядка ее работы и других специальных условий, являются данными строго ограниченного пользования.

Для сравнения различных способов построения защиты в настоящее время применяют два показателя: сложность защиты и вероятность защиты. Оценки этих показателей пока еще очень субъективны и во многом зависят от опыта разработчика, хотя применение метода экспертных оценок позволяет их уточнить.

*Показатель сложности защиты*

$$\tilde{R} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{[(R + \Delta R) - R]}{R} \quad (2.48)$$

характеризует относительные затраты дополнительных ресурсов  $\Delta R$  на защиту основных ресурсов  $R$ . Эти затраты могут быть значительными. При использовании программных способов шифрования показатель  $\tilde{R}$  может составлять сотни и более единиц. Годовые эксплуатационные расходы с введением защиты увеличиваются от 13 до 60%. В случае аппаратных средств шифрования, которые в последнее время получают все большее распространение, он значительно ниже.

*Коэффициент защиты* для одного  $i$ -го канала можно определить как отношение числа защищенных мест в канале  $n_{zi}$  к общему числу уязвимых мест  $n_{yi}$ , так что  $K_{zi} = n_{zi}/n_{yi}$ . Если система обработки многоканальная ( $N$  каналов), а защитой охвачены  $N_3$  из них, то можно определить коэффициент защиты системы как

$$K_3 = \sum_{i=1}^{N_3} \frac{K_{zi}}{N}. \quad (2.49)$$

Методика расчета величины  $K_3$  лучше всего разработана для шифрования и метода параллельной защиты (когда установление подлинности пользователя выполняется путем сравнения вводимого кода с хранящимся в памяти ЦВМ). Необходимо отметить, что существующие оценки  $K_3$  соответствуют в основном информации, представленной в виде совокупности символов, имеющих смысловую связь. Информация, которая хранится и обрабатывается в ЦВМ, имеет форму двоично-кодированных таблиц. Видимая смысловая и логическая связь в таких данных отсутствует. Это, с одной стороны, усложняет задачу расшифровки похищенной информации, а с другой стороны, несколько упрощает задачу выбора метода шифрования.

Рассмотрим некоторые методы оценки величины  $K_3$ . Пусть применяется парольная защита с длиной пароля  $S$  символов при длине алфавита пароля, равной  $A$ . Если каждая попытка раскрыть пароль путем обращения к системе требует времени  $t$ , то вероятность раскрытия пароля за время  $T$ :

$$1 - K_3 = \frac{T}{tA^S}. \quad (2.50)$$

Формула (2.50) справедлива, если за время  $T$  пароль не меняется. Если при каждом новом обращении пароль меняется, вероятность раскрытия падает:

$$1 - K_3 = \frac{1}{tA^S}. \quad (2.51)$$

**Пример 1.** Злоумышленник делает попытки раскрыть пароль, подключаясь к линии связи, скорость передачи в которой  $c = 600$  симв./мин, а длина сообщения (включая пароль и закрытую информацию)  $l = 20$  симв. Допустим, надо, чтобы вероятность раскрытия пароля после трехмесячного систематического тестирования была не более  $1 - K_3 = 0,001$ , если число символов в алфавите  $A = 26$ . Какую длину  $S$  пароля выбрать?

Используя соотношение (2.51), получаем

$$A^S \geq \frac{T_c}{t(1 - K_3)} = \frac{T}{\frac{l}{c}(1 - K_3)} = \frac{3 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 60}{\frac{20}{600} \cdot 0,001} = 3,888 \cdot 10^9.$$

Для  $S = 6$  имеем  $A^S = 26^6 = 3,089 \cdot 10^8$ , а для  $S = 7$ :  $A^S = 26^7 = 8,03 \cdot 10^9$ . Следовательно, следует выбрать  $S = 7$ .

**Пример 2.** Используя данные предыдущего примера, найти математическое ожидание времени раскрытия пароля при  $S = 6$ .

Среднее время раскрытия

$$M[T] = 0,5 A^S \frac{l}{c} = 0,5 \cdot 3,089 \cdot 10^8 \cdot \frac{20}{600} \approx 9 \text{ лет.}$$

Если используется двоичная система с длиной кода пароля 10 разрядов ( $A = 2$ ,  $S = 10$ ), то

$$M[T] = 0,5 \cdot 1024 \cdot \frac{20}{600} \approx 17 \text{ мин.}$$

При смене пароля при каждом обращении в этом случае имеем по формуле (2.51)  $K_3 = 0,999$ .

В системах с шифрованием числовой информации при наличии неограниченных ресурсов вероятность  $K_3$  может быть сделана сколь угодно большой, т. е. информацию практически нельзя расшифровать, если только

злоумышленнику не удастся получить копии закодированного сообщения. Эти возможности говорят о недостаточности организационных и физических средств защиты.

Оценку коэффициента защиты при использовании совокупности различных методов и средств удобно выполнять с помощью матрицы. Для ее построения на основе анализа исследуемого канала формируется перечень возможных мест утечки, составляющий строки матрицы. Для каждого места рассматриваются известные методы, средства и мероприятия защиты (столбцы матрицы). Элемент  $a_{ij}$ , стоящий на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца, характеризует степень устранения  $i$ -й утечки  $j$ -м средством ( $0 < a_{ij} < 1$ ;  $a_{ij} = 0$  — не устраняется;  $a_{ij} = 1$  — устраняется полностью). Если  $\sum_j a_{ij} > 1$ , следует рассмотреть вопрос о выборе рационального способа защиты.

Величина  $\sum_j \frac{a_{ij}}{n}$ , где  $n$  — общее число мест утечки в рассматриваемом канале, может служить для сравнительной оценки эффективности применения каждого  $j$ -го механизма защиты в данном канале.

Если защита АСОИУ организована без избыточности, но полностью, то  $\sum_j a_{ij} > 1$  для каждой  $i$ -й строки и  $\sum_i \sum_j a_{ij} = n$ . Однако в АСОИУ, обрабатывающих закрытую информацию, вводят дублирование защиты.

*Коэффициент дублирования* можно определить как степень (кратность) защиты

$$D = \frac{\left( \sum_i \sum_j a_{ij} - n \right)}{n}. \quad (2.52)$$

Степень защиты  $D$  зависит от уровня секретности данных и для разных назначений АСОИУ может быть различной. Например, если обрабатывается информация для служебного пользования, можно установить  $D \approx 0...0,5$ ; секретная информация может иметь  $D \approx 1...1,5$ ; совершенно секретная  $D \approx 2,5...3$  и т. д.

В общем случае нет необходимости применять все методы и средства (суммировать по всем значениям  $j$ ). Допустим,



что множество  $M$  всех индексов разбито на подмножества  $M_1, M_2, \dots, M_k$  так, что

$$\sum_i \sum_{j \in M_1} a_{ij} = \sum_i \sum_{j \in M_2} a_{ij} = \dots = \sum_i \sum_{j \in M_k} a_{ij}.$$

Группы методов  $M_1, M_2, \dots, M_k$  обеспечивают одинаковый коэффициент дублирования. Тогда рациональной системой защиты можно считать ту, для реализации которой требуются наименьшие затраты ресурсов

$$R(M_l) = \sum_{j \in M_l} \Delta R_j,$$

где  $\Delta R_j$  — дополнительные затраты ресурсов на реализацию защиты по  $j$ -му методу в 1-й группе. Если  $D(M_1) = D(M_2) = \dots = D(M_k)$  и  $R(M_1) = \min[R(M_1) \dots R(M_k)]$ , то рациональная защита обеспечивается методами группы.

### 2.7.2. Экономическая оценка средств и методов защиты

Пути воздействия злоумышленников на информацию, находящуюся в системе, достаточно разнообразны и могут осуществляться с использованием различного арсенала средств. Поэтому в системе должен предусматриваться ряд мер, обеспечивающих защиту информации в трех основных направлениях: от уничтожения, от изменения и от копирования.

При построении защиты информации важно учитывать возможности злоумышленника выбирать наиболее удобный для него путь воздействия на информацию. Это приводит к необходимости построения ряда средств защиты, которые должны противодействовать возможным влияниям на информацию. В таких условиях затраты на защиту должны определяться суммой затрат на каждое средство защиты в трех основных направлениях. Поэтому затраты на защиту информации бывают во много раз больше затрат злоумышленника, направленных на ее преодоление.

Для оценки затрат на средства защиты ресурсов необходимо определить потери ресурсов от хищений. При этом нужно учитывать также потери, связанные с исключением

похищенных ресурсов из оборота, т. е. считать их как утраченные во времени накопления.

Период, в течение которого необходимо учитывать влияние потерь от хищения, можно связать с амортизационным сроком средства защиты. Это дает возможность оценить потери, с одной стороны, и возможную величину затрат на защиту, с другой.

Увеличение ресурса при отсутствии хищения запишем в виде:

$$S_t = S_0(1 + r)^t, \quad (2.53)$$

где  $S_0$  — исходный ресурс;  $r$  — процентная банковская ставка;  $t$  — анализируемый интервал времени.

При хищении ресурса остаток составит:

$$S_{tx} = (S_0 - S_x)(1 + r)^t, \quad (2.54)$$

где  $S_x$  — величина похищенного ресурса.

Использование средств защиты приводит к уменьшению потерь от хищения, но и требует затрат на приобретение или создание средств защиты и эксплуатацию.

Величину остаточного ресурса через время  $t$  для этого условия запишем в виде:

$$S_{tx} = S_0(1 + r)^t - (S_x - S_y)(1 + r)^t, \quad (2.55)$$

где  $S_y$  — величина сокращения хищения; определяется затратами на средство защиты от хищения « $y$ ».

Величина сокращения хищения  $S_y$  в значительной мере определяется затратами на выбранное средство защиты  $y$ . Эта зависимость нелинейная, и для ее определения необходимо рассмотреть несколько средств защиты с определением двух основных показателей: величины сокращения потерь от хищения и затрат на средство защиты.

Каждое средство защиты можно представить величиной сокращения потерь от хищения и затратами на реализацию этого средства защиты. Каждой  $i$ -й величине хищения  $S_{xi}$ , которую требуется предотвратить, используя защиту, должна соответствовать величина сокращения потерь от хищения  $S_{yi}$ , что запишем в виде:

$$S_{xi} \approx S_{yi}.$$

Величина сокращения потерь  $S_{yi}$  определяется затратами  $y_i$  на средства защиты (разработка, изготовление —  $y_{ki}$ ) и их эксплуатацию (обслуживание, потребление электроэнергии, ремонт). Оплату затрат на эксплуатацию будем проводить по доле затрат  $y_{ki}$  в виде  $y_{ki} b_{ki} t_i$  с учетом времени работы  $t_i$ , где  $b_{ki}$  — коэффициент доли затрат  $0,2 \pm 0,4$ .

Затраты на сокращение хищений запишем в виде:

$$y_i = y_{ki}(1 + b_{ki} t_i). \quad (2.56)$$

Сокращение затрат на определенный способ хищения может проводиться одним из нескольких методов защиты с соответствующими затратами  $y_i$  с учетом эксплуатации. Поэтому необходимо выбрать наиболее подходящий метод для реализации в системе, учитывая особенности производства.

Объем затрат на защиту системы « $y_c$ » состоит из суммы затрат, каждая из которых предотвращает потери хищения  $S_{yi}$ :

$$y_c = \sum_{i=1}^k y_i,$$

где  $k$  — число средств защиты системы, используемых для обеспечения сокращения потерь от хищений  $S_{yi}$ .

Сокращение величины хищения при применении  $k$  средств защиты запишем в виде:

$$S_y = \sum_{i=1}^k S_{yi}.$$

Для оценки влияния суммарных затрат на суммарное сокращение величины хищения используем математическую модель вида:

$$S_y = \frac{a_1 y_c}{1 + b_1 y_c}.$$

Учитывая, что на выбор величины и методов оценки затрат и наличие потерь оказывают влияние большое число факторов, для определения коэффициентов  $a_1$  и  $b_1$  используем аппроксимирующую модель. Для определения коэффициентов аппроксимации рассмотрим два или три варианта систем, у которых определены воздействия  $S_y$  и  $y_c$ . Напри-

мер, для двух близких по условиям работы систем, решая уравнения двух систем

$$S_{y1} = \frac{a_1 y_{c1}}{1 + b_1 y_{c1}}, \quad S_{y2} = \frac{a_1 y_{c2}}{1 + b_1 y_{c2}}.$$

Определим коэффициенты:

$$a_1 = \frac{S_{y1} S_{y2} (y_{c1} - y_{c2})}{y_{c1} y_{c2} (S_{y1} - S_{y2})}, \quad b_1 = \frac{S_{y2} y_{c1} - S_{y1} y_{c2}}{y_{c1} y_{c2} (S_{y1} - S_{y2})}. \quad (2.57)$$

Уравнение остаточного ресурса системы

$$S_{tx} = S_0 (1+r)^t - \left( S_x - \frac{a_1 y_c}{1 + b_1 y_c} \right) (1+r)^t. \quad (2.58)$$

Для выбора защиты системы рассмотрим две стратегии ее построения на основе оценки величин минимальных потерь от хищений и определим рациональную.

Первая стратегия предусматривает определение затрат на средства защиты системы, исходя из минимизации величины потерь от хищений и затрат на средства защиты. При этом допускается определенный уровень хищений в системе.

Вторая стратегия характеризуется тем, что выбирают средства защиты, практически исключающие хищения в системе, и для них определяются затраты.

По первой стратегии, исходя из величины сокращения потерь от хищений  $\Delta S_x = S_x - S_y$ , оценивается величина затрат на средства защиты  $y_c$  по зависимости

$$y_c = \frac{S_y}{a_1 - a_1 S_y}$$

или по затратам на защиту от хищений  $y_c$  определяется величина сокращения хищений по зависимости

$$\Delta S_x = S_x - S_y = S_x - \frac{a_1 y_c}{1 + b_1 y_c}.$$

По второй стратегии используется условное исключение хищений

$$0 = S_x - S_y.$$

Затраты на аппаратуру, исключаящую возможности хищения, определяются решением зависимости

$$S_x - \frac{a_1 y_{c0}}{1 + b_1 y_{c0}} = 0,$$

по которой определяются

$$y_{c0} = \frac{S_x}{a_1 - b_1 S_x}.$$

Выведенные соотношения для выбора стратегии построения системы и оценки капитальных и эксплуатационных затрат являются рекомендательными, так как они не учитывают многих факторов, которые могут влиять на принимаемое решение. Однако принятие решений, близких к рекомендуемым, способствовало рациональному построению системы защиты.

Рассмотрим затраты «мошенника» на преодоление или обход средств защиты. Стремление к преодолению системы защиты определяется экономическим фактором — доходом от хищения средств.

На основе приведенных соображений запишем:

$$D_m = S_x - S_m - S_y,$$

где  $D_m$  — доход «мошенника» от совершенного хищения;  $S_m$  — затраты «мошенника» на преодоление защиты.

Таким образом, чем лучше построена защита, тем большие затраты нужны для ее преодоления. Увеличение затрат ( $S_m$ ) уменьшает доходность и может привести к отказу от хищения. Однако стремление к увеличению доходности от хищений стимулирует поиск дефектов в системе защиты.

Для создания эффективных средств защиты целесообразно вести работу в двух группах. Одна разрабатывает средства защиты, другая — средства ее обхода или раскрытия. При отсутствии контактов между группами такая организация работы создает условия для повышения объективности оценки средств защиты и затрат на их создание и эксплуатацию.

Подобная соревновательность широко используется в ряде оборонных отраслей, например при создании снарядов, патронов и брони, бомбардировщиков и ПВО и т. п. Статистические данные по затратам на защиту и нападение в оборонных отраслях показывают, что затраты на создание и эксплуатацию средств защиты в несколько раз превосходят затраты на создание и эксплуатацию средств нападения.

При определении затрат на защиту необходимо иметь в виду, что средства защиты широко тиражируются для других систем, поэтому понесенные затраты на их разработку распределяются между пользователями этих средств.

# 3

## ГЛАВА \_\_\_\_\_

# ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ

### 3.1. СТРУКТУРА УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Известны два основных принципа построения структуры системы управления: объединенный и распределенный.

*Объединенный принцип* характеризуется тем, что все данные, необходимые для решения задачи, непосредственно поступают в объединенную структуру системы, которая может состоять из вычислительных машин и устройств преобразования информации, а также средств индикации и управления. Все средства объединенной структуры сосредоточены в одном месте. В объединенной структуре вырабатываются решения и выдаются данные и сигналы, управляющие процессом, которые передаются на средства управления.

Объединенный принцип построения имеет ряд свойств, которые необходимо иметь в виду при его использовании. Так, объединенное использование средств для решения задач в ряде случаев обеспечивает более рациональную их загрузку и способствует уменьшению объемов аппаратуры, что приводит к повышению надежности работы системы и уменьшению требуемой мощности.

Однако в системах, построенных на основе объединенного принципа, требуется больше времени на выполнение этапов регулировки и отладки системы. Это связано с тем, что фронт работ в этих системах на последних этапах отладки

очень ограничен, так как в каждый момент времени может проверяться только одна задача.

Трудно решаются вопросы поэтапного наращивания задач и модернизации системы. Практически приходится останавливать работу системы на время их проведения.

Эти системы обладают значительно меньшей живучестью по сравнению с системами, построенными на основе распределенного принципа. Выход из строя объединенной структуры приводит к выходу из строя всей системы.

При применении объединенного принципа сокращаются возможности подбора аппаратуры вследствие более широких требований к ней.

Особенность *распределенного принципа* состоит в том, что поступающие данные обрабатываются на отдельных вычислительных средствах, распределенных в пространстве всего объекта. Выходные данные этих вычислительных средств могут использоваться в других отдельных средствах обработки данных, например для выработки кодов и сигналов для средств управления процессом или в средствах индикации и др.

Распределенный принцип построения системы имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать. Использование этого принципа обеспечивает создание систем, обладающих высокой живучестью, так как выведение из строя одной части не приводит к выходу из строя всей системы. Вопросы отладки и регулировки аппаратуры и программ требуют меньшего времени, чем в системах объединенного принципа построения, ввиду возможности параллельного ведения работ. Модернизацию можно проводить по частям, что позволяет улучшать характеристики системы. Время отладки существенно сокращается, так как можно вести отладку отдельных частей системы параллельно. В результате сокращается время изготовления всей системы по сравнению с центральным принципом.

Системы, построенные по распределенному принципу, имеют больший объем аппаратуры. Однако распределенный принцип дает широкие возможности по ее подбору вследствие относительно низких требований к ее частям.



При построении систем возможно использование обоих принципов построения в любых сочетаниях для наиболее эффективного удовлетворения поставленных требований.

Рациональность выбора принципа построения системы управления процессом определяется минимизацией затрат на выдаваемый продукт, а также затрат на эксплуатацию и жизненный цикл системы.

Существенное влияние на выбор структуры управляющей системы оказывает процесс и его распределение в пространстве объекта. Большую роль играют также количество и распределение источников данных и исполнительных устройств. Это связано с тем, что они определяют размеры и характеристики линий передачи данных, которые могут существенно увеличивать стоимость системы и усложнять обеспечение живучести и безопасности.

Одной из главных проблем выбора принципа построения является обеспечение требований к быстродействию вычислительных средств и объемам памяти системы управления.

Рассмотрим несколько путей, связанных с обеспечением требований по быстродействию и объему памяти вычислительных средств.

**Путь 1.** Быстродействие и объемы памяти, требуемые для решения поставленной задачи, могут быть обеспечены существующими, т. е. освоенными в производстве, вычислительными средствами.

**Путь 2.** Необходимые быстродействие и объемы памяти для решения задачи могут быть получены организацией работы нескольких вычислительных машин с одинаковыми или различными характеристиками, которые имеются на рынке.

**Путь 3.** Требуемое быстродействие и объемы памяти для решения задачи достигаются сочетанием работы вычислительных машин, имеющих на рынке, и созданием дополнительных устройств обработки данных на микропроцессорах, освоенных промышленностью.

**Путь 4.** Быстродействие и объемы, требуемые для решения задачи, обеспечиваются созданием вычислительной структуры на основе освоенных промышленностью микропроцессоров и запоминающих устройств.

Возможны и другие способы построения вычислительных средств в системе управления, однако приведенные пути охватывают большинство случаев, встречающихся при построении системы управления, и обеспечивают минимизацию затрат времени на ее построение и материальных затрат.

### 3.2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СТРУКТУР АСОИУ

Известно несколько типов построения автоматизированных систем управления, состоящих из подсистем. Типы построения тесно связаны с составом и характером задач, решаемых подсистемами. Известны следующие типы построения:

- иерархическая;
- объединенная;
- децентрализованная;
- автономная;
- различные варианты смешанных структур.

**Иерархическая структура АСОИУ** получила широкое развитие в системах организационно-производственного и административного управления. Особенностью является разделение задач для их решения на уровни. Группы задач каждого уровня локальны и решаются в своих подсистемах. Распределение задач по уровням и соответственно разработка подсистем определяются характером задач и так называемыми вертикальными связями между локальными задачами уровней. Необходимо отметить, что в большинстве случаев информация (данные с источников информации (ИИ) нижнего уровня) передается и в высшие уровни для проведения контроля. Между подсистемами одного уровня также возможны связи (горизонтальные). Эти связи можно условно называть связями взаимопомощи или перераспределения ресурсов.

На рисунке 3.1 приведена иерархическая структура с тремя уровнями.

Состав средств в подсистемах иерархической структуры высоких уровней может изменяться. Например, в качестве исполнительных средств (ИС) могут использоваться подсистемы более низкого уровня; средства переработки инфор-

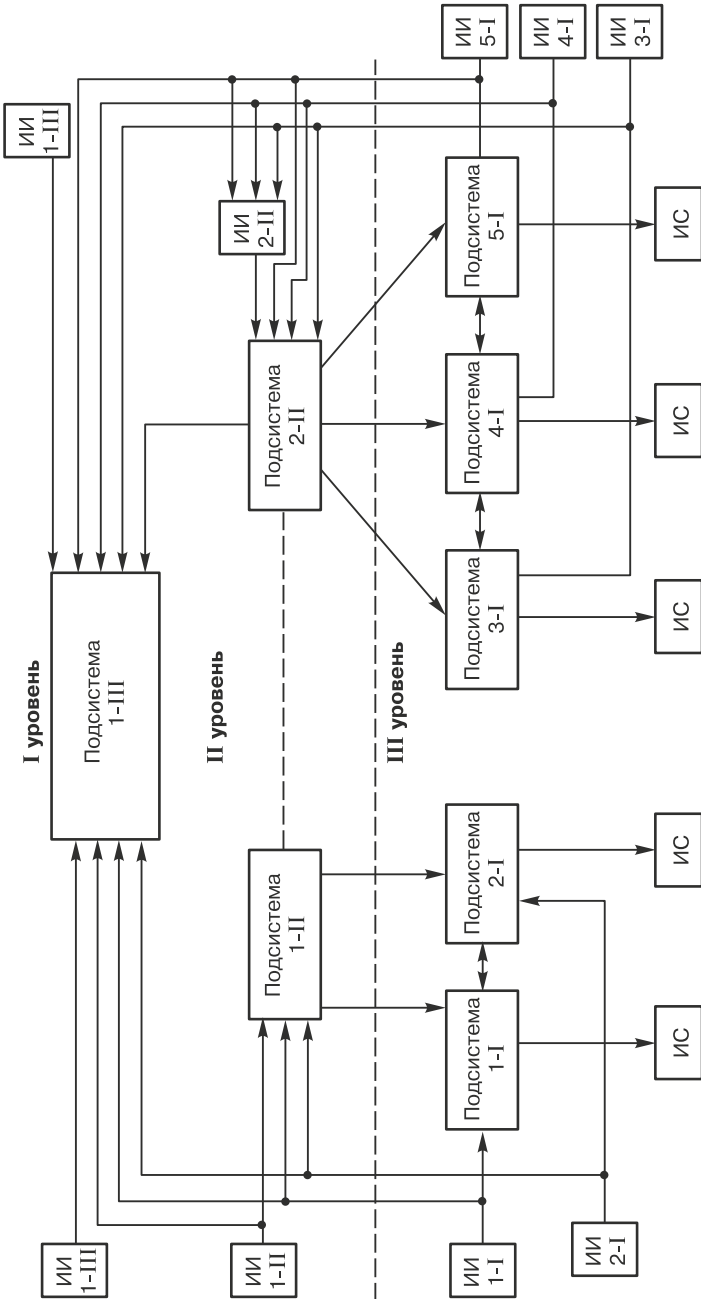


РИС. 3.1

мации могут находиться в составе только одного уровня и т. д.

Иерархическая структура более приспособлена для поэтапного наращивания мощностей и задач АСОИУ. Она создает больше возможностей для применения серийно выпускаемого оборудования, а также при модернизации системы. В этом случае, распределяя задачи между уровнями, можно более полно использовать характеристики средств АСОИУ, выпускаемых промышленностью.

**Объединенная структура АСОИУ** получила распространение в связи с развитием цифровой вычислительной техники. Она используется в системах управления технологическими процессами и на подвижных объектах. Все задачи и функции управления сосредоточены в центре системы. Основными особенностями структуры АСОИУ являются: 1) объединение решения всех задач системы на единых средствах; 2) управление процессом или процессами из единого центра (рис. 3.2).

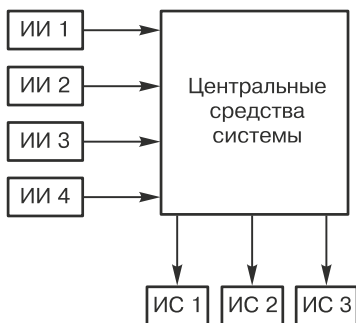


Рис. 3.2

Объединение задач и использование одинаковых средств для их решения в ряде случаев улучшают характеристики АСОИУ. Объединенное использование средств АСОИУ создает условия для более рационального режима их работы и способствует уменьшению количества аппаратуры. Уменьшение объема аппаратуры приводит к повышению надежности, уменьшению мощности и, соответственно, тепловыделения. Эти особенности имеют большое значение для определенного класса АСОИУ.

Объединенное использование средств предъявляет более высокие требования к надежности каждого средства. Это сокращает возможности применения средств, выпускаемых серийно.

Весьма трудно решаются вопросы поэтапного наращивания мощностей и задач, а также модернизации системы, значительно усложняется выполнение этапов регулировки и отладки. Это связано с тем, что фронт работ в объединенной системе на последних этапах очень узкий, так как в каждый момент времени может проверяться только одна задача.

Объединенная структура обладает значительно меньшей живучестью, чем другие структуры. Выход из строя объединенной аппаратуры приводит к выходу из строя всей системы.

**Децентрализованные структуры** находят применение в сложных автоматизированных системах управления. Их применение открывает широкие возможности учета особенностей в решении локальных задач или групп, а также специальных требований, предъявляемых к ним. Децентрализованная структура характеризуется тем, что для решения локальных задач или групп используются отдельные подсистемы (рис. 3.3), которые связаны между собой и тем самым отличаются от автономных структур.

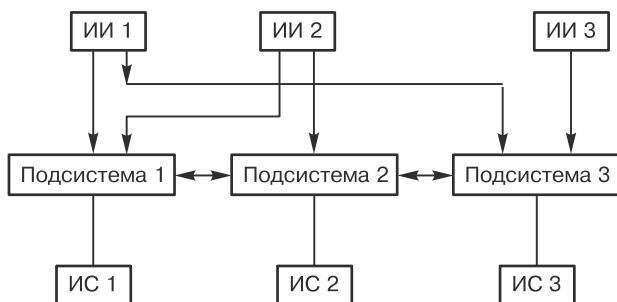


Рис. 3.3

Децентрализованные структуры имеют большой объем аппаратуры по сравнению с централизованными. Аппаратура децентрализованной структуры более отвечает

требованиям задач, так как в ней специально учитываются их особенности. Вопросы модернизации и использования серийно выпускаемой аппаратуры в децентрализованной структуре решаются лучше, чем в централизованной, но хуже, чем в иерархической.

Время, необходимое для отладки системы, построенной по децентрализованной структуре, практически во столько раз меньше по сравнению с централизованной структурой, на сколько децентрализованных подсистем разделена централизованная система.

Выход из строя аппаратуры в одной из подсистем структуры не приводит к выходу из строя всей системы, поэтому живучесть децентрализованной структуры выше, чем централизованной.

**Автономная структура** построения системы характеризуется полной независимостью подсистем, на которых решаются локальные задачи или группы. Автономные структуры широко использовались на начальных этапах развития автоматизации. Они обладают всеми характеристиками по аппаратурным решениям децентрализованной структуры, но значительно уступают в функциональных возможностях. Отсутствие связей между подсистемами исключает их взаимное резервирование по решению отдельных задач каждой локальной группы.

Организация работ по созданию системы с автономной структурой несколько проще, чем в децентрализованной структуре, так как здесь отсутствуют связи между подсистемами.

Выбор структуры построения системы в значительной мере определяется требованиями, связанными с алгоритмической структурой и достигнутыми характеристиками средств АСОИУ, а также экономическими возможностями приобретения необходимых средств для сокращения сроков создания АСОИУ.

**Принципы построения системы управления.** Любая система управления процессом состоит из некоторого количества основных частей, которые связаны с предметной областью процесса. Условно выделим шесть таких частей (рис. 3.4).

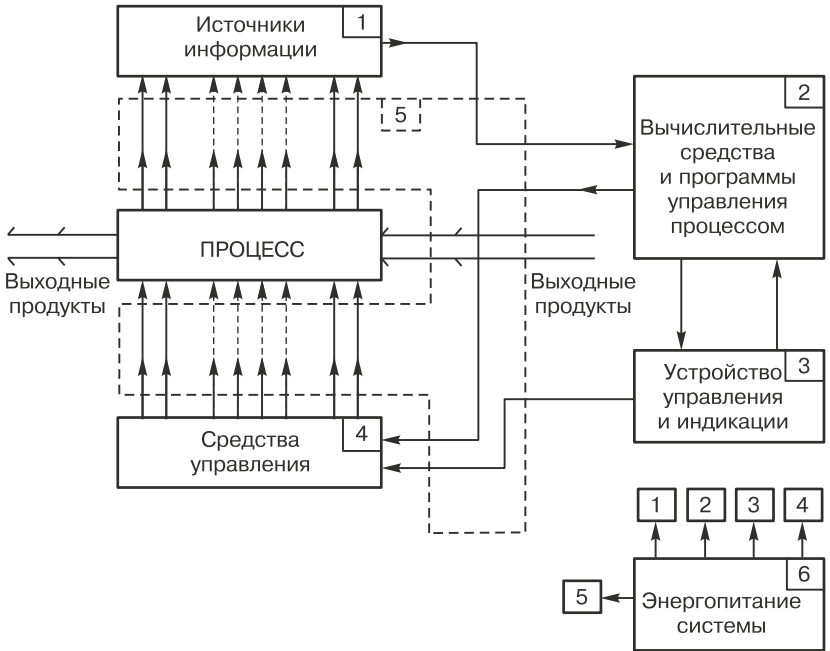


Рис. 3.4

*Первая* часть системы — это источники информации, которые предоставляют данные о состоянии процесса, окружающей среды и устройств управлением процессом.

*Вторая* часть, используя полученные данные от источников информации, вырабатывает сигналы для управления процессом производства продукта заданного качества. Управление производится по заложенным рациональным критериям и алгоритмам производства продукта. Эта часть состоит из вычислительных средств, программ, реализующих алгоритмы, и банков данных. Она является мозгом системы управления процессом производства. Система управления может быть двух типов: автоматической (т. е. не требовать вмешательства человека в процесс управления) и автоматизированной (когда предусматривается участие человека). Тип системы определяется многими факторами, главные из которых процесс, подвергаемый управлению, и динамика его протекания.

При автоматизированной системе управления процессом в блок-схеме системы появляется *третья* часть — средства индикации, на которых показывается ход процесса и важные параметры, необходимые для принятия решений по управлению системой, средства для его управления. Управление обычно осуществляется через вычислительные средства, иногда используется прямое управление изменением определенных параметров процесса.

*Четвертой* частью системы являются средства управления параметрами процесса, которые по сигналам или данным вычислительных средств изменяют эти параметры и тем самым управляют процессом производства продукта.

*Пятая* часть системы состоит из линий передачи данных, которые связывают части системы управления. Особое значение эта часть приобретает в системах, устройства которых находятся на значительном расстоянии друг от друга.

*Шестой* частью являются средства энергетического питания системы управления процессом. Они обеспечивают энергоснабжение всех пяти частей системы.

Выбор принципа построения системы в основном определяется:

- расположением источников и потребителей информации в пространстве, а также объемами и частотой передаваемых данных. Для принятия решений важны расстояния между источниками и потребителями данных, исполнительными устройствами и средствами, перерабатывающими данные, а также средствами индикации и пультами управления;
- необходимым быстродействием вычислительных средств для решения поставленных задач;
- требованиями по обеспечению надежности, защищенности, живучести и безопасности работы системы;
- в ряде случаев габаритно-массовыми ограничениями.

Начальный этап формирования системы включает определение:

- источников информации, их местоположения в процессе и связи с частями системы, характера вырабатываемой информации (аналоговая или кодовая);



- потребителей информации, их расположения в процессе и связи с частями системы.

Потребителями информации являются исполнительные средства, средства индикации и документирования. Первые обычно преобразуют кодовую информацию в аналоговую для управляющих устройств, а вторые предоставляют оператору данные о состоянии процесса и системы и при необходимости производят документирование.

Местоположение источников и потребителей информации в большинстве случаев жестко связано с процессом и его расположением в пространстве.

Датчики информации, обычно расположенные на устройствах, контролирующих процесс, передают данные в систему.

Исполнительные устройства также располагаются в определенных местах системы, обычно на средствах, которые управляют процессом.

Средства индикации состояния процесса устанавливаются в местах, наиболее удобных для работы операторов, управляющих или контролирующих процесс.

Таким образом, расположение частей (топография системы) в значительной мере предопределена характером и особенностями процесса, которым управляет система.

При определении положения средств переработки информации на объекте имеется определенная свобода выбора, которая зависит от требований надежности, безопасности, живучести и принципа построения связей с источниками и потребителями информации.

При формировании структурной схемы системы определяется ее приборный состав. Прибором принято называть конструктивно законченную (оформленную) часть или целое средство, отвечающее условиям эксплуатации и обладающее определенной функциональной полнотой. Прибор имеет комплект документации, обеспечивающий его изготовление, проверку, испытание и сдачу заказчику.

При размещении аппаратуры структурной схемы или ее части в приборе необходимо следовать определенным положениям.

1. Объем аппаратуры структурной схемы должен быть на 15...20% меньше объема аппаратуры, которая может быть размещена в приборе. Этот запас необходим для дальнейшей модернизации и корректировки аппаратуры при отладке.

2. Число цепей для входных и выходных данных структурной схемы, а также цепей питания должно быть согласовано с конструкцией прибора как по числу, так и по делению их на группы (сальников и разъемов) и иметь запас для увеличения на 10...20%.

3. Допустимое тепловыделение в приборе должно соответствовать условиям отвода теплоты, обеспечивающим заданную температуру на поверхности элементов аппаратуры.

4. При расположении в одном приборе аппаратуры нескольких структурных схем должна обеспечиваться возможность их независимой отладки и проведения регламентных работ.

### **3.3. ОЦЕНКА ДЕЛЕНИЯ СИСТЕМЫ НА ЧАСТИ**

Одной из важных проблем проектирования системы, после определения ее характеристик, является деление системы на части. Оно дает возможность провести анализ влияния различных факторов на создание системы.

Существуют различные принципы, которые используются при разделении системы на части, каждый из которых, положенный в основу деления, связан с определенными требованиями к системе.

Ряд принципов деления связан с анализом вопросов построения алгоритмов и структуры систем.

Число частей, на которые разделяют систему, определяется:

- составом алгоритмов системы, требованием к их быстродействию, объемами памяти, а также количеством связей между источниками и потребителями информации;
- надежностью и безопасностью, необходимыми или требуемыми для эффективной работы системы, и путями их обеспечения при использовании показателей надежности, достигнутых в промышленности;

- требованиями к конструктивному оформлению, которые определяются защищенностью, условиями работы и расположением частей, а также удобством их установки и эксплуатации;
- сроками создания и, при необходимости, этапами введения в эксплуатацию.

При делении системы на части необходимо выбрать принципы построения структуры и связи, которыми следует руководствоваться. Приведем некоторые требования к ним, связанные с организацией работ и затратами на создание.

1. Формирование требований к делению системы на подсистемы, исходя из принятых в обществе условий разделения ответственности при эксплуатации частей и систем.

2. Требование к делению системы на части, связанное со специализацией и организацией производства частей или возможностью их покупки, а также с сокращением времени изготовления системы.

3. Деление системы на части, определяемое требованиями ЕСКД, которые обеспечивают производство системы на заводах.

Рассмотрим зависимости, определяющие число частей, на которые делится система, с учетом достигнутой надежности изготовления аппаратуры производством, требуемой надежности системы и затратами на каждую ее часть. При этом учтем дополнительные затраты на аппаратуру коммутации частей системы, их контроля и средств управления резервированием в системе.

Оценим затраты, связанные с введением резервирования для получения требуемой надежности. Они определяются объемом резервируемой аппаратуры составляющих и их количеством в системе:

$$\Delta S_p = a_3 \sum_{i=1}^n (W_i + W_{pi}) p_i, \quad (3.1)$$

где  $a_3$  — коэффициент, представляющий затраты на изготовление единицы объема аппаратуры;  $W_i$  — объем резервируемой аппаратуры  $i$ -й составляющей системы;  $W_{pi}$  — объем дополнительной аппаратуры, выполняющей функции

коммутации, контроля и управления  $i$ -й составляющей системы;  $p_i$  — кратность резервирования  $i$ -й части;  $n$  — количество частей, требующих резервирования.

Оценим объем резервируемой аппаратуры составляющих системы. Как известно, ненадежность системы определяется ненадежностью работы ее частей, а ненадежность части — одной из ее составляющих (блока) и далее ненадежность блока — его составляющей (узлом элемента). Таким образом, ненадежность системы задается ненадежностью работы узла или элемента. Поэтому в пределе количество частей, на которое возможно деление системы для резервирования, определяется количеством ее узловых элементов и возможностью их отдельной конструктивной реализации, а резервируемый объем аппаратуры — размерами узла или элемента и кратностью резервирования.

Кратность резервирования части системы оценим по требуемой надежности работы предполагаемой к резервированию части и ее практической надежности. Практическая надежность работы части системы связана с объемом ее аппаратуры. Определим эту зависимость, используя аппроксимирующее уравнение, которое строится по данным частей, близких по конструкции и технологии изготовления. Уравнение надежности анализируемой части запишем в виде

$$T_i = \frac{a_i}{1 + b_i W'_i} T_{i\text{ч min}}, \quad (3.2)$$

где  $T_{i\text{ч min}}$  — минимальная надежность части аппаратуры (блока модуля);  $a_i$ ,  $b_i$  — коэффициенты аппроксимации;  $W'_i$  — объем аппаратуры резервируемой части  $W_i$  с учетом дополнительной аппаратуры,  $W'_i = (1 + \gamma_i)W_i$ ;  $\gamma_i = 0,1 \dots 0,3$  — коэффициент, оценивающий долю дополнительной аппаратуры. Его величина связана с уровнем резервирования; для элементов он больше, для блоков и устройств меньше.

Кратность резервирования аппаратурной части запишем в виде

$$|p_i| = \frac{T_{Ti}}{T_i}, \quad (3.3)$$

где  $T_{Ti}$  — требуемая надежность аппаратурной части системы;  $T_i$  — практически достижимая надежность части.

Учитывая, что надежность работы системы можно обеспечивать резервированием как на уровне системы, так и устройства, блоков, узлов и элементов, необходимо рассмотреть варианты уровня резервирования — деления системы на части с учетом их конструктивной реализации и оценить затраты на каждый вариант получения требуемой надежности системы.

По результатам расчета затрат по анализируемым вариантам выбирается вариант деления, использующий наиболее освоенные схемотехнические и конструкторские решения и имеющий наименьшие затраты.

### 3.4. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СВЯЗИ В УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

Принципы построения связи и разделения системы на части органически связаны. Например, увеличение числа частей и входящих в них приборов может привести к изменению принципа организации связи, так как увеличение числа приборов, участвующих в обмене, при ограничениях на массу, приводит к необходимости смены принципа; или при ограничениях на время передачи информации также приходится изменять принцип. На изменение принципа связи может влиять степень защиты передаваемой информации, надежность и требуемая живучесть цепей связи в системе.

Известны два принципа построения связи (передачи данных) в системе: радиальный и магистральный.

**Радиальный принцип.** При его применении каждое устройство — датчик информации, средство индикации и управления, вычислительные средства (ВС) — имеет прямые связи друг с другом, т. е. каждый абонент имеет свою линию связи. Число линий связи, или передачи данных, соответствует числу абонентов. Этот принцип связи, в зависимости от расстояния между абонентами и ВС, различных дополнительных требований (точности, контроля и др.) может иметь два варианта построения.

Первый вариант (рис. 3.5) характеризуется тем, что сигналы от абонентов или к абонентам поступают в форме, принятой для каждого датчика (Д) или исполнительного устройства (И). В большинстве случаев это аналоговые величины. Их преобразование в цифровые коды или обратно для исполнительных устройств производится в устройствах преобразования, входящих в устройство, которое осуществляет обмен данными между ВС и абонентами.

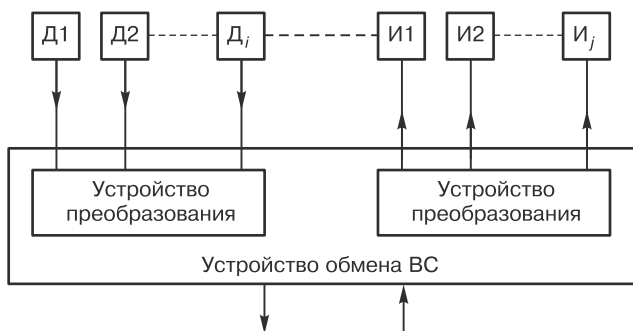


Рис. 3.5

Во втором варианте построения (рис. 3.6) абоненты, выдающие данные и принимающие их, используют согласованное кодовое представление сигналов, а преобразующие устройства (ПУ) непосредственно связаны с датчиками и исполнительными устройствами. Данные от абонентов передаются и принимаются через устройство обмена ВС.

Первый вариант построения используется при расстояниях между абонентами и ВС до 100...200 м. Ограничение

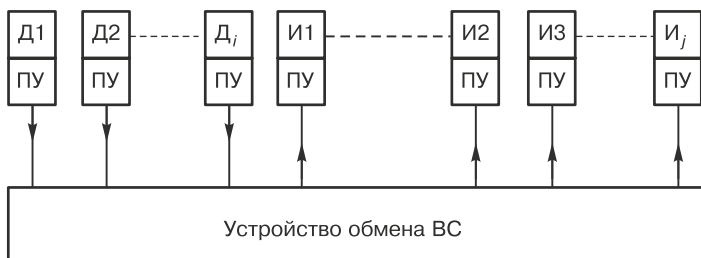


Рис. 3.6

длины связано с допустимой потерей точности при передаче аналоговых сигналов.

Второй вариант практически не имеет ограничений на расстояние между абонентами и ВС, так как используется кодовое представление сигналов. При расстоянии до 500 м применяют приборные цепи, а при больших — канальную аппаратуру линии связи.

**Магистральный принцип** построения связи с абонентами (рис. 3.7) предусматривает подключение каждого абонента к одной общей линии передачи данных, связанной через устройство обмена с ВС.

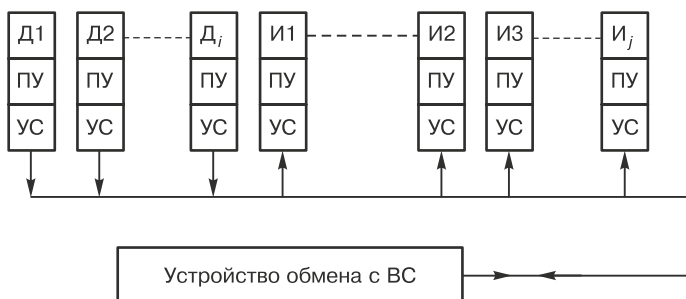


Рис. 3.7

Для осуществления этого принципа каждому абоненту необходимо иметь преобразующие и согласующие устройства (УС), поскольку к общей линии передачи (магистрале) можно подключать абонентов, имеющих согласованные электрические, временные и информационные характеристики. Первое устройство преобразует данные абонента в коды, необходимые для передачи по магистрале, а второе согласовывает электрические и временные параметры сигналов для передачи данных по магистрале.

При передаче абоненту данных от ВС также используются согласующее устройство, принимающее данные, и устройство, преобразующее эти данные в вид, требуемый исполнительному устройству. Таким образом, число устройств сопряжения и преобразования данных соответствует числу абонентов в системе. Магистраль через устройство обмена и управления сопрягается с ВС. Расстояния между аба-

нентами и ВС определяются нагрузочными характеристиками выходных усилителей для приборных цепей связи. Длина цепей связи определяется частотой передаваемой информации и составляет для относительно низких частот (до 1...3 МГц) до 200...300 м, а для частот 10...20 МГц — только 10...30 м. При увеличении расстояний более 1 км используются линии связи с канальной аппаратурой. В одной системе возможно использование обоих принципов связи.

Оценим преимущества и особенности двух принципов построения передачи данных.

1. Основным преимуществом *радиального принципа* построения передачи данных является независимость частоты и времени передачи данных от числа абонентов и их точности, а также возможность получать или передавать данные абонентам в любой последовательности и в любой момент времени, определяемый системой. Эти преимущества связаны с использованием для каждого абонента своей цепи передачи.

При построении устройства обмена имеется возможность сокращать объемы аппаратуры преобразования сигналов путем унификации абонентов (датчиков) и получения однородных сигналов.

Надежность передачи данных по радиальному принципу выше, чем по магистральному. Это связано с тем, что от каждого абонента ведется своя цепь передачи. При выходе из строя цепи передачи или абонента прекращается поступление только его данных, и это не влияет на работу других цепей передачи и их абонентов.

Основной недостаток этого принципа — большие объемы (массы) соединительных цепей, в особенности при значительном числе абонентов (от 10...20 и более). Для некоторых объектов этот параметр является важным при выборе принципа связи.

Возможности модернизации этого принципа несколько ниже, чем магистрального, так как при изменении числа абонентов необходимо проводить корректировку аппаратуры устройств обмена, которые имеют ограничения, например, по числу входных-выходных разъемов или свободному объему для включения дополнительных блоков в приборе.



2. *Магистральный принцип* построения передачи данных целесообразно использовать, когда требуется минимизировать число и длину связей между абонентами и устройством обмена ВС.

Преимуществом являются его возможности модернизации, которые позволяют увеличивать число абонентов с малой корректировкой устройства обмена. Это результат использования единых правил работы всех абонентов с одной линией передачи данных. Однако число подключаемых абонентов ограничивается нагрузочными характеристиками магистральных усилителей.

Важная особенность магистрального принципа — зависимость времени передачи от числа абонентов и объема передаваемых данных. Этот принцип связи должен иметь схему управления, определяющую последовательность предоставления линии абонентам, поскольку данные от всех абонентов передаются по единой линии, связанной с устройством обмена ВС.

Используются два метода предоставления магистралей абонентам для передачи данных: детерминированный и случайный.

В *детерминированном* методе устанавливается определенная очередь передачи данных от каждого абонента. Порядок передачи жестко закреплён в системе. Момент передачи данных от каждого абонента в ВС может быть фиксированным или плавающим в цикле работы ВС.

В *случайном* методе (или методе предоставления магистралей по запросу абонента) абоненту предоставляется магистраль для передачи данных по его запросу. При одновременном обращении двух или более абонентов возникает конфликтная ситуация, которая разрешается последовательным предоставлением магистралей, т. е. созданием очереди. Однако в этом случае возникает еще одно обстоятельство — необходимость определения порядка предоставления магистралей, т. е. возникает задача определения приоритетов абонентов.

Известен ряд алгоритмов реализации приоритетов, например предоставление магистралей:

- абоненту с более высоким приоритетом, в этом случае должны быть определены приоритеты всех абонентов;
- в порядке поступления сигналов запроса и создание очереди из поступающих запросов для их удовлетворения;
- в порядке поступления сигналов запроса и отказ в предоставлении магистрали при ее занятости, повторный запрос возможен через определенный временной интервал. Определение величины интервала производится по отдельному алгоритму.

Для устранения конфликтных ситуаций могут применяться:

- аппаратура управления магистралью, осуществляющая управление конфликтными ситуациями, в которую поступают запросы;
- аппаратура в составе абонентов, которая определяет момент повторного запроса для выхода в магистраль;
- программное обеспечение вычислительного средства для определения момента повторного запроса;
- комбинации из перечисленных реакций на занятость магистрали.

При детерминированном методе представления магистрали и фиксированных моментах передачи данных по магистрали среднее время ожидания абонентом  $T_0$  до начала работы с магистралью составляет

$$T_0 = \frac{(N-1)at_1}{2},$$

где  $N$  — число абонентов магистрали;  $at_1$  — время работы абонента с магистралью:

$$a = \frac{t_a + t_1}{t_1},$$

где  $t_a$  — длительность передачи адреса информации;  $t_1$  — длительность передачи данных абонента.

Эта формула предполагает, что время работы с магистралью у всех абонентов одинаковое. В детерминированном методе при переменном составе абонентов, когда только часть их готова к работе и участвует в обмене данными,

среднее время ожидания значительно уменьшается, и его можно оценить выражением

$$T_{\text{оп}} = \frac{ab_1}{2} n_{\text{п}} \left(1 - \frac{1}{N}\right),$$

где  $n_{\text{п}}$  — среднее число абонентов, участвующих в передаче данных в течение цикла работы системы

$$t_{\text{п}} = Nat_1.$$

При работе магистральной по запросу абонента среднее время ожидания определяется более сложно и имеет вид:

$$T_{\text{оз}} = at_1 \frac{N(N-1)(N-2)}{2} p^2(1-p)^{N-2} \left[ 1 - \frac{2}{3}(N-3) \frac{p}{p-1} + \right. \\ \left. + \frac{(N-3)(N-4)}{4} \left(\frac{p}{p-1}\right)^2 - \frac{(N-3)(N-4)(N-5)}{5} \left(\frac{p}{p-1}\right)^3 + \dots \right],$$

где  $p = \frac{at_1}{t_{\text{п}}}$  — вероятность занятости магистральной абонентом.

В этой формуле учитываются вероятности совпадений обращений к магистральной и время их рассасывания. Для расчетов обычно достаточно использование трех-четырех членов ввиду малости остальных. В формуле использован биномиальный закон вероятности совпадения событий, и при выводе предполагалось, что за период ожидания не появляются новые запросы.

Сравнивая два приведенных метода предоставления магистральной абонентам, отметим, что при плавающем моменте времени передачи в детерминированном методе среднее время ожидания может значительно уменьшаться при сокращении среднего числа абонентов, участвующих в передаче. Метод работы по запросу имеет меньшее время ожидания. При малой вероятности занятости магистральной одним абонентом в цикле работы системы и относительно большом числе абонентов с малой частотой обращения к магистральной по сравнению с детерминированным методом целесообразность использования одного из приведенных методов определяется расчетами по приведенным формулам.

Объем аппаратуры при применении магистрального принципа построения обмена больше, чем радиального, хотя она менее заметна, так как распределена по абонентам, а не сгруппирована в устройстве обмена, как при радиальном принципе. Объем кабеля и затраты на его монтаж обычно значительно ниже, чем для радиального, что важно для некоторых объектов.

Надежность работы магистрали ниже, так как нарушение участка линии передачи между абонентами может привести к потере данных от группы или от всех оставшихся абонентов. Этот недостаток устраняется введением в систему дополнительных цепей передачи данных — резервированием, что, однако, увеличивает объем кабелей до двух раз и снижает преимущества магистрали.

**Определение рациональной структуры связи.** Рассмотрим принципы построения связи, перейдем к выбору и созданию цепей передачи данных (ПД). При выборе принципа создания цепей ПД для конкретной системы необходимо учитывать цепи ПД резервируемых частей системы управления и вопросы обеспечения надежности собственно цепей ПД.

Для некоторых систем важным является надежность, защищенность и живучесть цепей ПД. Реализацию этого требования также необходимо предусматривать при выборе принципа создания цепей ПД. В одной системе управления могут применяться оба принципа построения, так как главным является минимизация затрат на создание цепей ПД системы управления.

Минимизация затрат на изготовление цепей ПД системы управления достигается выбором рационального расположения вычислительных средств или вычислительных машин, имеющих минимальные длины связей со своими абонентами. Абонентами вычислительных машин являются источники информации, исполнительные средства, средства индикации и управления.

Для определения длин цепей ПД от датчиков информации исполнительных средств, средств индикации и вычислительных средств с учетом обеспечения надежности и живучести выберем:

- $l$  — длину цепи ПД, состоящую из частей с координатами  $x$ ,  $y$  и  $z$ , которые могут располагаться в двух ортогональных плоскостях. Правила проведения линий ПД (ЛПД) между двумя абонентами, расположенными в одной плоскости, подчиняются ортогональным условиям;
- $i$  — число ЛПД в анализируемой системе.

Запишем суммарные затраты для *радиального* принципа построения ЛПД:

$$\sum_1^i (a_1 l_{pi} + b_{1p}) = S_p,$$

где  $a_1, b_1$  — коэффициенты аппроксимации.

На рис. 3.8 приведен пример, в котором источникам и потребителям информации присвоены номера. Точки перехода с одного направления к ортогональному обозначаются буквой  $a$ . Для упрощения принято, что абоненты расположены в одной плоскости.

Определим длины ЛПД между вычислительной машиной (ВМ) и абонентами для радиального принципа связи:

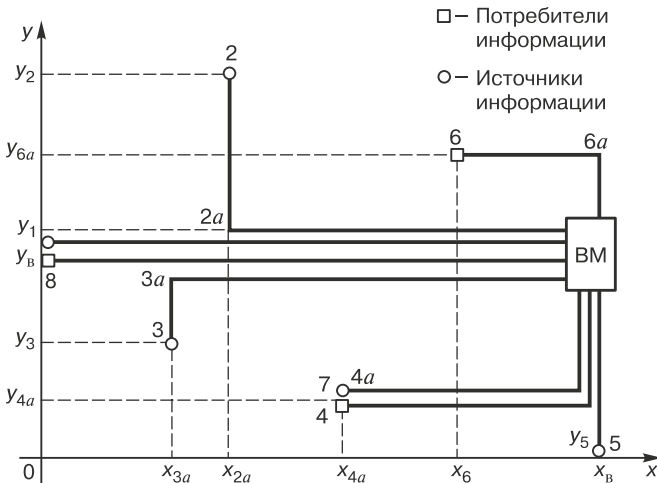


Рис. 3.8

Цепь	Длина
1-я	$l_1 = x_B$ ;
2-я	$l_2 = (y_2 - y_{2a}) + (x_B - x_{2a})$ ;
3-я	$l_3 = (y_{3a} - y_3) + (x_B - x_{3a})$ ;
4-я и 7-я	$l_{4,7} = 2[(y_B - y_{4a}) + (x_B - x_{4a})]$ ;
5-я	$l_5 = y_B$ ;
6-я	$l_6 = (y_{6a} - y_B) + (x_B - x_6)$ ;
8-я	$l_7 = (y_B - y_3) + x_B$ .

Для выбора местоположения ВМ, соответствующего минимальным затратам на цепи ПД в системе, рассмотрим несколько вариантов расположения ВМ на объекте.

Каждый вариант представляем затратами на его осуществление и координатами ВМ, которые можно записать как  $S_j(x_{Bj}, y_{Bj})$ . Сравнивая эти данные у различных вариантов расположения ВМ на объекте, можно выбрать вариант, имеющий минимальное значение  $S_{min}$  и соответствующие координаты расположения  $(x_B, y_B)$ .

Рассмотрим пример определения длин цепей для магистрального принципа связи (рис. 3.9).

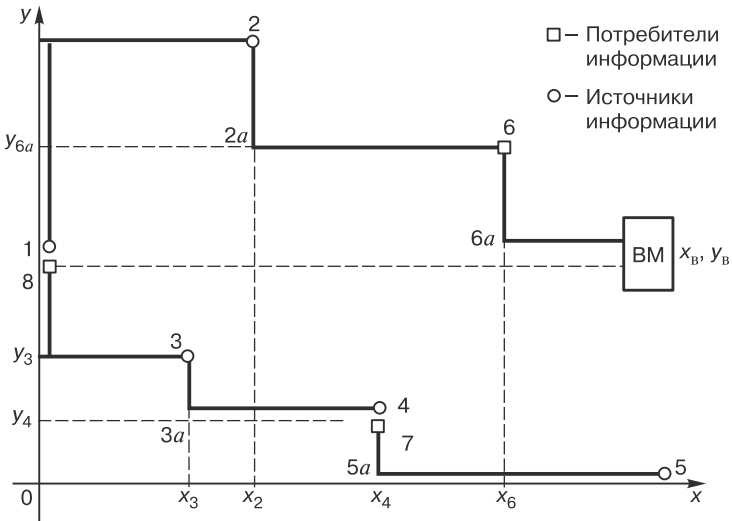


Рис. 3.9

Цепь	Длина
ВМ	$l_{в6} = (y_6 - y_в) + (x_в - x_6);$
6-2	$l_{62} = (y_2 - y_6) + (x_6 - x_2);$
2-1 и 2-8	$l_{21} = (y_2 - y_1) + x_2;$
1, 8-3	$l_{13} = (y_1 - y_3) + x_3;$
3-4, 7	$l_{34} = (y_3 - y_4) + (x_4 - x_3);$
4-5	$l_{45} = y_4 + (x_в - x_4).$

Затраты на создание цепи по магистральному принципу связи составляют

$$\sum_1^i (a_1 l_{mi} + b_{1m}) = S_{mj},$$

где  $l_{mi}$  — длины магистральных участков между источниками или исполнительными средствами — абонентами ВМ;  $b_{1m}$  — затраты на аппаратуру преобразования, управления магистралью и приемно-передающие схемы для магистрального принципа связи.

Операции, связанные с выбором магистральной схемы связи, имеющей минимальные затраты, аналогичны выбору для радиального принципа.

Для удобства анализа и определения варианта построения системы ПД целесообразно представить координаты положения ВМ относительно начала координат. Это расстояние определяется как

$$l_в = x_в + y_в,$$

а отношение

$$\frac{x_в}{y_в} = C_в.$$

Запишем закон изменения затрат на ПД от положения ВМ относительно начала координат:

$$S_в = f(l_в, C_в).$$

По величине  $S_в$  определяем целесообразный принцип построения системы ПД. На координатной плоскости  $S_в, l_в$  (рис. 3.10) поставим точки  $(S_{вj}, l_{вj})$ , характеризующие варианты построения системы ПД для радиального и магистрального принципов связи. Проведем через точки или вблизи них кривые и получим закономерность изменения затрат. Это дает возможность выбирать положение ВМ на

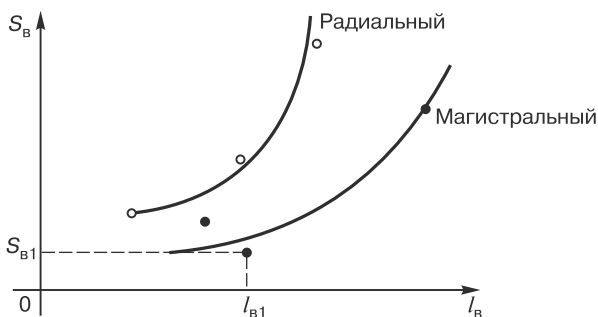


Рис. 3.10

объекте и принцип построения связи. По выбранному положению ВМ определяем ее координаты:

$$x_{B1} = \frac{C_1 l_{B1}}{C_1 + 1}; \quad y_{B1} = \frac{l_{B1}}{C_1 + 1}.$$

**Выбор принципа передачи данных для многомашинных систем.** Выбор принципа передачи данных и определение местоположения нескольких машин или вычислительных устройств на объекте является более сложной задачей, чем рассмотренная задача по определению расположения одной ВМ.

Для выбора местоположения вычислительных средств системы сформируем узлы обработки информации. Центром каждого узла является вычислительное средство (вычислительная машина, вычислительное устройство), которое имеет связи со своими абонентами.

Рассмотрим последовательно влияние принятого местоположения центра каждого узла на затраты на всю систему ПД, например для трех положений узла. По этим данным посредством аппроксимации определим зависимость затрат на изменение местоположения каждого узла или группы узлов, которые совместно будут менять свое положение на объекте.

Нанеся эти зависимости на координатную плоскость  $(S_B, l_B)$ , получим представление о влиянии изменения положения узлов обработки информации на затраты по построению системы. Зависимости строятся для радиального и магистрального принципов связи.



### 3.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРАВИЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИИ И КОНТРОЛЮ СИСТЕМЫ И ЕЕ ЧАСТЕЙ

Правильность информации каждой части системы определяется надежностью используемых элементов и методом контроля информации, объемом ее аппаратуры, технологией изготовления и качеством контроля.

Правильность информации всей системы определяется самой низкой правильностью информации одной из частей системы. Поэтому главное внимание разработчиков аппаратуры должно быть обращено на выявление тех частей системы, которые обладают самой низкой правильностью, и на принятие решений по ее повышению на уровне требований системы, т. е.

$$D_i \geq D_c.$$

Минимальная правильность информации любой  $i$ -й части системы должна быть выше правильности информации всей системы.

Как известно, правильность информации или выдаваемых данных характеризуется интервалом времени выдачи правильных данных и определяется качеством контроля и надежностью работы аппаратуры.

Основное влияние на правильность информации каждой части вычислительных средств оказывает надежность ее аппаратуры. Поэтому для получения требуемой правильности информации  $i$ -й части вычислительных средств в ряде случаев для увеличения надежности приходится использовать резервирование.

Рассмотрим три возможных пути обеспечения правильности информации, которые имеют общие цели, а именно, получение правильной информации и принятие решений о резервировании неисправной части.

Первый путь связан с программными методами контроля, сравнением данных на аппаратуре системы; второй — с использованием дополнительной аппаратуры и схем контроля для проверки работы аппаратуры частей системы; третий — с комплексным использованием двух первых путей.

Все три пути для оценки правильности данных используются для получения сигнала о неправильности данных. Однако сначала необходимо определить причину его появления.

Существуют три причины появления сигнала неисправности:

- 1) в результате воздействия помехи;
- 2) вследствие выхода из строя элемента аппаратуры;
- 3) вследствие нарушения цепи связи.

Для определения причины проводят повторный одно-, двух- или более кратный контроль. Отсутствие сигнала неправильности свидетельствует о воздействии помехи и называется *сбоем*. В этом случае проводится восстановление данных и продолжается выполнение программы.

Присутствие сигнала неправильности при повторных проведениях контроля свидетельствует о выходе из строя элемента аппаратуры или нарушении цепи связи и необходимости остановки системы, проведения резервирования или ремонта.

Для уменьшения времени, расходуемого при контроле на классификацию сбоя или выхода из строя аппаратуры и цепи связи, программу решения делят на части. Контроль каждой части программы задачи назовем *актом проверки*.

Рассмотрим пути обеспечения правильности информации.

**Программный путь обеспечения требуемой правильности на основе аппаратуры системы (ее вычислительных средств).** Правильность определяется выражением

$$D_{\Pi} = K_{\Pi} T_c,$$

где  $K_{\Pi}$  — коэффициент качества программного метода контроля, который определяется используемым методом контроля и проведения операции сравнения;  $T_c$  — надежность аппаратуры, участвующей в проведении программного контроля; обычно это аппаратура вычислительных средств.

Известны три принципиально различных метода контроля. Первый основан на сравнении данных, полученных при решении одной задачи разными программами или

алгоритмами, т. е. основной и контрольной программами на одном или двух вычислительных устройствах (ВУ). Второй основан на сравнении данных, полученных при решении одной задачи на одной, двух, трех и более ВУ. Он известен как мажоритарный метод. Третий основан на проверке по тестам правильной работы аппаратуры устройства и цепей связи устройства и экстраполировании или интерполировании этого результата на данные, полученные при выполнении программы решения задачи.

При экстраполировании результат тест-контроля распространяется на последующую работу устройства, т. е. сначала проводится тест-контроль устройства длительностью ( $t_{пт}$ ), а затем выполнение программы длительностью ( $t_{пз}$ ).

При интерполировании результат тест-контроля распространяется на ранее выполненную работу устройства, т. е. сначала выполняется программа задачи, а затем проводится тест-контроль устройства.

Коэффициент качества у *первого* метода контроля определяется точностью выполнения операции сравнения  $K_{пс}$ :

$$K_{п1} = K_{пс}.$$

Этот метод выявляет все сбои и неисправности в работе аппаратуры. Время получения ответа о проведенной проверке определяется суммой времени выполнения двух программ решения задачи — основной и контрольной при одном ВУ. При двух ВУ — максимальным временем выполнения программы. *Второй* метод выявляет все сбои и неисправности в работе ВУ. Время проверки определяется длительностью выполнения программы одним ВУ с учетом схем контроля.

Коэффициент качества *третьего* метода контроля зависит также и от коэффициента полноты теста ( $\beta$ ), который определяется отношением количества проверенных тестом на работоспособность элементов к количеству всех элементов системы или устройства:

$$K_{п2} = K_{пс} \beta.$$

Третий метод контроля с использованием тестов не выявляет сбои, появившиеся при выполнении программы задачи, определение сбоев и неисправностей при выполнении теста зависит от его полноты.

**Аппаратурный путь обеспечения.** Требуемая правильность выходных данных определяется выражением:

$$D_v = K_a T_{ca},$$

где  $K_a$  — коэффициент качества аппаратурного метода контроля, связанный с методами аппаратурного контроля информации;  $T_{ca}$  — надежность аппаратуры системы с учетом аппаратуры контроля.

Получили распространение три метода контроля работы аппаратуры системы или устройства: 1) данных на «чет-нечет»; 2) на основе применения «модуля 3» и 3) «сравнения кодов». Все они увеличивают количество разрядов в числе. Известен метод контроля данных, представляемых в коде «1 из 4».

Коэффициент качества контроля для перечисленных методов определяется по формуле:

$$K = \frac{n_{oi}}{P_{ki} + (P_{ri}/P_{ki})},$$

где  $n_{oi}$  — количество ошибок, выявленных  $i$ -м методом контроля;  $P_{ki} + (P_{ri}/P_{ki})$  — максимальное количество ошибок  $i$ -й части данных;  $P_{ki}$  — количество контрольных разрядов — ячеек хранения у  $i$ -го метода контроля, в которых возможны ошибки;  $P_{ri}$  — количество разрядов — ячеек хранения в контролируемом числе, в которых возможны ошибки.

Определим величины коэффициентов у перечисленных методов контроля.

1. Контроль «чет-нечет» выявляет только одну ошибку в группе разрядов ( $n_{o1} = 1$ ) независимо от количества разрядов и использует один контрольный разряд

$$K_1 = \frac{1}{1 + P_r}.$$

Например, при числе разрядов 32

$$K_1 = \frac{1}{1+32} = 0,030.$$

Общее количество разрядов в коде равно  $32 + 1 = 33$ .

При контроле «чет-нечет» для каждого байта числа запишем:

$$K_2 = \frac{q}{q + (P_2/q)} = \frac{q^2}{q^2 + P_r},$$

где  $q$  — количество байтов и ошибок в числе.

Например, при байтовом контроле 32-разрядного числа, состоящего из четырех байтов, запишем:

$$K_2 = \frac{4}{4 + (32/4)} = 0,33.$$

Общее количество разрядов в коде составит  $32 + 4 = 36$ .

2. Контроль по «модулю 3» делит число на группы из двух разрядов. Он выявляет все одиночные ошибки в группе  $n_{o2} = 1$ . При числе группы  $P_r/P_k$  количество ошибок в числе

$$K_3 = \frac{1 \cdot (P_r/P_k)}{P_k + (P_r/P_k)} = \frac{P_r}{4 + P_r}.$$

При количестве разрядов  $P_r = 32$

$$K_3 = \frac{32}{4+32} = 0,88,$$

общее количество разрядов в коде равно  $32 + 2 = 34$ .

3. Контроль «сравнения кодов» выявляет  $n_{o3} = P_r$  ошибок, так как количество контрольных разрядов  $P_k = P_r$ :

$$K_4 = \frac{P_k}{P_k + (P_r/P_k)} = \frac{P_r}{P_r + 1}.$$

Например, при числе разрядов 32

$$K_4 = \frac{32}{32+1} = 0,970,$$

общее количество разрядов для проведения контроля составит  $32 + 32 = 64$ .

Контроль с применением кода «1 из 4» основан на системе кодирования «1 из 4» с активным нулем. В основе — проверка наличия в разряде кода «1 из 4» одной единицы. Таблица соответствия двоичных кодов с кодом «1 из 4» одного разряда имеет вид, представленный на рис. 3.11.

Двоичный код	Код «1 из 4»
00	0001
01	0010
10	0100
11	1000

Рис. 3.11

Коэффициент качества контроля, учитывая, что не используются специальные контрольные разряды и их функции сочетаются с разрядами ячеек хранения, запишем:

$$K_{1-4} = \frac{4n_{oi}}{4P_2} = 1,$$

следовательно,  $n_{oi} = P_2$ . Отметим, что на коэффициент качества не влияет количество разрядов в числе, что характерно для рассмотренных методов контроля.

**Оценка затрат для обеспечения достоверности данных систем.** Эти затраты состоят из двух групп:

1) на время для проведения контроля или повышения быстродействия работы вычислительных средств;

2) на дополнительную аппаратуру:

- памяти при программных методах контроля,
- специальных схем аппаратурных методов контроля.

Определим затраты времени для получения достоверных данных у рассматриваемых путей и методов.

Время проведения контроля для первого метода (с контрольной программой) запишем в виде:

$$t_{31} = \sum_{i=1}^n (t_{n3i} + t_{nki}),$$

где  $t_{n3i}$  и  $t_{nki}$  — время выполнения акта контроля для основной и контрольной программ;  $n$  — количество частей, на которые разбиты программы для проведения контроля.

Время проведения контроля по второму методу с тест-программами

$$t_{32} = \sum_{i=1}^n (t_{n3i} + t_{\tau}),$$

где  $t_{\tau}$  — время проведения тестового контроля.

Приведенные времена выполнения контроля соответствуют случаю отсутствия сигнала неправильности данных. При появлении этого сигнала время проведения одного акта контроля  $t_{3i}$  увеличится в три и более раз.

Для первого метода оно составит

$$t_{31i} = (2 \dots 3)(t_{n3i} + t_{nki}),$$

для второго метода при повторении только тест-программы:

$$t_{32i} = (2 \dots 3)(t_{\tau} + t_{n3i}),$$

для третьего при повторении всей части программы:

$$t_{33i} = (2 \dots 3)(t_{n3i} + t_{\tau}).$$

Суммарное время выполнения программы для первого метода (по контрольной программе):

$$t_{31\Sigma} = \sum_{i=1}^n (t_{n3i} + t_{nki}) + \sum_{j=1}^k (t_{n3j} + t_{nkj})(2 \dots 3),$$

где  $k$  — количество сигналов о неправильных данных.

Суммарное время выполнения программы при тестировании для второго и третьего метода контроля запишем в виде:

$$t_{32\Sigma} = \sum_{i=1}^n (t_{n3i} + t_{\tau}) + \sum_{j=1}^k [t_{n3j} + (2 \dots 3)t_{\tau}]$$

и

$$t_{33\Sigma} = \sum_{i=1}^n (t_{n3i} + t_{\tau}) + \sum_{j=1}^k (t_{n3j} + t_{\tau})(2 \dots 3).$$

Время выполнения программы распространенных аппаратных методов контроля составит

$$t_{3a} = \sum_{i=1}^n t_{n3i}(1 + \alpha_i),$$

где  $\alpha_i$  — коэффициент увеличения времени выполнения команды с контролем,  $\alpha = 0, 1 \dots 0, 2$ .

При появлении сигнала о неправильности данных время проведения одного акта контроля этой части увеличивается по формуле:

$$t_{3ai} = t_{n3i}(1 + \alpha_i)(2 \dots 3).$$

Суммарное время выполнения программы с аппаратурным контролем

$$t_{3a\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_{n3i}(1 + \alpha_i) + \sum_{j=1}^k t_{n3j}(1 + \alpha_j)(2 \dots 3).$$

Для оценки времени контроля примем, что времена выполнения частей, на которые делится программа задачи при проведении контроля, одинаковые. Количество сигналов неисправности ( $k$ ) оценим зависимостью  $k = (0, 01 \dots 0, 05) n$ , где  $0, 01 \dots 0, 05$  — вероятность появления неправильного результата.

Влияние контроля на повышение быстродействия ВС оценим отношением времени решения задачи с контролем ко времени решения задачи при отсутствии контроля, введя коэффициент  $\gamma$ .

Запишем:

$$\gamma_{k1} = \frac{t_{31\Sigma}}{n t_{n3}}; \quad \gamma_{k2} = \frac{t_{32\Sigma}}{n t_{n3}};$$

$$\gamma_{k3} = \frac{t_{33\Sigma}}{n t_{n3}}; \quad \gamma_{k4} = \frac{t_{34\Sigma}}{n t_{n3}}.$$

Влияние методов контроля на повышение требований к быстродействию запишем в виде:

$$V_{bk1} = V_B \gamma_{k1}; \quad V_{bk2} = V_B \gamma_{k2};$$

$$V_{bk3} = V_B \gamma_{k3}; \quad V_{bk4} = V_B \gamma_{k4},$$

где  $V_B$  — требование к быстродействию вычислительных средств без учета контроля.

Оценим объем аппаратуры для анализируемых методов контроля. Для программных методов контроля  $i$ -й части



системы объем аппаратуры определяется размерами контрольной программы или тест-программой с контрольными данными и объемом аппаратуры, участвующей в контрольных операциях (вычислительным устройством).

Дополнительное увеличение памяти для программных методов контроля:

- при использовании метода с контрольной программой:

$$N_{k1} = V_{\text{в}} t_{\text{пк}\Sigma};$$

- при использовании метода с тест-программой:

$$N_{k2} = V_{\text{в}} t_{\text{т}} + N_{\text{г}},$$

где  $N_{\text{г}}$  — количество контрольных данных.

Увеличение аппаратуры памяти запишем в виде:

$$W_{\text{ин}} = W_{\text{из}} b_{\text{п}} \left( 1 + \frac{N_k}{N_3} \right),$$

где  $W_{\text{из}}$  — объем аппаратуры памяти, требуемой для решения задачи, состоящей из  $N_3$  слов или байт;  $b_{\text{п}}$  — коэффициент, преобразующий количество слов в объем аппаратуры.

Увеличение объема аппаратуры  $i$ -й части системы при использовании аппаратурных методов контроля и с учетом схем контроля и увеличения разрядности кодов в среднем оценивается коэффициентом  $0,1 \dots 0,2$  по отношению к аппаратуре без контроля ( $W_i$ ). Таким образом, суммарный объем  $i$ -й части аппаратуры с контролем:

$$W_{\text{ин}} = W_i(1, 1 \dots 1, 2).$$

При учете схем резервирования (коммутации и управления) суммарный объем составит  $W'_{\text{ин}} = W_i(1, 1 \dots 1, 3)p_i$ .

По приведенным данным можно оценить надежность работы или затраты на приобретение  $i$ -й части системы.

Объем аппаратуры  $i$ -й части системы для программных и аппаратурных методов при необходимости резервирования увеличивается пропорционально кратности резервирования с учетом коммутации и управления:

$$p_i = \frac{D_c}{D_i} = \frac{D_c}{K_i T_i}.$$

Оценим затраты на  $i$ -е части аппаратуры, обеспечивающие требуемую достоверность информации. Затраты будем оценивать по объемам аппаратуры каждой  $i$ -й части.

Для программных методов контроля затраты запишем

$$s_{ki} = s_i \frac{a_{ki}}{1 - b_{ki} W_{iп}},$$

где  $s_i$  — затраты на аппаратуру  $i$ -й части без контроля;  $a_{ki}$ ,  $b_{ki}$  — коэффициенты аппроксимации, определяемые для аппаратуры, которая изготовлена по одинаковой технологии и использует элементы одного уровня миниатюризации.

Для аппаратурных методов контроля затраты определяются зависимостью

$$s_{ai} = s_i \frac{a'_{ki}}{1 - b'_{ki} W_{ia}}.$$

Выбор метода контроля для обеспечения требуемой достоверности информации как для частей, так и для всей системы зависит от многих факторов, связанных с созданием системы и часто определяемых политикой финансирования, временем создания, использованием комплектующих изделий определенных фирм, взаимоотношениями в фирме (или фирмах), создающей систему. Поэтому целесообразно проводить технико-экономическую оценку принимаемых решений, которые связаны с появлением различных факторов.

Используем для технико-экономической оценки затраты на определенные части системы  $S_{cc}$  в единицу времени с применением программного  $S_{сп}$  и аппаратурного контроля  $S_{ca}$ :

$$S_{cc} = (s_o + s_m + S_c) \frac{1}{M}, \quad (3.4)$$

где  $s_o$  — затраты на обслуживание вычислительных средств, электроэнергию и занимаемые объемы;  $s_m$  — затраты на расходные материалы, связанные с работой вычислительных средств;  $S_c$  — затраты на приобретение аппаратуры системы;  $M$  — объем данных или информации, выдаваемых системой в единицу времени.

Для предварительной оценки примем, что затраты на обслуживание и расходные материалы пропорциональны затратам на приобретение аппаратуры системы:

$$s_o = b_o S_c; \quad s_m = b_m S_c,$$

где  $b_o, b_m$  — коэффициенты пропорциональности.

### 3.6. ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА АППАРАТУРУ СИСТЕМЫ С ТРЕБУЕМОЙ ПРАВИЛЬНОСТЬЮ ИНФОРМАЦИИ

Затраты на создание аппаратуры системы с требуемой правильностью информации разделим на две части. Для одной части, которая является базовой, рассмотрим затраты, связанные с построением вычислительных средств  $S_b$ , а для другой — затраты на цифровые средства управления  $S_{ц}$ :

$$S_c = S_b + S_{ц}.$$

Затраты на создание вычислительных средств системы связаны главным образом со стоимостью интегральных схем, являющихся основой вычислительных средств, и определяются их сложностью (количеством элементов), быстродействием и в основном технологией производства, которой соответствует определенная надежность.

Для удобства анализа затрат по обеспечению заданной правильности рассмотрим отдельно затраты на использование программных  $S_{вп}$  и аппаратурных  $S_{ва}$  методов контроля.

Затраты на обеспечение правильности информации при программных методах контроля

$$S_{вп} = \sum_{i=1}^{n_1} (s_{\pi i} + p_i s_{ki}) + \sum_{i=n_1}^{n_2} (s_{\pi i} + s_{ki}), \quad (3.5)$$

где  $s_{\pi i}$  — затраты на создание контрольной программы или тест-программы для  $i$ -й части вычислительных средств;  $p_i$  — кратность резервирования аппаратуры  $i$ -й части вычислительных средств;  $s_{ki}$  — затраты на вычислительные средства;  $n_1$  — число частей, требующих резервирования для удовлетворения требований правильности информации;  $(n_2 - n_1)$  — число частей, удовлетворяющих требованию правильности информации.

Затраты на обеспечение правильности информации при аппаратурных методах контроля

$$S_{\text{ва}} = \sum_{i=1}^{n_1} p_i s_{ai} + \sum_{i=n_1}^{n_2} s_{ai}, \quad (3.6)$$

где  $s_{ai}$  — затраты на аппаратуру ВС с контролем.

Оценим затраты на приобретение вычислительных средств с учетом использования как программных методов обеспечения правильности информации, так и аппаратурных. Аппроксимирующие уравнения для этих методов имеют одинаковый вид, но разные величины коэффициентов.

Затраты на приобретение вычислительных средств, имеющих требуемую правильность информации и использующих программные методы контроля, составят

$$S_{\text{пи}} = a_2 V_{\text{вк}(1\dots3)} + a_1 N_c + a_0,$$

где  $a_2$ ,  $a_1$ ,  $a_0$  — коэффициенты аппроксимации, определяемые для  $i$ -й группы вычислительных средств, которые используют программный контроль и имеют одинаковый уровень микроминиатюризации и одинаковую технологию;  $V_{\text{вк}(1\dots3)}$  — быстродействие вычислительных средств, учитывающее требуемую правильность информации (контроль) у всех трех вариантов программного контроля;  $N_c$  — объем памяти вычислительных средств (в словах или байтах), который состоит из памяти, необходимой для решения задач системы  $N_3$  (данные, программы, константы) и памяти, которая используется при программных методах контроля  $N_k$ ,  $N_c = N_3 + N_k$ . Затраты на создание контрольных или тест-программ:

$$s_{\text{пи}} = N_{ki} b_{\text{п}},$$

где  $b_{\text{п}}$  — коэффициент, учитывающий затраты на создание 100 команд программы.

Затраты на приобретение вычислительных средств, имеющих требуемую правильность информации и использующих аппаратурные методы контроля, составят

$$S_{ai} = a'_2 V_{\text{вк}a} + a'_1 N'_c + a'_0,$$

где  $a'_2, a'_1, a'_0$  — коэффициенты аппроксимации, определяемые для  $i$ -й группы вычислительных средств, использующих аппаратный контроль и имеющих одинаковые уровень микроминиатюризации и технологию;  $V_{\text{вкв}}$  — быстродействие вычислительных средств, учитывающее требуемую правильность информации при аппаратном контроле;  $N'_c$  — объем памяти вычислительных средств,  $N'_c = N_3(1, 1 \dots 1, 2)$ .

Подставив полученное выражение в уравнение затрат (3.5) и приняв для упрощения анализа равенство затрат у отдельных частей вычислительных средств, после преобразований запишем:

$$S_{\text{вп}} = [a_2 V_{\text{вк}} + a_1(N_3 + N_{\text{к}}) + a_0][(p-1)n_1 + n_2] + N_{\text{к}} b_{\text{п}} n_2.$$

После подстановки введенных зависимостей в уравнение затрат (3.6) и проведения преобразований получим

$$S_{\text{ва}} = [a'_2 V_{\text{вкв}} + a'_1 N_3(1, 1 \dots 1, 2) + a'_0][(p-1)n_1 + n_2].$$

Затраты на цифровую аппаратуру управления на начальном этапе проектирования в зависимости от структуры обмена информацией (радиальной или магистральной) оцениваются следующим коэффициентом по отношению к вычислительным средствам:

$$S_{\text{ц}} = S_{\text{в}}(0, 3 \dots 2, 5).$$

На начальном этапе проектирования  $M$  оценивается величиной

$$M = a_M V_{\text{вк}} + b_M,$$

где  $a_M, b_M$  — коэффициенты аппроксимации, которые определены по показателям  $M$  и  $V_{\text{вк}}$  систем, близких по решаемым задачам.

Подставим полученные выражения в уравнение (3.4) и получим:

- для программного метода контроля

$$S_{\text{ссп}} = (b_0 + b_m + 1)[1 + (0, 3 \dots 2, 5)] \times \left\{ \frac{[a_2 V_{\text{вк}} + a_1(N_3 + N_{\text{к}}) + a_0][(p-1)n_1 + n_2] + N_{\text{к}} b_{\text{п}} n_2}{a_M V_{\text{вк}} + b_M} \right\};$$

- для аппаратного метода контроля:

$$S_{\text{сса}} = (b_0 + b_m + 1)[1 + (0,3 \dots 2,5)] \times \\ \times \left\{ \frac{[a'_2 V_{\text{вк}} + a'_1(1,1 \dots 1,2) + a'_0][(p-1)n_1 + n_2]}{a_M V_{\text{вк}} + b_M} \right\}.$$

Выбор метода контроля информации для обеспечения требуемой правильности всей системы или ее отдельных частей оценивается величиной затрат на вырабатываемые этой системой данные. Чем меньше затраты  $S_{\text{сс}}$ , тем выгоднее при создании системы использовать программный или аппаратный контроль.

### 3.7. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ

Серьезной проблемой построения системы является выбор условий ее обслуживания в процессе эксплуатации. Известны два вида систем: 1) с обслуживанием, когда на объекте в процессе функционирования возможны замены отдельных частей и элементов обслуживающим персоналом; 2) необслуживаемые — в процессе функционирования системы на объекте работы по замене производятся специальной аппаратурой.

Выбор условий обслуживания часто оказывается предопределенным традицией в конкретных областях использования системы. Но развитие техники и элементной базы создает условия для перманентного пересмотра традиционных взглядов по выбору условий обслуживания системы.

Главный вопрос, определяющий решение поставленной проблемы, — экономическая целесообразность, а в ряде случаев — условия эксплуатации и безопасность. Наиболее остро проблема стоит для систем длительной эксплуатации.

Для обслуживаемой системы на объекте необходимо присутствие квалифицированных специалистов и наличие соответствующего количества запасных блоков и элементов системы, на что расходуются дополнительные объемы как для размещения специалистов, так и для ЗИПа. Кроме того, подготовка квалифицированных кадров для обслуживания систем требует определенной организации и затрат на их

обучение. Однако создание необслуживаемой системы при том же уровне надежности элементов связано с усложнением — увеличением кратности резервирования и усложнением программного обеспечения, что приводит к увеличению количества аппаратуры, устанавливаемой на объекте, и росту потребления электроэнергии. При использовании более надежных, совершенных элементов, исключающих необходимость резервирования и усложнения программ, увеличиваются затраты на элементы. Поэтому большое значение приобретает оценка общих затрат, связанных с применением необслуживаемой системы по сравнению с обслуживаемой, а также выявление зависимостей, влияющих на оценку целесообразности построения системы без обслуживания.

Для выбора условий построения оценим эксплуатационные затраты на занимаемые объемы или площади и затраты на эксплуатацию за определенный период жизни обслуживаемой и необслуживаемой систем, которые обладают равной надежностью. Система, требующая меньших затрат на эксплуатацию, считается более перспективной для дальнейшего анализа.

Рассмотрим общие затраты на эксплуатацию в течение определенного времени, которые складываются из затрат:

- на эксплуатацию объема или площади, которую занимает система на объекте, или ее массы  $S_c$ ;
- обслуживание, которое состоит из затрат на обслуживающий персонал и эксплуатацию дополнительных объемов или площадей, требуемых для этого на объекте  $S_o$ ;
- обеспечение системы электроэнергией и охлаждением и необходимых для этого объемов  $S_э$ ;
- изготовление и хранение запасных блоков, устройств и инструмента (ЗИП)  $S_з$ .

Затраты на эксплуатацию определим для объектов, которые работают периодами. Это наиболее распространенный тип. В их составе есть системы как разового, так и длительного использования. Для систем разового использования период оценивается проверкой работы по выполнению функций системы.

Затраты на период работы системы запишем в виде

$$S = S_c + S_o + S_э + S_з.$$

Выведем зависимости, связывающие затраты с техническими характеристиками системы, для условий эксплуатации с обслуживанием и без обслуживания.

Затраты на эксплуатацию площади или объема определяются следующим выражением:

$$S_c = W_o s_o T_p,$$

где  $W_o$  — объем или площадь, занимаемая системой на объекте, с учетом площадей для обслуживания;  $s_o$  — затраты на эксплуатацию единицы объема или площади объекта в единицу времени руб./дм<sup>3</sup> · ч;  $T_p$  — длительность работы системы.

Затраты на обслуживающий персонал запишем в виде

$$S_o = k(a_1 s_o + s_{л}) T_p,$$

где  $k$  — численность обслуживающего персонала, необходимого для эксплуатации системы, чел.;  $a_1$  — объем, требуемый для одного человека при его размещении на объекте;  $s_{л}$  — затраты на одного человека с учетом необходимого обеспечения на объекте, руб./чел. · ч.

Затраты на электроэнергию и охлаждение системы оценим через дополнительные объемы, необходимые для работы системы:

$$S_э = W_o \delta_э s_o T_p,$$

где  $\delta_э$  — коэффициент, учитывающий дополнительные объемы или площади на объекте, которые требуются для получения электроэнергии и охлаждения.

Затраты на хранение ЗИПа запишем в виде

$$S_з = W_o \delta_з s_o T_p,$$

где  $\delta_з$  — коэффициент, учитывающий долю объема или площади ЗИПа, используемого в системе.

Затраты на эксплуатацию площади или объема, занимаемого на объекте необслуживаемой системы:

$$S''_c = W_n s_o T_p,$$



где  $W_{\text{н}}$  — площадь или объем занимаемый системой на объекте с учетом управления резервированием.

Затраты на электроэнергию и охлаждение системы, выраженные через дополнительные площади или объемы:

$$S_{\text{э}} = W_{\text{н}}^* s_{\text{o}} T_{\text{p}} \delta_{\text{э}},$$

где  $W_{\text{н}}^*$  — площадь или объем, занимаемый работающей частью системы, которая не в резерве.

Запишем уравнения для обслуживаемой и необслуживаемой систем, выразив затраты через величины объемов:

$$S' = W_{\text{o}} s_{\text{o}} T_{\text{p}} + k(a_1 s_{\text{o}} + s_{\text{л}}) T_{\text{p}} + W_{\text{o}} \delta_{\text{э}} s_{\text{o}} T_{\text{p}} + W_{\text{o}} \delta_{\text{з}} s_{\text{o}} T_{\text{p}}$$

и

$$S'' = W_{\text{н}} s_{\text{o}} T_{\text{p}} + W_{\text{н}}^* s_{\text{o}} T_{\text{p}} \delta_{\text{э}}.$$

После проведения преобразований получим

$$S' = W_{\text{o}} s_{\text{o}} T_{\text{p}} (1 + \delta_{\text{э}} + \delta_{\text{з}}) + k T_{\text{p}} (a_1 s_{\text{o}} + s_{\text{л}}); \quad (3.7)$$

$$S'' = W_{\text{н}} s_{\text{o}} T_{\text{p}} \left( 1 + \frac{W_{\text{н}}^*}{W_{\text{н}}} \delta_{\text{э}} \right). \quad (3.8)$$

Рациональность построения системы с обслуживанием или без обслуживания определяется знаком разности затрат на эксплуатацию:

$$\Delta S = S' - S''. \quad (3.9)$$

Если  $\Delta S > 0$ , то целесообразно создание необслуживаемой системы, так как затраты на ее эксплуатацию меньше, чем на обслуживаемую.

Подставив в уравнение (3.9) значения затрат (3.7) и (3.8), после преобразований запишем:

$$\begin{aligned} \Delta S = T_{\text{p}} S_{\text{o}} [(W_{\text{o}} - W_{\text{н}}) + W_{\text{o}} \delta_{\text{з}}] + (W_{\text{o}} - W_{\text{н}}^*) + \\ + T_{\text{p}} s_{\text{o}} \delta_{\text{э}} + k T_{\text{p}} (s_{\text{л}} + a_1 s_{\text{o}}). \end{aligned} \quad (3.10)$$

Это уравнение дает возможность по знаку  $\Delta S$  определить рациональность построения обслуживаемой или необслуживаемой системы.

Для оценки влияния занимаемых частями аппаратуры объемов или площадей на затраты (у обслуживаемой и необслуживаемой систем) определим зависимости между частями.

Для упрощения дальнейших вычислений примем:

- обслуживаемая и необслуживаемая системы разделены на равное число частей  $n_c$ ;
- объемы частей у обслуживаемой и необслуживаемой систем связаны соотношением

$$\gamma = \frac{W_{\text{на}}}{W_{\text{об}}},$$

где  $W_{\text{на}}$  — объем части необслуживаемой системы;  $W_{\text{об}}$  — объем части обслуживаемой системы.

Величина  $\gamma$  обычно больше единицы вследствие увеличения объема необслуживаемой части, связанного с автоматическим переключением и управлением резервированием.

Величина  $\gamma$  на основании статистических данных оценивается диапазоном  $\gamma = 0,05 \dots 0,15$ .

Определим слагаемые уравнения (3.10):  $W_o - W_n^*$ ;  $W_o - W_n^*$  и  $\delta_z$ .

Выразим объемы, занимаемые системами, через объем частей, занимаемых для необслуживаемой системы:

$$W_n = n_c W_{\text{на}}$$

или, используя зависимость  $W_{\text{на}} = W_{\text{об}}\gamma$ , запишем

$$W_n = n_c W_{\text{об}}\gamma.$$

Для обслуживаемой системы

$$W_o = n_c W_{\text{об}}.$$

Определим первое слагаемое

$$W_o - W_n = n_c W_{\text{об}} - n_c W_{\text{об}}\gamma = n_c W_{\text{об}}(1 - \gamma).$$

Для определения второго слагаемого необходимо выявить связь  $W_n^*$  с  $W_n$ , которая представляется отношением

$$\frac{W_n^*}{W_n} = \alpha,$$

оценивающим долю работающих нерезервных частей системы. У большинства систем с резервированием величина  $\alpha$  находится в диапазоне  $\alpha = 0,5 \dots 0,7$ .

Тогда объем частей работающей аппаратуры  $W_{\text{н}}^* = W_{\text{н}} \alpha$ .

Второе слагаемое запишем в виде

$$W_{\text{o}} - W_{\text{н}}^* = W_{\text{o}} - W_{\text{н}} \alpha$$

или

$$W_{\text{o}} - W_{\text{н}}^* = n_{\text{с}} W_{\text{об}} (1 - \alpha \gamma).$$

Подставив слагаемые в уравнение (3.10) оценки рациональности построения обслуживаемой и необслуживаемой системы, запишем

$$\Delta S = T_{\text{р}} S_{\text{o}} n_{\text{с}} W_{\text{об}} [(1 - \gamma) + \delta_{\text{з}} + (1 - \alpha \gamma)] + k T_{\text{р}} (s_{\text{л}} + a_1 s_{\text{o}}).$$

Знак  $\Delta S$  определяется значениями коэффициентов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta_{\text{з}}$ ,  $\delta_{\text{с}}$ , которые задаются уровнем развития формы.

Достоверность полученной рекомендации зависит от достоверности определения коэффициентов.

Необходимо отметить, что многие факторы, которые оказывают влияние на выбор, не учитываются и определяются интеллектом ведущих исполнителей и общими условиями работы фирмы.

# 4

## ГЛАВА

---

# ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АСОИУ

### 4.1. ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

К источникам информации — датчикам данных — относятся приборы, устройства, системы, которые вырабатывают информацию или данные о состоянии среды и процесса, работе управления и его ресурсах. По этим данным вычислительные средства системы, на основании заложенных в них алгоритмов, представленных программами, вырабатывают сигналы и информацию, управляющую системой.

Проведем классификацию датчиков по признакам, характеризующим их использование в системе.

По виду выдаваемой в систему информации датчики подразделяются на три группы.

*Датчики одной величины* вырабатывают сигнал, когда измеряемая переменная достигает заданной величины. Переменной может быть любая измеряемая физическая величина, например давление, уровень жидкости, напряжение, сила тока и т. п. Электрические характеристики сигналов, выдаваемых с датчиков, могут быть унифицированы внутри системы. Эти датчики получили широкое распространение, так как имеют высокую точность, простую конструкцию и обладают высокой надежностью.

*Датчики аналоговых величин* вырабатывают сигналы, пропорциональные измеряемому параметру. В большинстве случаев величины представляются в виде напряжения, силы тока, частоты и интервала времени. Для использования этих данных в системе их преобразуют в цифровые

коды. Источники аналоговой информации являются сложными физическими приборами и требуют к себе повышенного внимания, которое заключается в выполнении условий эксплуатации (вибрации, температуры, влажности и др.) для обеспечения требуемой точности работы.

*Датчики цифровых кодированных величин* непосредственно вырабатывают цифровые коды, пропорциональные измеряемым величинам. Полученная информация может прямо использоваться в системе. Эти датчики также являются сложными приборами и требуют выполнения определенных условий эксплуатации.

По принципу формирования данных датчики подразделяются:

- на *датчики с возможностью съема информации в любой момент времени*, которые характеризуются тем, что по запросу потребителя системы в любой момент времени выдают информацию, т. е. информация ждет потребителя, система синхронизирует и управляет передачей данных;
- *датчики со съемом информации в определенные моменты времени*, особенностью которых является то, что информация на выходе источника существует в течение только определенного времени, когда она может быть передана в систему. Таким образом, моменты передачи информации с источника в систему определяются источником, т. е. передачей данных в систему управляют источники.

Принцип формирования данных необходимо учитывать при организации связи источников информации с системой.

Особенностью всех используемых датчиков информации является то, что измеряемым физическим величинам соответствуют электрические сигналы того или иного вида. Поэтому датчики классифицируются по виду измеряемых физических величин — это датчики давления, температуры, угла поворота, перемещения, расхода жидкости, времени, скорости, ускорения, частоты, яркости света и т. д.

Возможны и другие классификации датчиков информации по их характерным признакам.

**Основные характеристики датчиков информации.** Рассмотрим основные характеристики датчиков, по которым принимаются решения об их использовании в системе. Они инвариантны к измеряемым физическим величинам.

Первой группой характеристик являются: *диапазон* изменения величины, *погрешность* ее измерения и *начальное значение* диапазона. Второй характеристикой датчика является *постоянная времени датчика*. Она оценивает его инерционность при измерении физической величины.

Постоянную времени датчика определяют в виде интервала времени от момента скачкообразного изменения измеряемой величины до момента получения на выходе датчика значения этой величины с погрешностью его работы  $\delta_1$  или  $\delta_2$ . Размер скачка принимается равным 0,1...0,4 диапазона изменения. На рис. 4.1 показана связь погрешности датчика  $\delta$  с постоянной времени  $\tau_d$ .

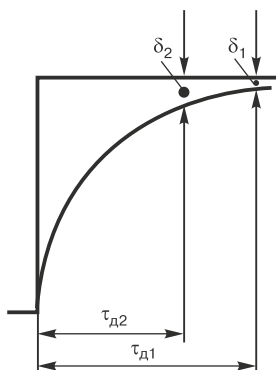


Рис. 4.1

Третьей группой характеристик датчика являются: *диапазон* и *погрешность* электрических параметров.

Для датчиков, выдающих аналоговые величины, это диапазон изменения напряжения или силы тока, начальное значение диапазона, погрешности измерения этого изменения, а также мощность выдаваемого сигнала.

Для датчиков, выдающих кодированные дискретные сигналы, это число разрядов, вид кода (двоичный, десятич-

ный, числоимпульсный и т. д.) и электрические характеристики сигналов (фронт, длительность, ток, напряжение, мощность).

Следующую группу характеристик датчиков информации назовем конструкторско-эксплуатационными. К ней относятся:

- объем, габаритные размеры, масса и потребляемая мощность;
- достоверность выдаваемой информации, надежность работы и срок службы;
- условия работоспособности (вибрация, температура, влажность, удары и т. п.);
- стоимость и затраты на эксплуатацию;
- присоединительные размеры, определяющие способ крепления датчика на объекте.

Рассмотрим связь характеристик датчиков с основными параметрами системы.

Первое главное условие выбора датчика информации — диапазон измеряемой величины и погрешность измерения; они должны соответствовать требованиям системы.

Необходимо иметь в виду различные оценки погрешности измерения преобразуемой величины. Различают следующие виды оценок ошибок:

- максимальная погрешность  $\delta_{\max}$ ;
- среднеквадратичное отклонение, или дисперсия погрешности  $\sigma$ ;
- относительная оценка погрешности  $\Delta_c$ .

Определение погрешности измерения величины необходимо проводить во всем диапазоне ее значений для получения представления об ошибках и их зависимости от значений измеряемой величины.

Ошибки измерения и преобразования подчиняются вероятностным законам распределения. Большинство датчиков подчиняется закону распределения ошибок Гаусса. Среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  и максимальная ошибка в зависимости от закона распределения имеют следующие соотношения:

для закона распределения Гаусса

$$\delta_{\max} \approx (2,7...3) \sigma;$$

для равновероятностного закона распределения

$$\delta_{\max} \approx \sqrt{3} \sigma.$$

Относительная точность датчика дает общее представление о нем и используется для его оценки, % :

$$\Delta_c = \frac{\delta_{\max}}{A} 100,$$

где  $A$  — диапазон измеряемой величины;  $\delta_{\max}$  — максимальное значение ошибки в диапазоне изменения величины.

Важной характеристикой датчиков аналоговых и цифровых величин является их линейность, т. е. соблюдение линейной зависимости величины на выходе датчика по отношению к измеряемой физической величине во всем диапазоне ее изменения. Необходимо комплексно оценивать нелинейность датчика и схемы преобразования величины в код. При существовании нелинейной зависимости необходимо ее определить, и при использовании этих данных корректировать в вычислительных средствах системы. Таким образом ошибки, связанные с нелинейностью датчика, и схемы преобразования величин в код учитываются в системе.

Для использования информации в системе важным показателем является частота ее получения. Этот показатель связан с динамикой управления объектом и с постоянной времени датчика информации  $\tau_d$ . Период получения информации  $t_{\text{ц}}$  для управления должен быть всегда несколько больше, чем постоянная времени датчика, т. е.

$$t_{\text{ц}} = a \tau_d,$$

где коэффициент  $a$  выбирается в интервале 2...4.

В большинстве случаев дискретность получения информации для объектов вследствие их инерционности обеспечивает значения коэффициента, значительно превосходящие приведенные.



Дискретность получения информации с датчика вне зависимости от ее вида должна удовлетворять приведенным требованиям.

Для определения частоты преобразования периодических величин используется формула Котельникова:

$$F = 2f_c,$$

где  $F$  — частота преобразования сигнала;  $f_c$  — максимальная частота гармоники разложения сигнала в ряд Фурье, обеспечивающая допустимую погрешность представления функции  $\delta$ .

Для непериодических функций часто бывает удобно пользоваться методом разложения функции изменения в ряд Тейлора и определения частоты дискретизации в зависимости от допустимой ошибки  $\delta$  в виде:

$$F = \frac{1}{\Delta t} = \sqrt{\frac{|f''(t)|_{\max}}{2\delta}},$$

где  $|f''(t)|_{\max}$  — максимальное значение второй производной в диапазоне измеряемых значений.

Полученная частота дискретизации должна удовлетворять соотношению

$$F \leq \frac{1}{a\tau_d},$$

т. е. частота дискретизации всегда должна быть меньше частоты реакции датчика информации.

При определении скорости изменения получаемых с датчика величин необходимо, кроме оценки величины ошибки измерения, иметь частотную характеристику ошибки — характеристику спектральной плотности ошибки. Для исключения влияния частотной характеристики ошибки на скорость изменения измеряемой величины используют операцию «сглаживания». Целью этой операции является исключение или значительное уменьшение ошибки определения скорости из-за частотных ошибок измерения величины.

Влияние частоты изменения ошибки измерения величины можно представить в виде графика, приведенного на рис. 4.2.

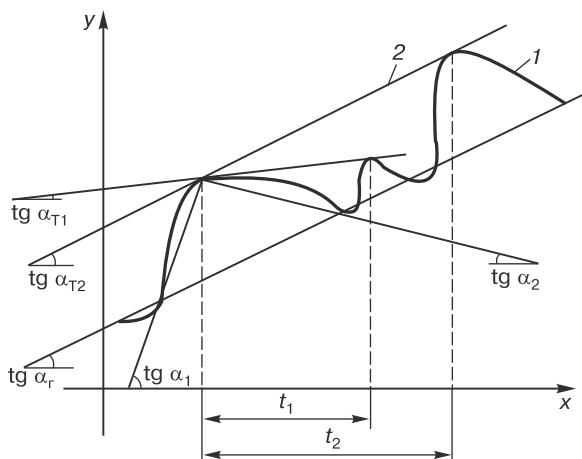


Рис. 4.2

Генеральная зависимость изменения величины « $y$ » получается после проведения операции «сглаживания» или отфильтровывания частот ошибок измерения. Изменения величин « $y$ », построенные по данным датчика, представлены на графике кривой 1, а линией 2 показана сглаженная зависимость величины « $y$ ».

Скорость, определенная по генеральной зависимости, и скорость, определенная по отдельным значениям измеренных величин, могут значительно отличаться не только по величине, но и по знаку. Так,  $\text{tg } \alpha_r$  значительно меньше  $\text{tg } \alpha_1$ , а  $\text{tg } \alpha_2$  имеет отрицательный знак, т. е. определенная скорость изменения величины направлена в противоположную сторону относительно ее фактической скорости.

Простейшее сглаживание проводится при выборе частоты дискретизации. Увеличивая интервал или уменьшая частоту дискретизации, получаем большее сглаживание поступающей информации. Верхняя граница интервала задается чувствительностью к ускорению или второй производной закона изменения величины. Например, при интервале  $t_1$  скорость изменения « $y \text{ tg } \alpha_{i1}$ » получается меньше  $\text{tg } \alpha_r$ , а при интервале  $t_2$  —  $\text{tg } \alpha_{i2}$  практически равна  $\text{tg } \alpha_r$  (см. рис. 4.2).

Для выбора интервала усреднения или сглаживания разработаны методики, учитывающие особенности поступающих данных, закономерности ошибок измерения и законов изменения данных. Разработана специальная теория Калмана построения фильтров для сглаживания данных. Обычно данные, поступающие с датчиков, всегда должны проходить специальную предварительную обработку для исключения случайных ошибок и только после этого использоваться в расчетах для выработки управляющих воздействий.

Поступающие данные проходят контроль на выполнение следующего условия:

$$|y_1 - y_2| \leq v_1 \delta t + 2,7\sigma,$$

где  $y_1$  — предыдущее поступившее значение;  $y_2$  — настоящее значение;  $v_1$  — максимально допустимая скорость изменения данных;  $\delta t$  — интервал времени между поступающими данными;  $2,7\sigma$  — допустимое максимальное отклонение ошибки во входных данных;  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение, которое определено для данного источника.

В некоторых системах используется несколько значений скорости  $v_1$ , связанной с режимом работы.

В ряде случаев для расчетов используются данные, которые определяются из уравнения (для прямоугольной системы координат) вида:

$$y_{a2} = y_{a1} + v_{yc} \delta t_1,$$

где  $y_{a2}$  — новое выработанное значение;  $y_{a1}$  — предыдущее выработанное значение;  $v_{yc}$  — сглаженное значение скорости изменения координаты;  $\delta t_1$  — интервал времени между поступлением данных.

Эти данные называются «автоматными», так как они вырабатываются в системе.

**Требования к электрическим характеристикам датчиков данных.** Они зависят от вида представления информации на выходе датчика. При аналоговом представлении необходимо знать диапазон и его начальную величину, погрешности, мощность электрического сигнала. Эти данные

можно представить в виде схемы (рис. 4.3), где обозначены:  $u_0$  — начальная величина сигнала;  $u_d$  — диапазон изменения сигнала;  $\Delta u$  — погрешность представления измеряемой величины, например:

1 мс соответствует 0,05 В  
или 0,02 мм соответствует 0,02 В.

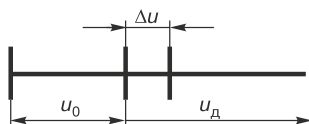


Рис. 4.3

Необходимо иметь данные о линейности выходного сигнала по отношению к измеряемой величине и масштабный коэффициент преобразования, т. е. какому изменению измеряемого параметра соответствует изменение величины выходного сигнала. Например:

$$1 \text{ кВт соответствует } 0,2 \text{ В} = \frac{5 \text{ кВт}}{\text{В}};$$

$$1 \text{ паскаль соответствует } 0,1 \text{ В} = \frac{10 \text{ Па}}{\text{В}};$$

$$1 \text{ }^\circ\text{С соответствует } 1 \text{ В} = \frac{1 \text{ }^\circ\text{С}}{\text{В}}.$$

При выборе принципа передачи выходного электрического сигнала необходимо знать его мощность, т. е. можно ли его передавать на определенное расстояние без существенного увеличения погрешности. У датчиков, выдающих кодированные дискретные сигналы, длина линии передачи не влияет на точность, однако необходимо знать вид кода и количество разрядов, представляющих величину. Для представления величины могут использоваться двоичный код, код Грея, десятичный код, числоимпульсный код и др.

При передаче сигналов по цепям связи важно фиксировать допустимый уровень помех.

Для того чтобы определить необходимость охлаждения датчика при эксплуатации, нужно знать его мощность

и объем. В зависимости от величины мощности, выделяемой в единице объема, и температуры при работе датчика выбираются условия его охлаждения.

При возможности выбора целесообразно выбирать датчики, которые имеют примерно равные (одинаковые) сроки службы, кратные срокам службы аппаратуры, на которой они установлены. Это упрощает организацию проведения регламентных работ и уменьшает затраты на эксплуатацию системы.

Для обеспечения требуемой надежности работы датчика применяют резервирование либо с замещением неисправного, либо с использованием мажоритарных принципов формирования выходного значения.

**Унификация датчиков информации** в автоматизированных системах заключается в формировании выходных сигналов, которые имели бы одинаковые электрические характеристики: диапазон изменения сигнала, погрешность, начальный уровень и мощность. При дискретных кодовых сигналах должны быть одинаковые характеристики по амплитуде, длительности, фронтам, уровню и мощности сигналов. Использование унифицированных выходных сигналов датчиков дает возможность преобразовывать аналоговые сигналы в кодовые на одной схеме. Это уменьшает объем аппаратуры и повышает надежность работы системы. Унификация датчиков одного значения состоит в использовании напряжения одного знака и уровня для выработки сигнала.

## 4.2. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Исполнительные устройства предназначены для управления по командам, поступающим из ВС, различной аппаратурой, которая изменяет поступление ресурсов в систему, например, изменение: положения задвижки, через которую подается горючее или какой-либо другой продукт; величины напряжения, используемого для получения продукта; положения детали при ее обработке. В большинстве случаев эти исполнительные устройства поворачивают или перемещают органы машины согласно данным, поступающим

из ВС в виде кодов. По виду воздействия на управляемые ресурсы исполнительные устройства делятся:

- на *устройства релейного действия*, в которых управление осуществляется включением и выключением работы, например, двигателя, нагревателя, клапана для пропуска продукта и т. д.;
- *устройства пропорционального действия*, в которых управление осуществляется путем изменения состояния управляемого органа на определенную величину, пропорциональную поданному коду, например: перемещение задвижки на определенную величину, подача напряжения заданного значения и т. п.

Для выполнения физических действий, связанных с изменением положения определенных частей системы, применяются двигатели, использующие:

- электроэнергию — моторы постоянного тока, переменного тока, амплидины, шаговые двигатели;
- гидравлику — гидромоторы;
- пневматику — пневмодвигатели.

Рассмотрим структурную схему исполнительного устройства. В состав любого исполнительного устройства входят:

- приемное устройство, на которое поступает кодовая информация из ВС через цепи связи;
- преобразующая схема, которая в зависимости от вида управляющего воздействия может быть релейного или пропорционального (аналогового) типа. Она вырабатывает сигналы, воздействующие на исполнительный орган;
- исполнительный орган, который представляет собой либо двигатель, либо нагреватель, либо задвижку и т.п.

Исполнительное устройство по организации работы может быть:

- замкнутым, т. е. имеется непосредственная обратная связь и контроль за отработкой управляющей величины (рис. 4.4);

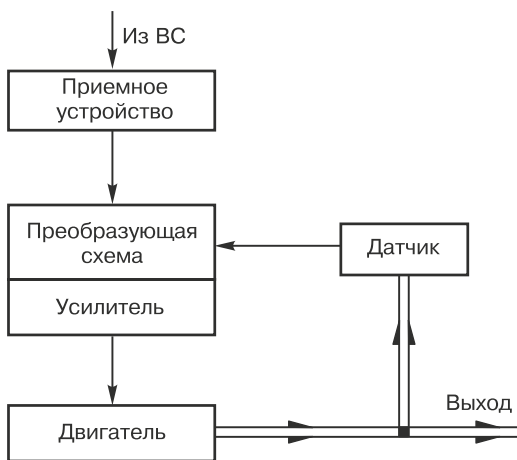


Рис. 4.4

- разомкнутым, т. е. без обратной связи и контроля за обработкой управляющей величины. В этом случае контроль производится через систему (рис. 4.5) по изменению сигналов с датчиков процесса.

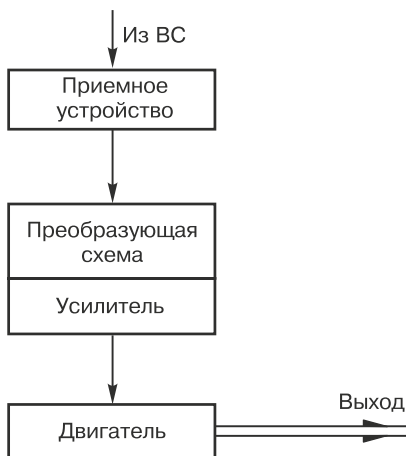


Рис. 4.5

К исполнительным устройствам относят также индикаторные средства, по которым оператор управляет системой. Эти средства ввиду их специфических характеристик и важности рассмотрим отдельно.

**Основные характеристики исполнительных устройств.** Состав этих характеристик определяется видом управления и типом двигателя, однако имеются и общие характеристики, которые используются для выбора принципов построения исполнительного устройства.

Главными показателями исполнительного устройства являются:

- мощность двигателя, которым оно управляет, и коэффициент полезного действия управляющей схемы;
- погрешность воспроизведения управляемой величины;
- диапазон скоростей отработки двигателем величины, определяемой коэффициентом скорости  $K = v_{\max}/v_{\min}$ ;
- время обработки единичного скачка (постоянная времени устройства).

Следующие характеристики связаны с функциональным назначением исполнительных устройств, поэтому приведем только некоторые из них:

- моментные характеристики исполнительных двигателей, которые представляются зависимостью  $M = f(n)$ , где  $M$  — момент;  $n$  — частота вращения, об/мин;
- минимальная скорость отработки (это требование связано со слежением за изменением величины, когда должны быть исключены скачки при ее отработке, т. е. должна соблюдаться плавность работы);
- характеристики защиты от аварийных ситуаций (это специфическое требование к исполнительным устройствам, оно вызвано условиями их работы).

При появлении неисправности в работе устройства необходимо исключить возможность поломок или разрушений частей системы (аварии). Для этого предусматриваются различные концевые выключатели, ограничители нагрузки, тока, максимальных скоростей и т. п.

Выделим группу конструкторско-эксплуатационных характеристик исполнительных устройств, включающую:



- объем и габаритные размеры исполнительного устройства, потребляемую мощность и присоединительные размеры;
- надежность работы и срок службы;
- условия работоспособности устройств (вибрацию, температуру, влажность и т. п.);
- стоимость исполнительного устройства и затраты на его эксплуатацию.

Мощность, которой управляет преобразующая схема в исполнительном устройстве, непосредственно зависит от двигателя и его динамических характеристик (коэффициента скорости и постоянной времени), а также точности отработки величины. Чем большей мощностью требуется управлять, тем больше постоянная времени исполнительного устройства.

Приведем некоторые оценки характеристик исполнительных устройств с различными электрическими двигателями. Например, мощности при непосредственном преобразовании кодов составляют от единиц и долей ватта до нескольких киловатт. Коэффициент скорости  $K \approx 10 \dots 60$ . Динамические характеристики при малых мощностях оцениваются постоянной времени  $0,01$  с.

Исполнительные устройства с гидравлическими двигателями применяются при управлении большими мощностями: от единиц до десятков киловатт и более. Они имеют значительно больший коэффициент скорости — до 700. Постоянная времени оценивается до  $0,1$  с и существенно зависит от мощности двигателя: чем выше мощность, тем больше постоянная времени.

Если необходимо управление большими мощностями, чем приведенные, то в ряде случаев используются последовательные схемы наращивания мощности. Исполнительное устройство по кодовому сигналу управляет маломощным двигателем, выход которого усиливается следящей системой большой мощности. Подобный путь связан в основном со стремлением использовать известные решения по следящему приводу и сократить время на разработку.

Релейное управление обеспечивает возможность использования более мощных двигателей, однако коэффици-

ент скорости у него равен единице, и плавность перехода из одного состояния в другое практически отсутствует. Точность отработки величины в значительной мере связана со скоростью двигателя.

Релейное управление в силу своей простоты широко используется в системах управления, если оно обеспечивает требования по скорости и плавности работы.

### **4.3. СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ**

Средства управления предназначены для общения оператора с системой, т. е. оператор-человек, используя средства управления, осуществляет управление работой системы. Средства управления конструктивно представляют собой пульты или консоли, на которых расположены необходимые устройства для передачи приказов оператора системы.

Передача приказов по управлению системой может осуществляться двумя путями:

- мускульным воздействием на переключающие устройства или устройства, преобразующие перемещения элементов в приказы ВС. Большое распространение получило сенсорное управление, которое не требует мускульного воздействия;
- речевым воздействием на управление системой, т. е. подачей команд голосом. Это управление в настоящее время не получило распространения ввиду сложности реализации и трудности исключения внешних помех, хотя оно и обладает определенным удобством, так как не надо прилагать мускульных усилий.

Анализируя перспективы развития процесса управления системы человеком, можно считать, что часть мускульного управления будет оставаться независимо от совершенствования и развития речевого управления. Это связано с организацией работы по эксплуатации, например включением системы в работу (подачей питания и т. д.), проведением профилактических работ, когда требуется производить отключение частей системы и т. п.

Различают два метода организации мускульного управления:

- *прямой коммутации*, при котором необходимые цепи и сигналы переключаются и формируются на пульте управления. Этот метод получил развитие в основном для подачи команд управления и частично для управления подачей питания;
- *косвенной коммутации*, при котором с пульта управления передаются команды для осуществления необходимых переключений цепей и сигналов. Это основной метод, применяемый в консолях управления, так как обеспечивает возможность разделения аппаратуры управления на однородные части, что упрощает монтаж и повышает надежность консоли.

Средства управления можно разделить на две группы. К первой относятся схемы управления и аппаратура, которая используется для оперативного управления системой при ее основной, штатной работе. Ко второй относятся средства, используемые при проведении профилактических и проверочных работ. Эти схемы и аппаратура включаются в работу, связанную только с контрольными и профилактическими действиями обслуживающего персонала. В зависимости от размеров системы каждая группа средств управления может быть расположена на отдельных консолях или на одной общей.

Состав схем и аппаратуры, необходимой для оперативного управления, определяется техническим заданием на разработку системы. Конструкция консоли или пульта управления должна отвечать всем требованиям эргономики, т. е. обеспечивать удобство работы и не утомлять оператора.

При мускульном управлении важными являются принципы воздействия оператора-человека на систему, т. е. определение, какими средствами будет пользоваться человек для управления системой. Известны два принципа воздействия: аналоговый и дискретный кодовый. Целесообразность использования этих принципов определяется главным образом психофизиологическими особенностями человека и характером его воздействия на систему.

Аналоговый принцип управления широко используется при управлении направлением перемещения: в виде поворота различных штурвалов, баранок, при управлении режимами работы в виде перемещения рычагов и т. п. Он обеспечивает наглядное представление и контроль за поведением системы, т. е. имеется прямая связь, например, между углом поворота руля или штурвала и изменением положения объекта, которое наблюдает оператор.

Дискретный кодовый принцип управления получил развитие в цифровых устройствах управления вычислительными машинами. Он является универсальным, так как, используя метод коммутации, можно управлять любыми средствами, подавая дискретные кодовые команды. В некоторых случаях используется сочетание аналогового и кодового принципов управления. Например, поворот объекта определяется длительностью включения кнопки «поворот» и т. п.

Выбор принципа воздействия на систему, в первую очередь, определяется удобством выполнения работы оператором, минимизацией нагрузки на него и требуемым временем на проведение операции.

Для выбора структуры построения пульта определяется состав сигналов оперативного управления, их временные характеристики (периодичность включения, допустимое время запаздывания) и важность. На основании этих данных составляется таблица управляющих воздействий.

При исследовании полученных сигналов воздействия человека на систему в первую очередь анализируются временные характеристики важных сигналов. Для безусловного выполнения этих требований определяется принцип управления (дискретный кодовый или аналоговый). В ряде случаев, исходя из психологических соображений, могут задаваться требования в ТЗ по реализации управления определенным сигналом аналоговым методом.

Рассмотрим варианты управления посредством дискретных кодовых сигналов. Возможны следующие условия формирования сигналов.

*Кодовое управление.* Все характеристики сигналов и их величины кодируются числами, которые набираются на

7	8	9
4	5	6
1	2	3
	0	

а)

1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3
4	4	4	4	4
5	5	5	5	5
6	6	6	6	6
7	7	7	7	7
8	8	8	8	8
9	9	9	9	9
0	0	0	0	0

б)

Рис. 4.6

кнопках панели. При этом можно использовать последовательный набор цифр вводимого кода (рис. 4.6, а) или матричную кнопочную панель (рис. 4.6, б), на которой набираются все цифры кода.

Одним из вариантов кодового управления является *кнопочное*. При кнопочном управлении каждому сигналу соответствует определенная кнопка (см. рис. 4.6, б). Применяемая матричная кнопочная панель дает возможность набрать требуемый код с разрядностью пять. Если используются кнопки с фиксацией нажатия, то на матрице виден набранный код, и его можно при необходимости откорректировать. Время набора кода в этой структуре минимальное. Однако занимает значительная площадь панели и используется большое число кнопок (в приведенном примере — 50). Структура последовательного набора кода занимает всего 10 кнопок и, соответственно, меньшую площадь панели, однако требует для ввода кода большего времени и устройства для его индикации, которое необходимо для контроля набираемого кода.

Структура последовательного набора кода получила широкое распространение, так как занимает меньшую площадь панели (с учетом средств индикации) и имеет меньшее число механических контактов. Скорость ввода данных обычно удовлетворяет требуемой.

Кодовое управление применяется при вводе данных, так как исключает влияние величины на время ввода, что характерно для аналоговых величин. Время ввода кодированных данных определяется числом разрядов и при выбранном диапазоне (числе разрядов) не зависит от величин вводимых данных.

С точки зрения определения характера данных, их вида или наименования, использование кодирования оказывается в ряде случаев неудобным, так как нужно помнить и набирать код данных. Эти неудобства исключаются при использовании кнопочного управления, где каждой кнопке присваивается наименование данных. На рис. 4.7 приведены восемь наименований данных. Однако применение кнопочного управления приводит к увеличению числа кнопок, которым требуется большая площадь на панели управления.

А	Б	С
Вкл.	Выкл.	«О»
$\alpha$	Vx1	В
Связь	Контр.	—

Рис. 4.7

Выбор представления наименования сигнала в виде кода или кнопки определяется важностью сигналов и особенностью их использования. Например, при частом обращении к сигналу целесообразно использовать кнопку.

При кнопочном представлении важно расположение кнопок на панели. Кнопки, к которым обращение происходит чаще, располагаются в наиболее удобной для оператора зоне. Кнопки, включающие важные сигналы, выделяются цветом (красные, синие, зеленые и т. д.).

Для дискретного управления используются многопозиционные переключатели. Они находят применение для включения режимов работы системы. Например, если в системе предусмотрено несколько режимов работы и они не могут выполняться одновременно, а также существует определенная последовательность их включения, то целесообразно эту группу сигналов реализовывать на многопозиционном переключателе. При этом последовательность его

работы обеспечивает выполнение всех изложенных требований наиболее простыми средствами.

На рисунке 4.8 приведен пример многопозиционного переключателя, который обеспечивает заданную последовательность включения и выключения режимов работы системы. Положение «0» соответствует выключенной системе. Далее включается «Реж. 1», который, например, производит подачу питания на определенные части системы; затем включается «Реж. 2», при котором подается питание на другие части системы. При включении режима «Контр.» производится проверка работы, и только после ее выполнения производится переключение на рабочий режим «Раб.». Выключение производится в обратном порядке.



Рис. 4.8

Отметим, что подобный порядок включения можно производить с помощью пяти кнопок, но в схеме должны быть еще предусмотрены блокировки их одновременного включения и последовательность их включения и выключения. Эти требования могут осуществляться как с использованием механических, так и электрических средств. Однако в ряде случаев их применение усложняет аппаратуру управления.

При разработке панели управления должны быть предусмотрены меры, исключающие несанкционированное использование средств управления системой (кнопок, переключателей, штурвалов рычагов и т. п.). Предусматривается несколько средств для защиты от несанкционированных действий. По принципу построения они делятся:

- на механические средства защиты — различного типа замки, посредством которых исключается доступ к кнопкам, переключателям и т. п. или возможность изменения их состояния (перемещения, поворота);
- электрические средства, которые исключают подачу электроэнергии на всю систему или ее отдельные части;
- использование специальных кодов, последовательности их включения и т. п.

Эти приемы обычно используются совместно, что обеспечивает высокую защищенность системы от несанкционированных воздействий.

Существует большое количество схем защиты, в которых используются приведенные принципы, поэтому выбор схемы определяется требованиями, задаваемыми заказчиком, а также зависит от интеллекта разработчика.

**Структурная схема средств управления** определяется типами используемых устройств переключения, порядком их работы и принципом организации связи с системой. Конструкция используемых устройств переключения во многом определяет продолжительность и надежность работы устройства управления.

Переключающие устройства, применяемые в консолях управления, можно разделить на две группы, которые различаются методом получения сигнала.

В *бесконтактных* переключающих устройствах сигнал управления получается в результате изменения параметров схемы.

В *контактных* переключающих устройствах сигнал управления получается в результате контактного взаимодействия и подачи через контакт тока или напряжения.

Бесконтактные схемы более сложные по сравнению с контактными, однако ресурс их работы выше. В ряде случаев условия эксплуатации бесконтактных схем могут быть более тяжелыми, чем контактных.

Контактные схемы получили широкое распространение ввиду их простоты, однако для обеспечения надежной и длительной работы приходится предпринимать различные меры, такие как герметизация контактов, покрытие кон-



тактов различными металлами, начиная от золота и серебра и кончая лужением.

Для связи устройства управления с системой используются два принципа: циклический и апериодический.

*Циклический принцип* характеризуется тем, что система с определенным циклом (частотой) снимает информацию о состоянии всех переключающих устройств пульта управления.

При применении *апериодического принципа* пульт управления передает в систему сигнал об изменении состояния переключателя или кнопки. Система по этому сигналу снимает информацию с пульта. Таким образом, система связывается с пультом только при появлении изменений в его состоянии.

Циклический принцип связи с пультом расходует больше ресурсов системы (производительности), так как независимо от наличия изменений информация с принятым циклом забирается в систему. В этом случае проще отслеживать и контролировать работу пульта, и схема его управления получается меньшего объема. Апериодический принцип требует несколько больших аппаратурных затрат на реализацию, однако меньше влияет на производительность системы.

Порядок работы системы с данными, полученными с пульта управления, у обоих принципов одинаков. Массив данных о состоянии пульта, поступивший в систему, сравнивают с предыдущим массивом, который хранится в системе. При сравнении могут выявиться несовпадения данных. По этим несовпадениям производится включение соответствующей программы, которая производит необходимые изменения в работе системы.

При циклической работе длительность цикла выбирается в пределах 0,5...2 с и более. Длительность цикла связана с временем реакции системы на сигнал управления, поступающий с панели управления. В системах реального времени эта реакция может достигать до 0,1 с.

Время, расходуемое системой при обращении к пульту управления, определяется по формуле

$$t_p = t_o + t_b,$$

где  $t_o$  — время организации обмена, включающее время передачи массива информации о состоянии переключателей с учетом контроля правильности передачи;  $t_b$  — время обработки принятого массива с учетом перехода на управляющую программу в ВМ.

В зависимости от схемы организации обмена или интерфейса связи ВМ с пультом управления время  $t_o$  должно учитываться в производительности ВМ, если не предусмотрено параллельной работы устройства обмена с процессором (арифметическим устройством). Величина и состав массива данных, передаваемых с пульта управления, обычно принимаются постоянными для обоих принципов связи и определяются числом групп данных и сигналов, конструкцией переключателей и принятым способом кодирования состояний переключателей.

Время обработки принятого массива в ВМ может изменяться в результате работы ОС и установленного приоритета этого массива. Однако эти изменения времени практически настолько малы по сравнению с реакцией человека, что их можно не учитывать.

Рассмотрим структурные схемы построения устройств управления для двух принципов организации связи с системой (рис. 4.9).

Это устройство состоит из схем, шифрующих снятые с переключателей сигналы и передающих их в две группы регистров. В одной группе записываются коды адресов или наименований величин, а в другой — коды самих величин.

Для управления процессом формирования данных о состоянии переключателей сигналов, а также выработки контрольных слов для выдачи в устройство обмена применяется схема управления, которая управляет последовательностью опроса кнопок и переключателей пульта, проведением контрольных операций, работой шифраторов и схемы интерфейса по связи пульта с системой.

Схема начинает работать по приходу сигнала из системы. Этот сигнал включает схему управления, которая вырабатывает сигналы очередности опроса переключателей адреса и величины. По этим сигналам шифраторы вырабатывают коды и контрольные разряды к ним, которые запи-

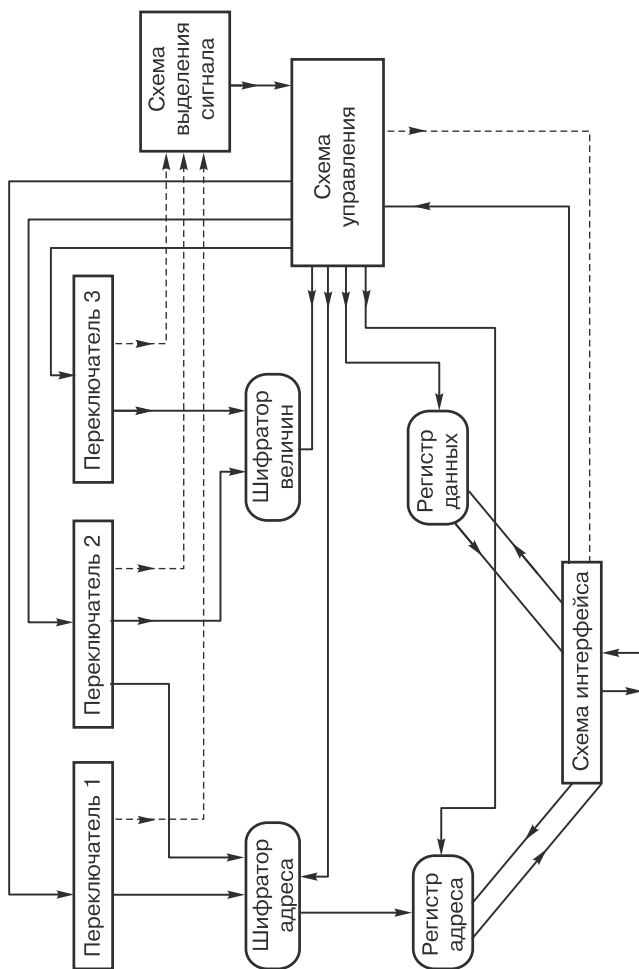


Рис. 4.9

сылаются в регистры адреса и данных. Далее эти коды посредством схемы интерфейса передаются в вычислительную систему. По окончании передачи данных выдается сигнал окончания, и схема управления прекращает свою работу до прихода из ВС сигнала запроса. Этот режим работы характерен для циклического принципа организации обмена.

При апериодическом принципе организации обмена все приведенные схемы остаются в составе устройства, но еще добавляется схема, вырабатывающая сигналы при изменении состояния любого переключателя. Сигнал из этой схемы поступает в схему управления, которая через схему интерфейса выдает запрос на связь с ВС. По приходу сигнала от ВС начинается опрос в принятом порядке всех переключателей, как это делалось при циклическом принципе. Возможен вариант без схем выделения сигнала. Устройство пульта работает циклически и сравнивает данные двух циклов: если есть разница, то выдается сигнал на связь с системой.

Анализируя построение по циклическому и апериодическому принципам, можно отметить, что при одинаковых величинах передаваемых данных объемы аппаратуры при апериодическом принципе больше в результате введения специального блока, выделяющего сигналы изменения состояния переключателей.

При проектировании пульта управления необходимо предусмотреть меры, обеспечивающие правильность работы аппаратуры, т. е. контроль ее функционирования. Эти средства определяют достоверность выдаваемой с пульта информации.

Правильность вводимой с пульта информации для управления системой зависит от двух условий:

- 1) правильности набора оператором требуемой информации на пульте;
- 2) правильности работы аппаратуры пульта, воспринимающей и передающей эти данные в ВС.

Первое условие определяется квалификацией оператора, его психическим состоянием, обстановкой, в которой производится ввод информации, ее важностью. Приведен-

ные условия слабо поддаются прямым методам контроля. Неправильные данные приводят к адекватным действиям системы, которые оператор обнаруживает на средствах индикации. Однако важно знать время реакции и последствия для системы от неправильных действий оператора (могут ли они привести к аварийным ситуациям).

При грамотном построении алгоритмов управления требуется, чтобы любые действия оператора не могли привести к аварийным ситуациям в системе и на объекте. В некоторых случаях можно предусматривать применение дополнительных операций и логических действий, которые повышают внимательность оператора. Например, ответственные величины вводить с контрольным числом по «чет-нечету» или суммой чисел либо использовать повторный ввод с контролем. Эти способы повышают внимание и требуют сосредоточенности, но они увеличивают время реакции оператора на обстановку.

Правильность работы аппаратуры пульта достигается применением качественных комплектующих изделий и введением оперативного контроля ее работы.

Особое внимание необходимо обращать на контактирующие узлы аппаратуры, качество которых зависит от характеристик окружающей среды (влажности, наличия в воздухе различных солей и др.) и защищенности аппаратуры. По возможности желательно применять бесконтактные кнопки и переключатели, которые не подвержены этим влияниям.

Для успешной эксплуатации пульта необходимо предусматривать регламентные работы, обеспечивающие глубокую проверку состояния аппаратуры и, при необходимости, замену отдельных модулей с целью исключения выхода из строя в процессе основной (штатной) работы. Для проведения этих проверок используют аппаратуру, контролирующую правильность функционирования пульта, и дополнительную аппаратуру, которая не используется при штатной работе. Объем дополнительной и контролирующей аппаратуры обычно в сумме оценивается в 15...20% по отношению к объему аппаратуры всего устройства.

#### 4.4. СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ АСОИУ

Система питания АСОИУ состоит из распределительного устройства, вторичных источников питания, токопроводящих шин, схем защиты и устройств управления для включения и отключения питающих напряжений. Она получает энергию от внешнего источника, называемого *первичным источником*. Эта энергия обеспечивает выработку и подачу требуемых напряжений и токов на вторичные источники питания. Она имеет определенное время восстановления напряжения при скачкообразном изменении нагрузки. Кроме того, в системе питания должны быть предусмотрены защита от помех первичной сети и подавление помех, генерируемых аппаратурой АСОИУ.

Для ряда АСОИУ система питания должна обеспечивать бесперебойную подачу питающих напряжений на устройства от резервированных источников первичного питания со специальным управлением резервированием.

Устройства защиты и управления для включения и отключения питающих напряжений вторичных источников должны соблюдать определенный порядок подключения источников питания. Одно из важнейших требований, предъявляемых к устройству защиты, — минимальное время срабатывания, т. е. отключение питания по сигналу защиты и указание места неисправности, а также выдача сигнала нарушения питания в вычислительную машину для исключения потери информации. Кроме того, питание не должно включаться, если нет одного из его номиналов, установленных для работы схем.

Сигналы защиты системы питания имеют несколько видов, каждый из которых обеспечивает устранение определенных аварийных ситуаций. В зависимости от условий работы АСОИУ и особенности ее технических решений определяется состав сигналов защиты.

Сигналы защиты условно разделены на две группы. Первая обеспечивает защиту источников питания от нарушений у потребителя. Вторая защищает потребителей от нарушений параметров источников питания, которые могут вызвать выход из строя элементов устройств АСОИУ.

К первой группе относятся сигналы, которые появляются в результате:

- превышения тока, потребляемого устройством, по отношению к допустимому. Обычно предусматривается выдача сигнала при превышении тока на 10...20% относительно допустимого значения;
- превышения температуры источника напряжения против допустимой более чем на 5...10 °С.

К сигналам второй группы относятся сигналы, которые связаны:

- с повышением напряжения питания элементов, которое вырабатывает источник. Увеличение напряжения питания выше предельно допустимого для используемых микросхем приводит либо к их выходу из строя (выгоранию), либо к понижению их надежности;
- понижением напряжения питания источника. Уменьшение напряжения питания также может приводить к выходу элемента из строя, особенно в тех случаях, когда для его работы используется несколько номиналов питания;
- повышением выше допустимого значения температуры элемента. Это приведет либо к выходу из строя элемента (выгоранию), либо к значительному понижению надежности (повышению интенсивности выхода из строя).

#### **Основные принципы построения системы питания.**

Система питания получает и преобразовывает первичную электроэнергию в энергию с параметрами, требуемыми для работы АСОИУ. В качестве первичного источника электроэнергии могут использоваться:

- промышленная сеть трехфазного переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц;
- сеть постоянного тока напряжением 27, 110 и 220 В;
- сеть переменного тока напряжением 220 В и частотой 427 Гц как двухфазная, так и трехфазная.

Возможны и другие источники первичного питания, однако перечисленные находят наиболее широкое применение в АСОИУ.

Для АСОИУ используются специальные средства, чтобы исключить влияние помех первичной сети, особенно импульсных. Проблема защиты от импульсных помех, которые появляются при релейном подключении и отключении нагрузки и получили название *коммутационных*, решается несколькими путями. Широкое распространение (главным образом, для стационарных АСУ) имеют развязки по постоянной составляющей и от коммутационных помех. Развязки реализуются мотор-генераторной установкой, которая также повышает стабильность первичного напряжения. Для подвижных объектов с АСОИУ используются специальные устройства, развязывающие по постоянной составляющей, и различные фильтры для ослабления коммутационных помех.

Ввиду несоответствия между параметрами напряжения первичной сети и напряжения питания устройств, необходимо встраивать между ними специальные устройства, которые преобразовывают высокое переменное или постоянное первичное напряжение в напряжение для питания полупроводниковых схем и микросхем с требуемыми характеристиками стабильности и точности. Эти устройства получили название вторичных источников питания (ВИП).

На рисунке 4.10 приведены структурные схемы систем питания:

а) с мотор-генераторной развязкой для разных частот переменного тока;

б) та же схема для одинаковых частот первичной сети и системы;

в) система для переменного напряжения с устройством развязки  $P$  по постоянной составляющей со схемой повышения стабильности первичного питания и фильтрами защиты  $\Phi$  от коммутационных помех по постоянному напряжению;

г) система для постоянного напряжения с устройством развязки  $P_1$  по постоянной составляющей и фильтрами защиты  $\Phi_1$  от коммутационных помех по постоянному напряжению.

Система питания (рис. 4.11) состоит из двух частей. Первая часть включает распределительное устройство и кабели



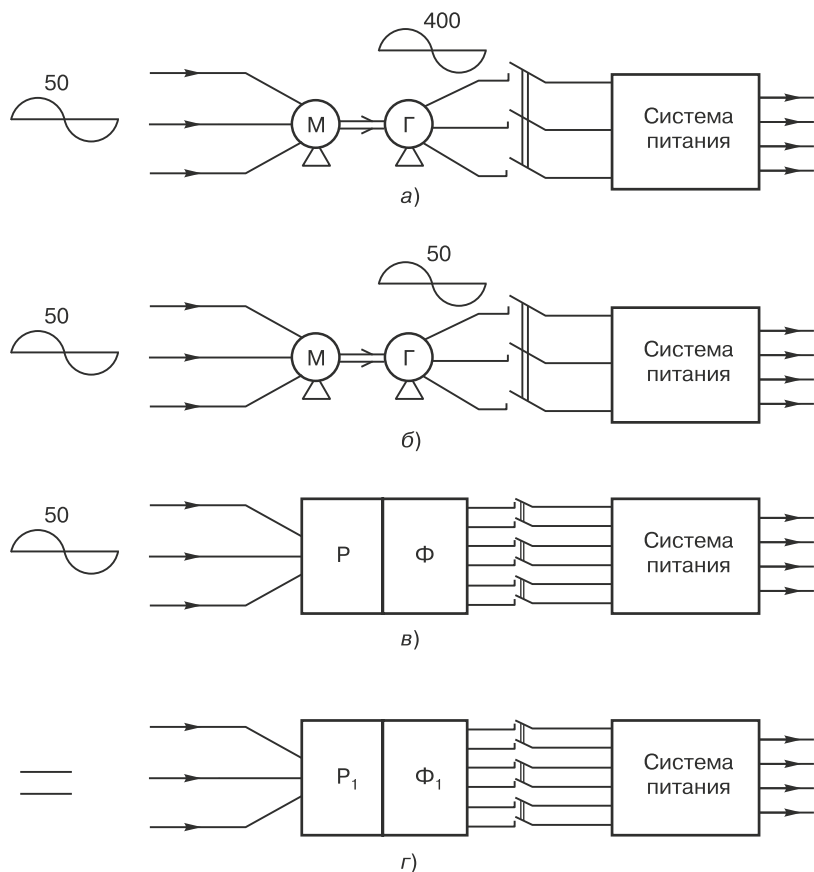


Рис. 4.10

для передачи энергии. Распределительное устройство принимает первичное напряжение и распределяет его между отдельными частями АСОИУ — приборами. Кроме того, оно осуществляет резервирование первичных источников питания и управляет подачей питания на вторую часть системы.

В системах питания ВМ получили распространение устройства непрерывного питания, которые выполняют функции фильтра коммутационных помех и стабилизатора первичного напряжения, а также некоторое время поддерживают выходное напряжение при пропадании первичного, что важно при переключении основного питания на резервное.

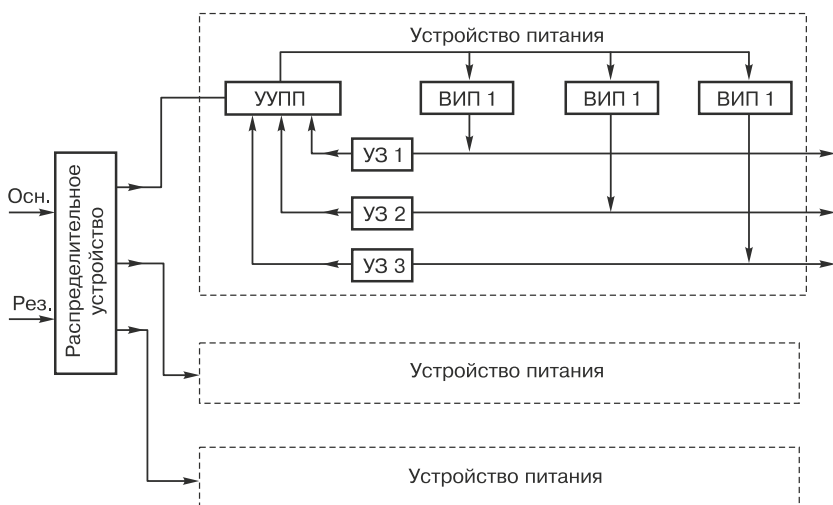


Рис. 4.11

Вторая часть системы питания включает ВИП, устройства защиты (УЗ) и устройство управления питанием прибора (УУПП). Число устройств питания в большинстве случаев определяется числом приборов или групп приборов в системе питания. Устройство питания практически выполняет все функции, связанные с обеспечением питания элементов, управлением подачей питания и защитой. Система питания должна обеспечивать управление и подачу напряжения в различных режимах работы АСОИУ.

В работе системы питания можно выделить три режима.

*Профилактический режим работы* собственно системы питания. Он нужен для проверки работы всех частей и проводится по соответствующим документам эксплуатации системы.

*Режим обеспечения профилактической работы* АСОИУ является штатным режимом ее работы. В нем обычно предусматриваются возможности местного и централизованного управления включением и выключением устройств питания отдельных частей АСОИУ.

При местном управлении включение и отключение каждого устройства питания производится автономно и независимо от других устройств. Это дает возможность проводить профилактические работы с частями АСОИУ параллельно и независимо от других частей.

Централизованное управление предусматривает одновременное включение всех устройств питания с одного места, а также выполнение операций, связанных с переключением при резервировании как устройств питания, так и частей АСОИУ в соответствии с подаваемыми сигналами из устройства управления резервированием. Для перехода на централизованное управление системой питания необходимо, чтобы все устройства питания были переключены операторами с местных цепей на централизованную цепь управления. При этом отключаются цепи местного управления питанием.

*В основном (штатном) режиме* работы АСОИУ система питания всегда находится в состоянии централизованного управления. Для включения и отключения АСОИУ требуется нажатие соответственно на кнопку «Включение» и «Отключение».

Определим требования к отдельным частям системы питания. Они связаны как с характеристиками первичного питания, так и с требованиями элементов и схем устройств к источникам вторичного питания. Главной частью устройства питания является ВИП, который преобразует подаваемое первичное напряжение в напряжение, требуемое для питания элементов схем, т. е. выдает постоянное напряжение требуемой стабильности, величины и мощности.

Характеристики первичного питания определяются ГОСТом. Первичное напряжение обычно имеет стабильность  $\pm 10\%$  и допускает кратковременные отклонения до  $25\%$ . Суммарная стабильность вторичного напряжения должна составлять  $2...3\%$  от номинального значения при изменении как первичного напряжения, так и нагрузки от  $0,2...0,3$  до 1. ВИП, кроме выработки напряжения требуемой величины, стабильности и мощности, должен иметь такую нагрузочную характеристику, чтобы при коротком замыкании на выходных клеммах он не выходил из строя,

а только происходило значительное снижение выходного напряжения.

Важное значение при импульсной нагрузке на ВИП имеет его динамическая характеристика, которая определяет время реакции на изменение нагрузки.

Принципы построения ВИПа, кроме рассмотренных характеристик, оцениваются коэффициентом полезного действия (КПД):

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{P_{\text{В}}}{P_{\text{П}}} 100,$$

где  $P_{\text{ВЫХ}}$  или  $P_{\text{В}}$  — мощность, отдаваемая во вторичную сеть питания;  $P_{\text{ВХ}}$  или  $P_{\text{П}}$  — мощность, потребляемая из первичной сети питания.

КПД ВИПа в значительной мере зависит от требуемой стабильности выходного напряжения, мощности и времени реакции. Он оказывает также большое влияние на тепловой режим работы ВИПа в аппаратуре. Чем ниже КПД, тем больше надо отводить теплоты. У отдельных ВИПов КПД превышает 90%, однако в среднем оценивается в 80...90%.

Необходимо отметить, что все ВИПы должны иметь развязанные от корпуса выходные клеммы, которые допускали бы, в зависимости от подключения нулевой шины (земли), получение как положительного, так и отрицательного значения номинала напряжения питания. Кроме того, желательно предусматривать возможность выдачи напряжения нескольких номиналов.

Необходимо обращать особое внимание на подключение к каждому ВИПу устройств защиты для обеспечения их надежной работы. Выходы устройств защиты подключаются к устройству управления, в котором реализуется определенная логика реакции на эти сигналы.

**Надежность системы питания.** Надежность системы питания АСОИУ зависит от надежности используемых элементов и принципа построения. Вопросам повышения надежности элементов уделяется большое внимание и на это расходуются значительные ресурсы, а появление элементов с высокой надежностью возможно только через продолжительное время. Поэтому при построении систем обычно

следует использовать структурные методы обеспечения надежности, которые дают возможность успешно применять существующие элементы.

Рассмотрим принципы структурного обеспечения требуемой надежности систем питания.

В понятие «надежность системы питания» часто включается требование обеспечения непрерывности подачи питания и отсутствия импульсных помех, поскольку только совокупность этих факторов обеспечивает нормальное функционирование АСОИУ.

В подавляющем большинстве случаев резервирование в системе питания АСОИУ осуществляется комплексно, т. е. совместно с частями АСОИУ, в которые входят устройства питания. Подобный принцип резервирования питания связан с достигнутыми уровнями надежности частей АСОИУ и устройств питания. Кроме того, принцип комплексного резервирования обладает рядом положительных эксплуатационных характеристик, которые значительно упрощают обслуживание АСОИУ. Для обеспечения непрерывности питания предусматривается подача энергии от двух первичных источников. Непрерывность питания АСОИУ может достигаться несколькими путями, при этом предполагается, что первичное напряжение не может пропасть одновременно на двух первичных источниках — основном и резервном.

Первым вариантом получения непрерывного питания на АСОИУ является подача энергии в систему питания через быстродействующие переключатели П1 и П2 (рис. 4.12, а). Переключение производится практически одновременно. Переключатель П2 включается, а П1 отключается. Возможна кратковременная подача энергии с двух источников первичного питания переменного тока. При длительности совместной работы не более 70 мс такой режим не приводит к ненормальностям как у источников, так и у АСОИУ ввиду значительной индуктивности первичного источника.

Второй вариант непрерывного питания АСОИУ получается посредством резервирования частей АСОИУ (рис. 4.12, б). Этот вариант может быть применен в том случае, если имеется, как минимум, один полный комплект ре-

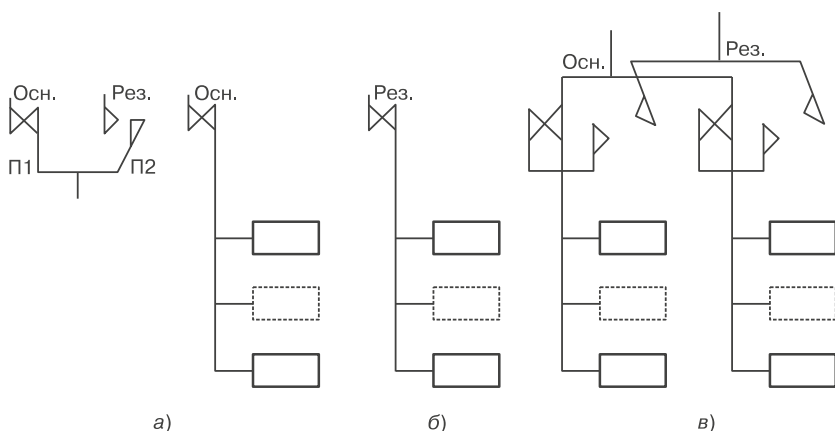


Рис. 4.12

зервных частей АСОИУ. Основные части АСОИУ питаются от основного первичного источника, а резервные — от резервного первичного источника.

Третий вариант непрерывного питания объединяет идеи первого и второго вариантов, поэтому он является более совершенным, чем предыдущие (рис. 4.12, в). Необходимо отметить, что первый вариант, хотя и требует быстродействующих переключателей и их согласованной работы, обладает большими функциональными возможностями для повышения надежности частей АСОИУ, так как не накладывает ограничений на построение структуры резервирования частей АСОИУ.

Второй вариант этого преимущества не имеет, но он не требует переключения питания, что упрощает борьбу с помехами, возникающими при коммутации энергии. Третий вариант не имеет перечисленных особенностей, но для его реализации требуется большее количество аппаратуры.

Выбор варианта построения непрерывного питания определяется системными соображениями, и если разрешают условия, то целесообразно использовать третий вариант.

Источники непрерывного питания выпускаются серийно рядом фирм. При их приобретении и использовании

необходимо обращать внимание на фильтрующие способности по подавлению коммутационных помех, длительность поддержания напряжения на выходе при исчезновении его на входе, мощность источника непрерывного питания.

**Требования к источникам питания и принципы построения ВИПов.** Принципы построения ВИПов тесно связаны как с характеристиками первичных источников питания, так и с требованиями, предъявляемыми к качеству питания элементов схем, т. е. вторичному питанию.

Проведем классификацию вторичных источников питания. По первичному питанию разделим ВИПы на три группы:

- 1) использующие первичное питание переменного тока 50 Гц, 220 и 380 В;
- 2) использующие первичное питание переменного тока 400 Гц, 220 В;
- 3) использующие первичное питание постоянного тока 27, 220 В и др.

Далее ВИПы, работающие на переменном токе, разделим на две группы:

- 1) имеющие трансформаторный вход;
- 2) бестрансформаторные.

Кроме того, можно выделить ВИПы с преобразованием частоты и с последующим ее выпрямлением.

На основании приведенной классификации можно представить различные варианты построения структуры ВИПов (рис. 4.13).

Выбор структуры построения ВИПов в значительной мере зависит от наличия комплектующих изделий: полупроводниковых высоковольтных транзисторов и конденсаторов, а также высокочастотных трансформаторов. Получили распространение ВИПы с трансформаторным входом, который дает возможность построить ВИП с выпрямителем и линейным стабилизатором (структура 2). Этот тип ВИПа может обладать высоким быстродействием, высокой стабильностью и низким КПД (30...40%) и иметь значительные объемы.

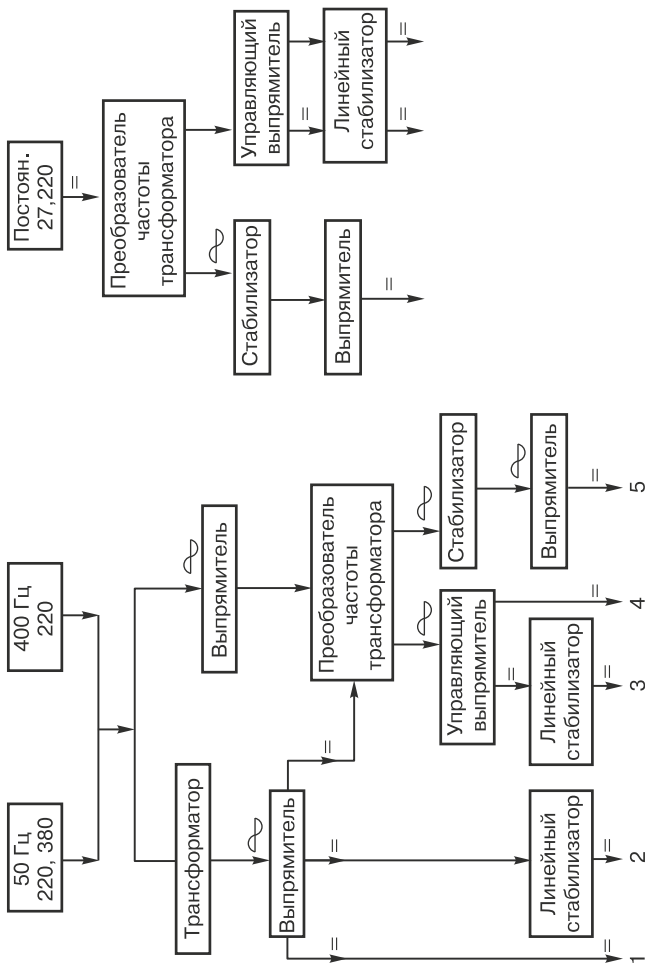


Рис. 4.13



При низких требованиях к параметрам вторичного питания можно использовать структуру 1, состоящую из трансформатора и выпрямителя.

На основе входного выпрямителя можно построить ВИП с промежуточным преобразованием постоянного напряжения в высокочастотное переменное (20...60 кГц) с последующим его выпрямлением и стабилизацией (структура 3 или структура 4). Этот путь, связанный с двойным преобразованием, позволяет сократить габариты ВИПа за счет резкого уменьшения размеров фильтров и трансформатора и повысить КПД до 60...90%, особенно для маломощных ВИПов с несколькими номиналами питающих напряжений.

Высокочастотное питание дает возможность применить несколько вариантов стабилизации выходного напряжения, таких как импульсная стабилизация амплитуды высокочастотного переменного напряжения при подаче его на выпрямитель; импульсная стабилизация при выпрямлении управляющим выпрямителем; выпрямление и линейная стабилизация на выходе. Импульсная стабилизация повышает КПД ВИПа до 60...90%, однако его быстродействие при этом понижается. В структуре 5 применяется импульсная стабилизация.

Использование постоянного напряжения для ВИП связано с его преобразованием в высокочастотное переменное напряжение с последующим преобразованием в постоянное аналогично рассмотренным вариантам. Выбор принципа построения ВИПа в значительной степени связан с характеристиками устройств (такими, как количество номиналов напряжения, мощность и стабильность потребления, требуемая по каждому номиналу), а также с компоновкой и конструктивным оформлением устройств, уровнем их унификации.

Можно привести несколько вариантов расположения ВИПов относительно потребителей. На рисунке 4.14, *a* показаны ВИПы, находящиеся в одном блоке (приборе, секции) с устройствами, которым они подают питание. Расстояние между ВИПом и потребителями энергии не превышает 0,2...0,7 м.

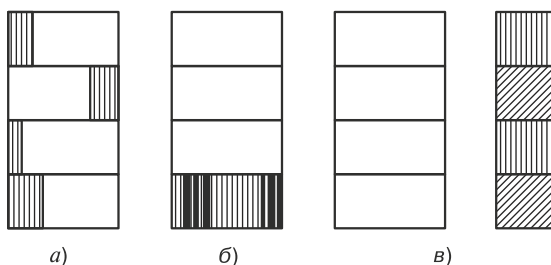


Рис. 4.14

На рисунке 4.14, б ВИПы объединены в группы и совместно с потребителями образуют единую конструкцию (линейка, прибор). Расстояние от ВИПов до потребителей может достигать до 1...2 м.

На рисунке 4.14, в ВИПы объединены в группы, которые конструктивно отделены от потребителя; при этом расстояние между ними может быть до 3...5 м.

Вариант расположения ВИПов, показанный на рис. 4.14, а, наиболее рационально применять для схем с высокочастотными характеристиками и импульсными нагрузками. Его основное преимущество — малая длина цепей питания и, следовательно, их малая индуктивность. Однако этот вариант требует внимательного отношения к системе охлаждения ВИПов для исключения их теплового влияния на работу устройств.

Вариант расположения ВИПов, показанный на рис. 4.14, б, имеет большую индуктивность цепей питания и поэтому применяется для схем с меньшей частотой, чем в предыдущем варианте. Этот вариант имеет лучшее охлаждение ВИПов и устройств, поскольку они разделены и могут охлаждаться независимо друг от друга.

Вариант, показанный на рис. 4.14, в, используется в редких случаях, когда по каким-либо причинам расположить ВИПы близко к потребителям энергии нельзя.

Унификация ВИПов для АСОИУ имеет большое значение, так как создает возможность рационального построения устройств питания отдельных частей и всей системы

питания в целом. Унификация проводится в двух направлениях. Первое связано с конструктивным оформлением ряда ВИПа, второе — со схмотехническими решениями.

Для первого направления габаритные размеры ВИПа, связанные с его мощностью и номиналами напряжений, обычно выбирают кратными определенной конструктивной единице. На рис. 4.15 приведена конструктивная единица, складывая которую, получаем габаритные размеры ряда ВИПов.

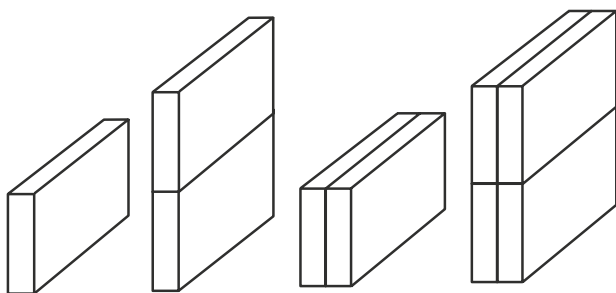


Рис. 4.15

Схмотехнические решения унифицируются по отдельным частям ВИПа, например по управляющей схеме, которая может быть одинаковой для ряда номиналов питания и мощностей.

Исходя из статистических данных, можно записать соотношение частот выхода из строя части АСОИУ и устройства питания (УП) этой части:

$$\frac{\Lambda_{\text{ч}}}{\Lambda_{\text{уп}}} = 3 \dots 5.$$

Это соотношение связано с объемами аппаратуры части АСОИУ, которая имеет свое устройство питания. На его основе можно оценить требование к ВИПам со схемами защиты на основании выражения

$$\Lambda_{\text{вип}} = \frac{a_{\text{уп}}}{1 - b_{\text{уп}} m},$$

где  $m$  — число ВИПов в устройстве питания;  $a_{\text{уп}}$ ,  $b_{\text{уп}}$  — коэффициенты аппроксимации, учитывающие частоту выхода из строя схем управления и фильтров, качество контроля и технологию изготовления.

Для оценки объемов, которые может занимать ВИП, часто пользуются статистическими данными, представляющими мощность ВИПа, которая приходится на кубический дециметр. Но эта мощность прямо связана с характеристиками охлаждения и КПД. Для принудительного воздушного охлаждения и КПД  $\approx 50\%$  эта величина составит  $\delta P = 35 \dots 20$  Вт/дм<sup>3</sup>. Дальнейшее ее увеличение связано с улучшением методов охлаждения и повышением КПД:

$$W_{\text{вип}} = \frac{P}{\delta P_y},$$

где  $W_{\text{вип}}$  — объем ВИПа, дм<sup>3</sup>;  $P$  — выходная мощность предполагаемого ВИПа, Вт.

## 4.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦИЙ

**Требования к конструкции.** Конструкция АСОИУ связана, с одной стороны, с условиями эксплуатации, а с другой — с технологией изготовления. Условия эксплуатации оказывают определенное влияние на выбор принципа конструкции. Общие требования к конструкции задаются условиями работы, габаритными размерами, массой, а также потребляемой мощностью и, при необходимости, способами охлаждения. Кроме того, необходимо согласовывать габаритные размеры и массу прибора с возможностями его монтажа (установки) на объекте.

В подавляющем большинстве случаев для управляющих систем габаритные размеры или объем являются критическими параметрами, за сокращение которых ведется борьба при разработке конструкции. Для ряда областей техники, таких как авиация, космос, корабли, частично автомобилестроение, таким же важным параметром является масса аппаратуры.

Принципиально необходимо при разработке конструкции учитывать условия обслуживаемости в процессе основ-

ной работы. Если при эксплуатации не предусматривается обслуживание, то это влияет на габаритные размеры и массу конструкции. Если же в процессе работы предусматривается возможность обслуживания, то в конструкции необходимо выделять соответствующие зоны подхода к ее частям и возможность их замены.

Большое влияние на массу конструкции оказывают требования к механической прочности (устойчивости), к вибрации и ударам. Эти требования определяются местом установки на объекте и условиями эксплуатации объекта. Они нормированы соответствующими ГОСТами.

Климатические условия, в которых предполагается работа системы, предъявляют определенные требования к конструкции и аппаратуре; они также нормированы соответствующими ГОСТами. В ряде случаев выдвигаются специальные требования, которым должны удовлетворять конструкция и аппаратура.

Габаритные размеры конструктивного оформления аппаратуры в основном задаются условиями их транспортировки и сборки или демонтажа на объекте установки, т. е. размеры приборов должны обеспечивать пронос их через двери или люки на место их установки или монтажа на объекте. В ряде случаев для удобства проноса прибора на объект в качестве требования к конструкции задается его масса.

**Уровни конструкции.** При разработке и создании конструктивного оформления аппаратуры чрезвычайно важно выбрать и определить уровни конструкции. Их число определяется количеством конструктивно оформленных частей, из которых состоит прибор. Количество уровней конструкции в значительной степени связано с технологией производства аппаратуры, затратами на материалы и изготовление конструкции. Важнейшей характеристикой технологичности конструкции являются трудозатраты на ее изготовление. Минимизация этих затрат — одна из главных задач конструирования и выбора уровней.

В универсальных вычислительных машинах имеется три-четыре конструктивных уровня. Например, в ЕС ЭВМ четыре уровня: 1) типовой элемент замены (ТЭЗ); 2) панель; 3) рама; 4) стойка-прибор.

В управляющих вычислительных структурах в большинстве случаев предусмотрены два или три конструктивных уровня, например: 1) плата с электроэлементами; 2) блок; 3) шкаф-прибор.

Сокращение числа конструктивных уровней обычно приводит к увеличению жесткости конструкции и уменьшению ее массы, с одной стороны, и к усложнению ее изготовления, с другой.

На выбор числа уровней конструкции большое влияние оказывает количество выделяемой теплоты и метод охлаждения аппаратуры. Конструкции с тремя-четырьмя уровнями для охлаждения используют воздух, а с двумя-тремя — могут иметь водяное охлаждение или быть без специального охлаждения.

Выбор числа уровней конструкции во многом определяется первым уровнем и его характеристиками.

**Характеристики первого уровня конструкции (блока).** Первый уровень конструкции получил название типового элемента замены (ТЭЗ) или блока. ТЭЗ, или блок, состоит из печатной или монтажной платы с радиоэлектронными элементами, которая обрамлена конструкционными элементами, контактными колодками или разъемами. Основными конструкторскими и технологическими характеристиками блока являются:

- габаритные размеры и площадь;
- число контактов, обеспечивающих прием и выдачу информации и подачу питания (через разъемные соединения);
- количество микросхем — корпусов и других радиокомпонентов, устанавливаемых в блоке, или допустимая площадь на контакт;
- допустимая мощность, выделяемая схемами блока;
- затраты труда на изготовление и регулировку блока;
- затраты на создание технологической оснастки.

Проведем анализ взаимосвязей характеристик блока.

Габаритные размеры прямо связаны с площадью печатной платы. Размеры печатной платы непрерывно увеличиваются с развитием вычислительной техники и ра-

диоэлектроники. Это вызвано ростом быстродействия элементов и стремлением сократить расстояния между ними для уменьшения времени передачи сигналов. Однако увеличение площади печатной платы ограничивается технологическими возможностями обеспечения необходимой точности их изготовления. Для АСОИУ размеры печатной платы дополнительно ограничиваются требованиями по прочности и устойчивости к механическим воздействиям.

Габаритные размеры печатной платы выбираются также с учетом размещения определенного количества контактов, которые необходимы для установки микросхем, радиоэлементов, разъемов, контактных колодок для подпайки жгутов и переходных контактов между слоями в многослойных печатных платах (МПП).

Количество размещаемых микросхем, микропроцессоров и других комплектующих изделий на печатной плате определяется числом входных-выходных контактов, которые обеспечивают связь блоков друг с другом. Эта взаимосвязь изменяется с увеличением степени интеграции микросхем. Кроме того, количество размещаемых на плате микросхем определяется допустимой тепловой мощностью, которая может быть отведена с платы.

Затраты на изготовление блока при определенной площади, приходящейся на контакт, прямо пропорциональны площади платы блока. Затраты на регулировку и контроль блока возрастают нелинейно с увеличением числа контактов. Однако с повышением функциональной сложности блока значительно возрастают затраты на контрольно-диагностическую и регулировочную аппаратуру. Это, в свою очередь, повышает требования к техническому персоналу, участвующему в создании блока.

Вместе с тем увеличение площади печатной платы сокращает их количество, которое требуется для реализации схемы устройства и приводит к сокращению затрат по изготовлению второго уровня конструкций.

Влияние площади печатной платы на эксплуатацию проявляется через второй уровень конструкции, однако для обслуживаемых систем это связано с количеством запас-

ных блоков и затратами на их изготовление и хранение на объекте.

Таким образом, выбор площади блока и его габаритных размеров является комплексной системной задачей, которую надо решать одновременно для всех принятых в системе уровней. Известны европейские стандарты, определяющие площадь печатной платы и габариты конструкции.

Учитывая важность повышения плотности или количества комплектующих элементов на монтажной плате, рассмотрим некоторые вопросы монтажа. В настоящее время количество комплектующих элементов, которые можно расположить на определенной площади монтажной платы, определяется не площадью самих элементов, а количеством цепей связи, которые нужно разместить на монтажной плате. При применении печатного монтажа количество цепей связи определяется минимальной шириной печатного проводника и зазором между ними. Эти параметры задаются технологическим процессом изготовления печатных плат.

С другой стороны, количество цепей, которое надо разместить на печатной плате, определяется логической структурной схемой устройства и степенью интеграции используемых микросхем. Для комплексной оценки возможности расположения на монтажной плате определенного количества комплектующих элементов с учетом используемой технологии монтажа (печатный односторонний, двухсторонний, многослойный и тонкопроводный) используется показатель, характеризующий количество квадратных миллиметров поверхности монтажной платы, приходящейся на один контакт. Общее число контактов на плате определяется суммой контактов всех комплектующих изделий (микросхем и радиоэлементов), контактов разъемов или контактных колодок для пайки жгутов, а для многослойных плат — межслойных контактных переходов.

**Характеристики второго уровня конструкции (прибора).** Прибор является конструктивно и функционально законченной структурой и занимает верхний уровень иерархии конструкции. Конструкция прибора характеризуется следующими конструктивно-технологическими показателями:



- числом цепей связи с другими приборами;
- количеством блоков, которые можно установить в прибор;
- допустимой тепловой мощностью, выделяемой в приборе;
- способом охлаждения, который обеспечивает определенную температуру на корпусах элементов;
- габаритными размерами прибора и массой;
- принципом доступа к монтажу и блокам;
- трудоемкостью изготовления, а также общими показателями, связанными с условиями эксплуатации (климатическими и механическими).

Рассмотрим количественные значения этих показателей.

Показателем конструкции прибора является количество цепей, которыми прибор связывается с другими приборами системы. Оно зависит от функциональной схемы прибора. Трудности вывода цепей из прибора во многом определяют габаритные размеры самого прибора и условия его установки на объекте. Поэтому используется коэффициент, оценивающий количество цепей связи, приходящееся на единицу площади поверхности прибора:

$$K_{\text{в}} = \frac{\Pi}{F_{\text{п}}},$$

где  $\Pi$  — количество цепей связи прибора с системой;  $F_{\text{п}}$  — площадь поверхности прибора,  $\text{дм}^2$ .

Комплексную оценку количества блоков и допустимой мощности, выделяемой в приборе, проведем по отношению к количеству контактов блоков и цепей связи прибора. Показатель, характеризующий эффективность использования объема прибора, называется коэффициентом плотности прибора:

$$K_{\text{п}} = \frac{m_{\text{б}} M_{\text{б}} \Pi}{W_{\text{п}}},$$

где  $m_{\text{б}}$  — количество контактов в блоке;  $M_{\text{б}}$  — количество блоков в приборе;  $W_{\text{п}}$  — объем прибора,  $\text{дм}^3$ .

Определяя этот коэффициент для блока и прибора, можно видеть степень использования объема в конструкции соответственно для блока и прибора. По его величине судят о компактности конструкции прибора. Этот коэффициент зависит от числа уровней конструкции, используемых разъемов, методов монтажа цепей, соединяющих различные уровни, и др. Однако он не учитывает возможности конструкции по допускаемой мощности, которая может выделяться в приборе комплектующими элементами.

Тепловую мощность, выделяемую в приборе, оценивают коэффициентом мощности:

$$K_m = \frac{Q_{II}}{W_{II}},$$

где  $Q_{II}$  — мощность, выделяемая в приборе, Вт.

Показателем, оценивающим тепловые режимы работы элементов в приборе, является температура на корпусах элементов и мощность, выделяемая в приборе. В зависимости от величины  $K_m$  и принятой температуры работы элементов определяется способ охлаждения прибора.

Отметим, что количество контактов, которое определяется для анализируемой конструкции по допустимому коэффициенту мощности для радиоэлектронных систем, всегда меньше количества контактов, которое определяется по коэффициенту плотности. Чем ближе эти величины, тем совершеннее конструкция прибора.

# 5

## ГЛАВА \_\_\_\_\_

# ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ АСОИУ

### 5.1. ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ АСОИУ

В процессе создания АСОИУ участвуют три организации:

- организация-заказчик, для которой предполагается создать АСОИУ и которая будет ее эксплуатировать;
- организация-исполнитель, возглавляющая разработку системы и обеспечивающая ее внедрение;
- организация-изготовитель, обеспечивающая производство АСОИУ.

К работам по созданию АСОИУ могут привлекаться дополнительно в качестве соисполнителей специализированные организации, а часть проектной документации может разрабатываться самим заказчиком. Взаимоотношения между организациями регламентируются соответствующими договорами, заключаемыми между сторонами. Весь период создания системы состоит из следующих этапов:

- разработка технических предложений;
- разработка технических требований к системе;
- разработка эскизного проекта;
- разработка технического проекта;
- изготовление рабочих чертежей;
- создание опытного образца;
- проведение испытаний опытного образца;
- корректировка рабочей документации;
- изготовление головного образца системы и ввод его в эксплуатацию;

- опытная эксплуатация и доработка головного образца, корректировка документации;
- выпуск и ввод в эксплуатацию серийных образцов.

В зависимости от того, в какой степени при проектировании используются готовые или известные технические и методологические решения, некоторые из этих этапов могут объединяться. В других случаях отдельные этапы (например, эскизное или техническое проектирование) могут дополняться экспериментальными работами для исследования новых решений, схем и методов.

Остановимся на содержании отдельных этапов проектирования АСОИУ.

**Разработка технических предложений.** На этом этапе проводится изучение и анализ существующей системы управления объектом, выявляются направления совершенствования методов управления и их автоматизации или формулируется общая постановка задачи создания АСОИУ. В функции организации-исполнителя на этом этапе входят: разработка перечня работ по всем этапам обследования процесса или исследования задач, в том числе работа совместно с представителями заказчика; анализ и обобщение материалов обследования. При этом организация-заказчик обеспечивает сбор, систематизацию и представление разработчику всей необходимой информации. На основании проведенных исследований задач или процесса проводится определение «общих контуров» проектируемой АСОИУ. На основании этих работ выполняется ориентировочная оценка стоимости системы, сроков ее создания и приводятся соображения о необходимости и эффективности создания АСОИУ.

**Разработка технических требований (ТТ) или технического задания (ТЗ).** Для некоторых систем, когда учитывается порядок их работы, эти требования называют тактико-техническими требованиями (ТТТ) или тактико-техническим заданием (ТТЗ). На основании рассмотренных технических предложений заказчик формулирует исходные требования к системе, обусловленные ее назначением и условиями создания или использования. Например, при построении предприятием АСОИУ целью может быть уве-

личение годового выпуска продукции за счет совершенствования управления и сокращение финансовых расходов на выпускаемую продукцию. При построении АСОИУ космическим кораблем целью может являться обеспечение навигации с заданными массой и габаритами.

Иногда требования к системе, формулируемые заказчиком, могут оказаться несовместимыми. Например, заказчик может потребовать создать такой самолет с числом Маха 3, который мог бы приземляться на 150-метровую полосу, что не может быть выполнено по объективным причинам. Поэтому требования к системе должны быть исследованы на совместимость и в случае необходимости уточнены.

При разработке технического задания в случае необходимости устанавливаются очереди введения в строй АСОИУ с указанием подсистем и задач для каждой очереди. При решении вопроса очередности создания системы определяющими факторами являются:

- распределение финансовых средств во времени по этапам создания АСОИУ;
- возможность приобретения или разработки в намеченные сроки тех или иных технических средств;
- возможность разработки соответствующих разделов математического обеспечения системы;
- подготовленность объекта управления к внедрению АСОИУ;
- важность и экономическая эффективность подсистем;
- возможность использования в последующих разработках результатов внедрения предыдущих очередей АСОИУ.

В ТЗ определяются условия эксплуатации системы в части климатических, механических и при необходимости других воздействий (например, химических, радиационных и др.). В ряде случаев, когда АСОИУ устанавливается на подвижные объекты, в ТЗ записываются требования к массе системы, занимаемому объему или площади. Специальным разделом в ТЗ записываются требования к надежности работы АСОИУ и возможности применения материалов и комплектующих изделий.

ТЗ оформляется заказчиком в виде документа, подписывается, согласовывается и утверждается заказчиком и исполнителем в соответствии с установленным порядком. В качестве примера приведем структуру ТЗ на построение автоматизированной системы управления (АСУ). В ТЗ должны приводиться:

- общая цель создания системы;
- краткая характеристика сложившейся системы управления;
- перечень подсистем и задач, включаемых в АСУ, и основные требования, предъявляемые к ним (определяются назначение и функции каждой из них, их места в системе и взаимосвязи, общесистемные требования, предъявляемые к каждой подсистеме);
- общие требования, предъявляемые к информационной базе, комплексу технических средств и математическому обеспечению;
- основные требования к функционированию системы;
- организационные положения по разработке системы (координационный план разработки и внедрения АСУ с указанием организаций, участвующих в этих работах, перечня и объемов работ, выполняемых каждой из них, а также сроков их выполнения);
- перечень этапов создания АСУ;
- предварительный расчет технико-экономической эффективности, получаемой от внедрения АСУ.

**Разработка эскизного проекта.** По техническим требованиям разрабатывается эскизный проект. Основываясь на результатах обследования процесса управления или исследованиях задач, исполнитель определяет целесообразную степень автоматизации процесса управления. Оценивая целесообразность автоматизации каждой функции системы, исполнитель стремится перейти от требований заказчика, ориентированных на назначение системы, к требованиям, ориентированным на само оборудование. Другими словами, исполнитель должен получить представление об особенностях оборудования, отвечающего сформулированным заказчиком требованиям.

Для этого необходимо для каждой функции системы, относительно которой решается вопрос автоматизации, сформулировать задачу переработки информации математически и разработать алгоритм решения этой задачи. Иногда ввиду математической сложности алгоритмизации процесса решения сформулированной задачи целесообразно пересмотреть ее содержательную формулировку либо даже соответствующую функцию системы управления (следует заметить, что целесообразность изменения функции системы управления может быть установлена еще на этапе обследования объекта). Процесс определения совокупности автоматизируемых функций системы и совокупности решаемых системой задач имеет итеративный характер. Здесь выбираются принципы решения поставленных функциональных задач и определяются методы решения частных задач. При этом вырабатывается генеральная схема АСОИУ, определяющая разделение функций между людьми и автоматической аппаратурой, приводится в самом общем виде описание алгоритмов и процессов обработки информации и документов, которые предполагается использовать в новой системе.

При разработке алгоритмов и программ проводится оценочное программирование и выявляются требования к вычислительным устройствам. На этом этапе определяются звенья системы, которые необходимо разрабатывать вновь, и те, которые могут быть выбраны из номенклатуры серийно выпускаемых приборов и устройств. Одновременно выбирается техническая база для построения всех технических средств системы. На этапе эскизного проектирования продолжается уточнение организационных вопросов: составляется общий сетевой график создания системы с учетом взаимодействия всех участвующих в разработке организаций.

Следует подчеркнуть, что в эскизном проекте должно быть предложено несколько вариантов решения тех или иных вопросов проектирования и построения как системы в целом, так и ее отдельных элементов. Также должны быть рассмотрены и проанализированы их достоинства и недостатки. На этапе эскизного проекта проводятся согла-

сования всех связей проектируемой системы с источниками и потребителями информации и исполнительными средствами других систем, размещение всех приборов системы на объекте с учетом требований к их расположению.

На этапе эскизного проекта могут выполняться макетирование отдельных устройств и приборов для проверки принципов их построения, проведение экспериментальных исследований и обработка конструкторской документации. По договоренности с заказчиком работы по макетированию могут частично выполняться и на этапе технического проекта.

На этапе эскизного и технического проектов широко используется моделирование как для анализа работы отдельных устройств и схем, так и для проверки правильности алгоритмов и программ.

Следует уделять внимание определению объемов и последовательности финансирования работ по построению АСОИУ. Оценка стоимости на этапе эскизного проектирования проводится по статистическим данным на основании опыта проектирования, причем эти данные в разных организациях могут быть различными. Это объясняется влиянием организации работ, структуры предприятия и т. д.

Эскизный проект рассматривается заказчиком, его заключение с учетом выбранного варианта и согласованных замечаний является основой для разработки технического проекта.

**Этап технического проектирования** характеризуется более глубокой проработкой всех основных и определяющих звеньев и приборов системы, причем в отличие от эскизного в техническом проекте разрабатываются принятые решения основных вопросов.

Эти решения и будут реализовываться в процессе последующего проектирования. Все технические решения по конструированию приборов системы должны быть согласованы с технологами. Это требование определяет уровень детализации проекта и степень конструкторской проработки его элементов. В итоге этой работы составляются технические условия (ТУ) на поставку системы и изготовление приборов.



Математическое обеспечение на этапе технического проекта должно быть полностью определено. Это означает, что должны быть:

- разработаны блок-схемы всех программ;
- разработаны программы решения всех основных задач;
- проведена проверка основных программ. Если в качестве системы преобразования информации (СПИ) используется специализированная ЦВМ (СЦВМ), предварительно должна быть разработана интерпретирующая программа для универсальной ЦВМ, используемой для моделирования СЦВМ;
- разработаны программы, организующие работу всей системы.

На данном этапе окончательно согласовываются схемы размещения приборов системы и ее связи с другими системами. Еще раз уточняются графики изготовления системы и темпы ее финансирования, согласовываются документы, определяющие порядок проверки системы и требования к режиму эксплуатации. Дается детальное описание задач человека в функционировании АСОИУ и технических средств с учетом требований инженерной психологии. Часто приводятся результаты экспериментальной проверки инженерно-психологических требований.

В составе технического проекта АСОИУ должны быть следующие разделы:

- описание общих принципов функционирования системы, ее общей структуры с указанием подсистем, состава обслуживающего персонала;
- перечень задач, решаемых в составе каждой подсистемы;
- схема потоков информации в АСОИУ с указанием способов передачи информации и протоколы согласования;
- состав технических средств АСОИУ;
- технические условия на поставку системы и изготовление приборов;
- исходные данные или постановка задачи расчета экономической эффективности и оценка АСОИУ в соответствии с установленным критерием;
- укрупненный график разработки и внедрения системы.

Среди документов, выпускаемых на стадии технического проектирования разработчиком системы, для каждой задачи имеется документ, носящий название «Постановка задачи» или «Исходные данные», который дополнительно подписывается заказчиком и заинтересованными смежными организациями. В этот документ включаются:

- наименование задачи, ее содержательная формулировка;
- данные о периодичности решения задачи, связи с другими задачами и место в комплексе задач подсистем очереди;
- описание способа организации сбора данных и передачи их в память средств переработки информации с указанием используемых при этом периферийных технических средств и носителей информации;
- описание алгоритма решения задачи, точности решения и методов контроля вычислений, формулировка временных ограничений на выдачу решения;
- обоснование целесообразности предложенного варианта задачи по сравнению с другими вариантами.

Кроме того, в этом же документе или в приложениях к постановке задачи приводятся:

- описание форм входных документов или макетов сообщений на машинных носителях в случае машинного первичного носителя информации;
- сведения о справочной информации, необходимой для решения;
- описание форм выходных и промежуточных документов, используемых на стадии внедрения при проверке правильности расчетов;
- сведения о представлении информации, необходимой для связи с другими задачами.

Разработанный технический проект АСОИУ принимается комиссией, назначаемой заказчиком. В состав комиссии входят представители разработчика и смежных систем. Решение комиссии с предложениями и замечаниями утверждается заказчиком и является основой для рабочего проектирования.

**Этап рабочего проектирования** представляет собой этап выпуска рабочей документации, по которой изготавливается система, проводится ее отладка, испытания и передача в эксплуатацию. Разрабатываются рабочие программы и инструкции по их использованию и изменению, инструкции по эксплуатации средств АСОИУ, должностные инструкции персоналу с указанием действий в случае отказа технических средств АСОИУ. Проводится уточненный расчет экономической эффективности АСОИУ и других обобщенных показателей. Выполняются решения, принятые на стадии технического проектирования.

Принципиальные документы, связанные с изготовлением и приемкой системы, согласовываются и утверждаются заказчиком. Документы на эксплуатацию и их состав согласовываются и утверждаются заказчиком полностью и в обязательном порядке.

Материалы рабочего проекта могут выпускаться поэтапно, по мере их использования, в следующей последовательности:

- документация для изготовления;
- документация для приемки;
- документация для эксплуатации.

В состав рабочей документации, кроме документации на приборы системы, обычно входят:

- алгоритмы и программы решения задач, инструкции по их эксплуатации;
- инструкции по подготовке исходных данных для решения задач и использованию полученных результатов;
- должностные инструкции;
- рабочая документация на размещение, установку и монтаж технических средств;
- инструкции по эксплуатации технических средств;
- уточненный расчет экономической эффективности АСОИУ.

**Изготовление системы.** Отдельные приборы, комплектующие систему, обычно проходят после изготовления автономную отладку и сдаются ОТК и заказчику. После этого приступают к отладке системы (в зависимости от размера

системы этот процесс может подразделяться на ряд подэтапов).

Методика отладки различная для систем разной размерности. Различие определяется возможностью или невозможностью собрать всю систему на общем стенде. Если систему можно собрать на стенде, то сначала проводится комплексная стыковка всех приборов в режиме совместной работы. Затем выполняется комплексная отладка системы с математическим обеспечением (с программами). В заключение проверяется соответствие характеристик системы требованиям, заданным в ТЗ или ТТ. Эти работы проводятся ведомственной комиссией по специальной программе испытаний и по методикам, которые согласовываются с заказчиком и организациями, системы которых связаны с данной системой.

Если систему нельзя собрать на стенде, то для обеспечения отладки заранее разрабатываются и изготавливаются имитаторы тех ее приборов или подсистем, которые отсутствуют при проведении отладочных работ и испытаний. Схемы имитаторов в ряде случаев целесообразно согласовывать с исполнителями приборов.

Комплексная стыковка и отладка системы проводятся с программами, в которых предусматривается штатная работы системы, несмотря на наличие имитаторов. Результаты испытаний фиксируются в акте, и принимается решение о поставке на объект. Этот акт утверждается руководством разработчика.

После проведения испытаний, устранения выявленных недостатков и показа заказчику система поставляется и устанавливается на объекте, где она должна эксплуатироваться.

**В работы на этапе испытания и сдачи системы на объекте** входят автономная проверка работы приборов, комплексная стыковка и комплексная отладка. Необходимость проведения этих работ после отработки приборов на стенде связана с изменением условий работы системы. Действительно, при установке системы на объекте могут измениться длины и взаимное влияние линий передачи информации, появляются другие системы, воздействующие на данную,

изменяются уровни помех. Эти обстоятельства могут привести к изменениям в режимах работы некоторых схем и в программах. После проведения отладочных работ система испытывается специальной комиссией по программам и методикам, утвержденным руководством. Эти испытания называются заводскими. Они предназначены для проверки работы системы. Затем следуют государственные испытания, по результатам которых производится сдача системы и корректировка рабочей документации для изготовления серийных образцов.

После выполнения корректировки и выпуска серийных систем любые изменения в документацию могут вноситься только на основании совместных решений заказчика и изготовителя.

Необходимо отметить, что в больших системах отдельные подсистемы могут отлаживаться в иной последовательности, а некоторые этапы могут отсутствовать. Это харак-



Рис. 5.1

терно, когда система создается в единственном экземпляре (например, крупные АСОИУ административного типа). Для таких систем границы между отдельными этапами, а также время ввода в эксплуатацию не могут быть точно определены, поскольку имеет место поэтапная разработка и внедрение отдельных задач.

Остальные этапы из числа указанных ранее также могут быть изменены или исключены, в зависимости от размера и типа системы.

Последовательность выполнения основных этапов показана на рис. 5.1. Связи между этапами, идущие в обратном (по отношению к последовательности разработки) направлении, отражают возможность корректировки некоторых решений, принятых на предшествующих этапах, по результатам анализа или исследований, выполненных на последующих этапах.

## 5.2. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СОЗДАНИЯ АСОИУ

Организация процесса создания АСОИУ начинается с определения затрат на проектирование и изготовление частей системы, а также времени, необходимого для их производства.

### 5.2.1. Оценка затрат на создание АСОИУ

Затраты на создание АСОИУ определяются посредством оценки стоимости работ на разных этапах.

В *первый этап* входят проектно-исследовательские работы, в результате которых определяются основные требования к системе, оцениваются ее характеристики. По этим данным составляется техническое задание на разработку системы, ее эскизного и технического проектов, а также выпуск рабочих чертежей и программного обеспечения.

Затраты на первом этапе состоят из расходов:

- на исследование объекта и процесса;
- изготовление эскизного и технического проектов и выпуск рабочей документации.

В ряде случаев в этом этапе предусматриваются затраты на макетирование и экспериментальные работы.

*Второй этап* включает в себя: изготовление и отладку аппаратуры и программного обеспечения; проведение испытаний у изготовителя и потребителя (на объекте); сдачу работы представительной комиссии и начало эксплуатации; корректировку документации и передачу ее в серийное производство.

Затраты по второму этапу состоят из расходов:

- на изготовление образца с необходимой контрольно-измерительной аппаратурой, отладку аппаратуры и программного обеспечения, испытание образца и сдачу его комиссии;
- корректировку документации по результатам изготовления и испытаний;
- передачу документации в серийное производство.

*Третий этап* — утилизация системы после окончания эксплуатации. Затраты по третьему этапу определяются в зависимости от сложности демонтажа системы и возможности утилизации составляющих ее частей: извлечения из комплектующих изделий драгоценных металлов, продажи цветных металлов и др.

Рассмотрим, как определяются эти затраты на каждом этапе.

**Затраты на исследование объекта и процесса** обычно определяются в процентном отношении от стоимости объекта. В ряде случаев они зависят от числа исполнителей, их квалификации и продолжительности работы. Отметим, что величина процента также зависит от вида объекта.

Определение затрат на проектирование представляет определенные трудности, что связано с разнообразием систем. Для оценки в этом случае используются статистические данные по уже работающим системам.

Рассмотрим два варианта определения затрат на проектирование системы.

*Вариант 1.* Затраты определяются только в виде части затрат на создание близкой по стоимости базовой системы, характеристики которой близки к разрабатываемой. Для этого выбирается одна или две наиболее важные характери-

стики, определяющие стоимость, сравнивая которые, можно определить коэффициент приведения.

Стоимость системы определяется по формуле:

$$S_c = S_0 K_{\Pi},$$

где  $S_0$  — стоимость базовой системы;  $K_{\Pi}$  — коэффициент приведения, который вычисляется из соотношения

$$K_{\Pi} = \frac{x_c}{x_0},$$

где  $x_c$  — величина параметра характеристики разрабатываемой системы;  $x_0$  — величина параметра характеристики базовой системы.

Таковыми важными характеристиками системы могут быть: для материального производства — килограммы, тонны продукта в единицу времени; для информационных систем — байты, килобайты в единицу времени; для машиностроительной продукции — штуки в единицу времени; мощности в киловаттах для систем, вырабатывающих энергию; показатели экономичности для систем, вырабатывающих продукцию, и т. п.

Точность определения стоимости приведенным методом зависит от опыта разработчиков, выбирающих и оценивающих коэффициент приведения. Субъективность может проявляться как при выборе характеристик, по которым производится сравнение, так и в оценке их параметров. Для уменьшения субъективности при выборе используют экспертные методы. Однако для ряда областей использования системы они определены и не требуют специального обсуждения.

После того как определена стоимость всей системы, проводится распределение по частям и этапам. Оно определяется видом системы, а в ряде случаев и конкретной организацией, ее разрабатывающей и изготавливающей. Так, затраты на проектирование и изготовление для различных видов системы представляются отношениями, которые изменяются с развитием техники (табл. 5.1).



Таблица 5.1

Вид системы	Соотношение затрат	
	на проектирование	на изготовление
Радиоэлектронные системы с вычислительной техникой	0,5...0,8	0,2...0,5
Сложные системы с вычислительной техникой и машиностроением	0,4...0,6	0,6...0,4
Машиностроительные системы	0,2...0,3	0,7...0,8

Эти соотношения не учитывают экспериментальных работ, которые могут проводиться при разработке проектов.

Деление затрат на проектирование между эскизным и техническим проектами, а также выпуском рабочей документации, обычно определяется принятыми в организации традициями выполнения работ.

Для радиоэлектронных систем с вычислительной техникой затраты на проектирование между этапами можно оценить следующими отношениями:

- эскизный проект            0,1...0,15;
- технический проект        0,15...0,2;
- рабочая документация    0,65...0,75.

В зависимости от объема используемых унифицированных аппаратурных решений затраты на программное обеспечение составляют 0,4...0,7 от затрат на проектирование.

*Вариант 2.* Этот вариант основан на анализе состава документации соответствующего ЕСКД. Каждому этапу проектных работ соответствует определенный набор документов с указанием их содержания в общем виде. Это дает возможность каждой организации, проектирующей автоматизированную систему, по ранее спроектированным системам определить количество листов формата А4 для каждого этапа.

Объем документации на этапе *эскизного* проекта практически не зависит от состава системы. Объем документа-

ции *технического* проекта определяется общей частью и описанием приборов.

Количество документов в техническом проекте запишем в виде:

$$Q_T = Q_{TO} + nQ_{ТП},$$

где  $Q_{TO}$  — количество документов формата А4 описания общей части системы;  $Q_{ТП}$  — количество документов формата А4 описания одного прибора;  $n$  — количество приборов в системе.

Объем *рабочей* документации определяется общей частью, т. е. системными документами, и документацией на приборы, состав которой также определяется ЕСКД. Определим количество документов формата А4:

$$Q_P = Q_{PO} + nQ_{ПП},$$

где  $Q_{PO}$  — количество документов описания системы;  $Q_{ПП}$  — количество документов описания прибора;  $n$  — количество приборов.

Отметим, что объемы описания прибора и рабочей документации практически не зависят от функций, выполняемых прибором.

Стоимость каждого этапа проектирования составит:

$$\text{по эскизному проекту} \quad S_э = Q_э s_о;$$

$$\text{по техническому проекту} \quad S_T = Q_T s_о;$$

$$\text{по рабочей документации} \quad S_P = Q_P s_о,$$

где  $Q_э$  — объем документации эскизного проекта;  $s_о$  — стоимость одного листа формата А4 в организации. Эта стоимость может быть различной для каждого этапа и определяется в зависимости от наличия статистических данных по этапам.

Стоимость программного обеспечения в первом приближении для определенных видов систем управления можно определить по зависимости

$$S_{пр} = (q_{вх} + q_{вых}) b s_k,$$

где  $q_{вх}$  — количество входных данных в цикле решения задачи (байты);  $q_{вых}$  — количество выходных данных в цикле решения задачи (байты);  $b$  — коэффициент, учитывающий характер алгоритмов и язык программирования;  $s_k$  — ко-

эффицент, учитывающий стоимость единицы измерения программного продукта (команды, оператора).

**Затраты на проектирование аппаратуры** связаны с ее микроминиатюризацией. Повышение уровня миниатюризации аппаратуры уменьшает количество приборов в системе, что приводит к уменьшению второго слагаемого, определяющего объем документации приборов и затраты на нее на этапах технического проекта и выпуска рабочей документации. Для определения приведенных коэффициентов не требуется специальных расчетов, так как они получаются из показателей, имеющихся в отделе технической документации (ОТД) и планово-экономическом отделе.

Рассмотрим вторую часть затрат — затраты на изготовление аппаратуры. Существует несколько методов оценки. Все они основаны на статистических данных, поэтому точность определяется сопоставимостью статистических данных, полученных при анализе созданных систем, с проектируемой системой.

Затраты на систему определяются по ее объему и средней стоимости кубического метра (или дециметра) аппаратуры систем одного вида и области использования, имеющих близкие условия эксплуатации в соответствии с ГОСТом.

Затраты на изготовление определяются по формуле:

$$S_{\text{н}} = pW,$$

где  $p$  — затраты на единицу объема аппаратуры системы;  $W$  — объем аппаратуры проектируемой системы.

Объем аппаратуры системы на начальном этапе разработки можно оценить двумя методами.

1. *С использованием объема базовой системы.* Объем проектируемой системы определяется по формуле

$$W = W_{\text{б}}K_{\text{н}},$$

где  $W_{\text{б}}$  — объем базовой системы;  $K_{\text{н}}$  — коэффициент приведения. Чем он больше, тем сильнее отличается проектируемая система от базовой; его величину определяют по формуле:

$$K_{\text{н}} = \frac{x_{\text{е}}}{x_{\text{б}}},$$

где  $x_c$  и  $x_6$  — значения параметров системы, оказывающих влияние на ее объем.

Этот метод определения объема системы субъективен, но при опытным эксперте дает удовлетворительные результаты. Для уменьшения субъективизма при определении  $K_{\Pi}$  можно применять методы экспертных оценок нескольких экспертов.

*2. С использованием метода регрессионного анализа.* Для этого по данным нескольких систем близкого назначения строится регрессионное уравнение зависимости объема системы от наиболее важной ее характеристики, например объема производимого продукта в единицу времени или количества изделий, производимых в единицу времени и т. п., или нескольких характеристик:

$$W = f(x_1, x_2, \dots, x_i),$$

где  $x_i$  — характеристики системы. Обычно используют линейное регрессионное уравнение.

Рассмотренный метод оценки стоимости изготовления аппаратуры системы учитывает комплексно, через среднюю стоимость единицы объема аппаратуры, уровень организации производства, квалификацию работников предприятия и его технологическое оснащение.

Стоимость изготовления можно определить на основе анализа общей стоимости системы (см. табл. 5.1).

Для сложных и больших систем важную роль играет организация комплексной отладки. Затраты на нее связаны с тремя важными характеристиками системы: объемом аппаратуры, делением ее на части (приборы) и объемом математического обеспечения (числом команд). Однако на начальном этапе проектирования объем аппаратуры может быть выражен только в затратах на его изготовление, а количество частей, на которое может быть разделена система, определяется после анализа требований к допустимым габаритно-массовым характеристикам приборов.

Затраты на комплексную отладку системы можно определить как сумму, состоящую из трех слагаемых:

$$S_{\text{ко}} = B_1 S_{\text{мо}} + B_2 m + B_3 S_{\text{и}}. \quad (5.1)$$

Первое слагаемое учитывает объем математического обеспечения, второе — число частей (приборов), на которые разделена система, третье — общий объем аппаратуры, на основании которого оцениваются затраты на отладку аппаратуры.

В уравнении (5.1):  $B_1$  — коэффициент, учитывающий долю затрат в зависимости от объема математического обеспечения системы, приходящуюся на комплексную отладку программ; исходя из статистических данных  $B_1 = 0,3 \dots 0,5$ ;

$B_2$  — коэффициент, оценивающий затраты на комплексную отладку цепей связи одного прибора. Зависит от принятых конструкторских и схмотехнических решений, а также от удобства проведения проверок и определяется для каждой организации;

$m$  — количество приборов в системе. Оно складывается из двух частей. Первая часть оценивает число пультов управления и индикаторных устройств в системе. Эти данные обычно приводятся в техническом задании или определяются по аналогии с близкими системами. Вторая часть соответствует числу приборов в системе, которое можно оценить, приняв определенные габаритно-массовые показатели для приборов, исходя из удобства монтажа на объекте и удобства обслуживания:

$$m_2 = \frac{S_x - S_y}{W'_n K_n},$$

где  $S_x$  — затраты на изготовление приборов системы;  $S_y$  — затраты на изготовление вычислительных средств (управляющих приборов);  $W'_n$  — усредненный объем одного прибора с учетом его характеристик;  $K_n$  — коэффициент приведения;

$B_3$  — коэффициент, учитывающий степень влияния стоимости аппаратуры системы на комплексную отладку. Его величину на основе статистических данных можно оценить как  $0,1 \dots 0,2$ .

Еще раз необходимо отметить, что приведенные коэффициенты соответствуют определенным видам систем и характерным условиям работы предприятия, они должны определяться по данным каждого предприятия.

Рассмотрим следующую часть затрат по второму этапу — на корректировку документации по результатам изготовления и испытаний. Они оцениваются процентом от затрат на выпуск рабочих чертежей.

Величина процента выбирается для каждой организации своя на основании ее статистических данных. Она зависит от вида системы и области ее применения и в большинстве случаев составляет 10...20% от затрат на выпуск рабочей документации. Отклонения возможны в обе стороны.

**Затраты на проведение испытаний на объекте** при сдаче системы заказчику определяются на основе опыта проведения испытаний подобных систем. Для некоторых систем основные затраты падают на организацию определенных мероприятий: обеспечение безопасности, замер характеристик системы, установление числа экспериментов, а также расшифровку в вычислительном центре зафиксированных данных измерений. Число экспериментов определяется требуемой достоверностью результатов испытаний.

**Затраты на утилизацию** по третьему этапу создания АСОИУ состоят из двух частей. Одна связана со снятием приборов системы с объекта, их демонтажом. Вторая — с продажей составляющих системы, которые имеют потребительскую стоимость. К ним относятся части, имеющие ценные покрытия, например из золота и серебра. Наибольший интерес при утилизации приборов представляет извлечение из приборов ценных металлов для сдачи в металлолом (медные провода, дюралюминиевые корпуса).

### 5.2.2. Оценка времени создания АСОИУ

Время, требуемое для создания АСОИУ, определяется трудоемкостью и возможностью совмещения работ, т. е. их параллельного выполнения. Совмещение работ при создании системы в значительной мере связано с принятой структурной схемой построения системы и должно предусматриваться при начале проектирования.

Время выполнения этапов определим, используя формулу

$$T_i = \frac{S_i}{gR_i},$$

где  $S_i$  — стоимость выполнения  $i$ -го этапа работы;  $R_i$  — численность работников, участвующих в выполнении этапа;  $g$  — коэффициент, определяющий производительность одного работающего в единицу времени, руб./чел.-день. Этот коэффициент зависит от организации работ, накладных расходов и делового уровня работников предприятия. В зависимости от единицы измерения времени изменяется коэффициент  $g$ .

При определении времени выполнения этапа особое внимание следует обратить на величину  $R_i$  — численность исполнителей, участвующих в выполнении этапа. Для каждого этапа существует критическое число одновременно работающих. Его увеличение выше критического не приводит к сокращению времени выполнения из-за отсутствия рабочих мест или фронта работ. Критическое число работающих зависит от конструкций приборов и их числа в системе, принятой технологии изготовления и отладки приборов. Развитие микроминиатюризации аппаратуры уменьшает критическое число работающих, так как сокращает фронт работ.

Запишем время выполнения каждого этапа проектирования:

$$\text{для эскизного проекта} \quad T_э = \frac{S_э}{gR_э};$$

$$\text{для технического проекта} \quad T_т = \frac{S_т}{gR_т};$$

$$\text{для выпуска рабочей документации} \quad T_п = \frac{S_п}{gR_п}.$$

Для сокращения времени проектирования используется объединение этапов: например, эскизно-технический проект или технорабочий проект. Объединение этапов проектирования согласовывается с заказчиком.

**Время изготовления аппаратуры системы  $t_{ци}$**  связано с циклом производства на заводе. Цикл производства определяется организацией работ, технологическим оснащением, работой служб снабжения, серийностью выпускаемой продукции. Если производственные мощности для изготовления системы недостаточны для запуска в изготовление

всей системы, то запуск производится по частям по мере появления свободных мощностей.

Время изготовления аппаратуры системы (рис. 5.2) при нескольких запусках равно

$$T_{\text{и}} = t_{\text{ци1}} + t_{\text{ци2}}\beta_2 + t_{\text{ци3}}\beta_3 \dots ,$$

где  $t_{\text{ци1}}$ ,  $t_{\text{ци2}}$ ,  $t_{\text{ци3}}$  — время циклов изготовления запущенных в производство частей аппаратуры системы;  $\beta_2 = t_{32}/t_{\text{ци1}}$ ,  $\beta_3 = t_{33}/t_{\text{ци2}}$  — коэффициенты запуска; чем меньше их величина, тем одновременнее производится запуск в производство;  $t_{32}$ ,  $t_{33}$  — интервал времени между последовательными запусками.

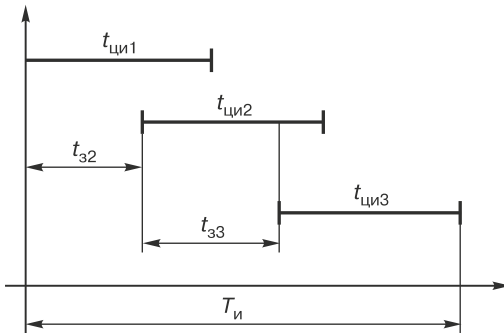


Рис. 5.2

При одинаковых циклах производства время изготовления системы составит (при трех запусках):

$$T_{\text{и}} = t_{\text{ци}}(1 + \beta_2 + \beta_3).$$

Число запусков определяется по формуле

$$S_{\text{и}} = \sum_{i=1}^n S_{3i},$$

где  $S_{3i}$  — стоимость запускаемой  $i$ -й части аппаратуры системы;  $n$  — число запусков для изготовления системы.

При одинаковых объемах запуска в производство число запусков определим по формуле

$$\frac{S_{\text{и}}}{S_3} = |n|.$$

Нормирование числа  $n$  проводится в большую сторону.



При распараллеливании работ по созданию системы появляются новые факторы, которые необходимо учитывать при организации работ. Создание любой АСОИУ обычно ведется на базе достигнутого уровня автоматизации решения поставленных задач, а также технического и технологического уровня производства. Однако практически всегда при введении комплексной автоматизации появляются новые задачи — технические и технологические, при использовании которых можно существенно повысить эффективность системы. Но из опыта создания систем известно, что увеличение количества новых технических, технологических и организационных идей, реализуемых в системе, увеличивает трудности и усложняет производство. Введение новых решений повышает возможность появления ранее неизвестных функциональных связей и свойств, для учета влияния которых обычно требуется дополнительная работа, затраты и время.

Кроме того, в процессе создания АСОИУ, в котором обычно участвует большое число различных предприятий, всегда возможны задержки по различным причинам выполнения отдельных работ, входящих в этапы. Эти задержки практически могут не зависеть от организации работы предприятия. Например, если не получены вовремя нужные комплектующие изделия для изготовления прибора. Или если эти изделия, в свою очередь, не поступили вовремя в связи с нарушением работы транспорта по погодным условиям и т. п.

Если структура построения системы не предусматривает возможности большой параллельности выполнения работ, то появляющиеся задержки при последовательном выполнении накапливаются и приводят к нарушению сроков выполнения этапов. Для ослабления или исключения влияния задержек в выполнении отдельных этапов работ необходимо предусматривать большую глубину их распараллеливания внутри и между этапами создания АСОИУ. Можно отметить, что чем длиннее цепочка последовательно выполняемых работ, тем меньше вероятность выполнения всей цепочки в установленный срок.

### 5.2.3. Определение количества событий в графике работ

Оценим количество событий в графике работ, влияющих на вероятность его выполнения. На величину этой вероятности существенно влияет наличие в составе цепочки событий некоторого числа новых технических, технологических и других работ. Определим функциональную связь между количеством и типом работ в цепочке с учетом их характеристик и вероятностью выполнения всей цепочки событий в срок.

Примем, что вероятность выполнения каждой работы в срок подчиняется нормальному закону распределения. Новизна выполняемой работы задается величиной среднеквадратичного отклонения. Примем, что длительности выполнения каждой работы независимы друг от друга. Среднеквадратичное отклонение цепочки событий для двух типов работ запишем в виде:

$$\sigma_{\Sigma}^2 = n\sigma_1^2 + m\sigma_2^2,$$

где  $n$  — количество типовых работ в цепочке;  $m$  — количество новых работ в цепочке;  $\sigma_1$  — среднеквадратичное отклонение времени выполнения типовых работ;  $\sigma_2$  — среднеквадратичное отклонение времени выполнения новых работ.

Вводя обозначение

$$m + n = M \text{ и } \frac{m}{M} = \delta,$$

перепишем уравнение в виде

$$\sigma_{\Sigma}^2 = M\sigma_1^2 \left[ 1 + \left( \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} - 1 \right) \delta \right],$$

где  $M$  — суммарное количество событий в графике работ;  $\delta$  — доля новых работ в графике.

Задаваясь определенной частью новых работ в графике  $\delta$  и зная среднеквадратичные отклонения выполнения двух видов работ  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , можно определить число  $M$  в виде:

$$M = \frac{\sigma_{\Sigma}^2}{\sigma_1^2 \left[ 1 + \left( \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} - 1 \right) \delta \right]}.$$

Например, при среднеквадратичных отклонениях  $\sigma_1 = 0,8$  сут,  $\sigma_2 = 2$  сут и доли новых работ  $\delta = 0,1$  для выполнения установленных вероятностей и отклонений получаем рекомендуемое число работ в цепочке  $M$  и количество новых работ  $m$  (рис. 5.3).

$P$	$\sigma_\Sigma$	$M$	$m$
0,8	7	60	6
0,95	5	30	3
0,99	3,3	13	1

Рис. 5.3

Для больших сложных систем, состоящих из ряда подсистем, время комплексной отладки определяется временами попарной отладки подсистем друг с другом. Возможность параллельного выполнения попарной отладки определяется числом подсистем и наличием вспомогательного оборудования — имитаторов подсистем.

Рассмотрим пример по определению времени комплексной отладки системы, состоящей из трех подсистем. Структура системы с делением ее на подсистемы была определена на начальном этапе проектирования. Первая подсистема включает 12 аналоговых датчиков с преобразующим устройством. Вторая имеет в своем составе вычислительную машину ВМ 1, устройство выдачи данных на исполнительные средства и схему управления релейными сигналами. Третья включает вычислительную машину ВМ 2, два индикаторных устройства и два пульта управления системой. Структурная схема системы приведена на рис. 5.4.

Затраты на отладку каждой подсистемы определяются уравнением (5.1). Если используются имитаторы соседних подсистем, то необходимо учитывать затраты на их создание.

Время отладки каждой подсистемы определяется по формуле с учетом критического числа работающих. В случае возможности одновременной отладки подсистем при наличии имитаторов временная диаграмма попарной отладки подсистем и всей системы имеет вид, изображенный на рис. 5.5.

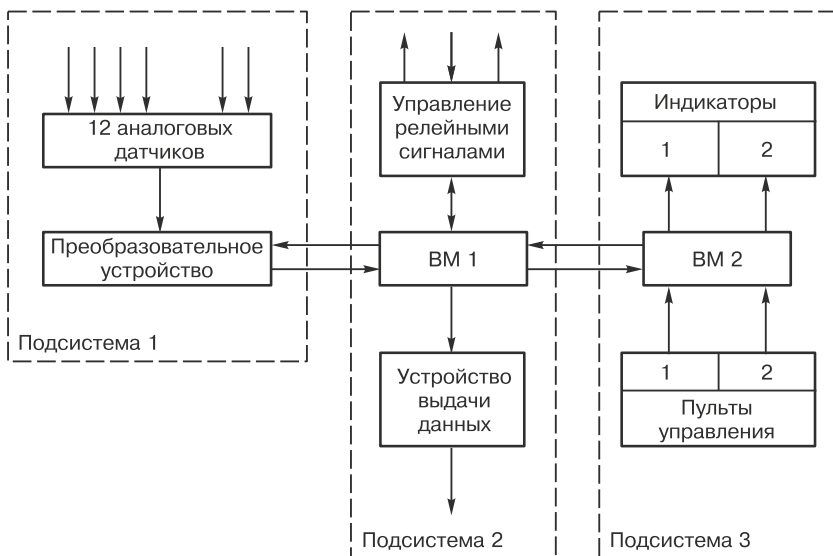


Рис. 5.4

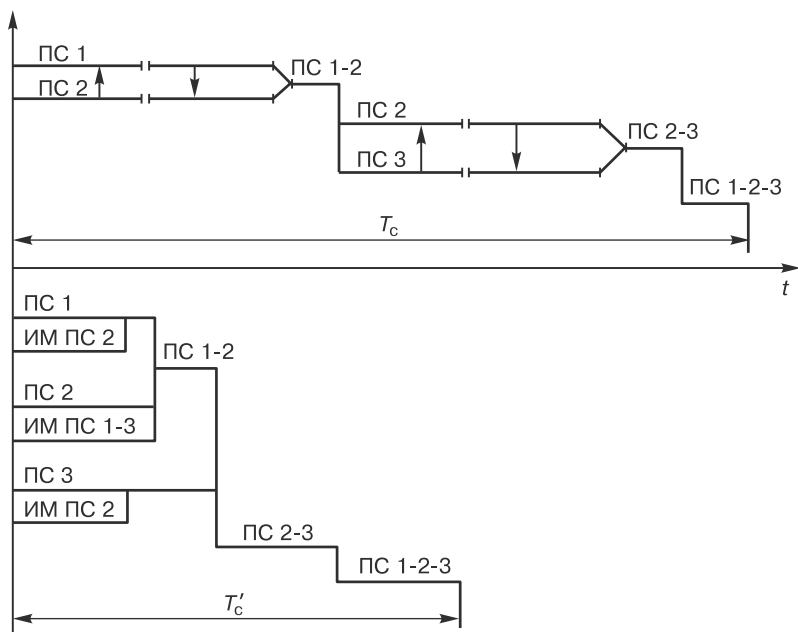


Рис. 5.5

На диаграмме показано, что при отладке первой подсистемы ПС 1 вторая ПС 2 выдает необходимые сигналы для отладки первой. Далее они меняются местами, и первая подсистема выдает сигналы для отладки второй. После этих операций проводится контрольная проверка совместной работы двух подсистем (ПС 1–2). После окончания парной проверки обеих подсистем ПС 2 начинает проверки с ПС 3. Сначала ПС 3 выдает сигналы для отладки работы ПС 2, а затем ПС 2 выдает сигналы для отладки ПС 3. После окончания совместной отладки ПС 2 и ПС 3 проверяется их совместная работа (ПС 2–3). Далее проводится совместная проверка всех трех подсистем или комплексная проверка системы. Суммарное время отладки равно  $T_c$ .

При наличии имитаторов подсистем каждая подсистема отлаживается со своим имитатором. ПС 1 отлаживается с имитатором ИМ ПС 2, ПС 2 отлаживается с имитатором ИМ ПС 1–3, ПС 3 отлаживается с имитатором ИМ ПС 2. После отладки с имитаторами необходима проверка с подсистемами, соответственно ПС 1–2, ПС 2–3 и комплексная проверка ПС 1–2–3.

Время на комплексную отладку системы сокращается в результате параллельных парных отладок подсистем.

В действительности сокращение времени комплексной отладки выбирается на основе допустимой величины затрат на имитаторы, общих затрат на систему и директивных сроков ее создания.

### 5.3. ОТЛАДКА УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Отладка и проверка АСОИУ являются одним из важнейших этапов создания системы, на котором оценивается соответствие созданной системы поставленным техническим требованиям. Это серьезная техническая проблема.

Отладка АСОИУ заключается в контроле правильности выполнения функций, которые определены в ТЗ на систему, или частными ТТ на ее отдельные части. В процессе проведения проверок происходит и частичная доработка системы. Этап отладки и проверок обязательно предшествует этапу испытаний, в котором практически повторяются все

проверки. Можно считать, что это формализованный этап проверок, в котором участвуют представители заинтересованных организаций и заказчика и результаты которого соответствующим образом документально оформляются.

Отладку и проверку АСОИУ можно разделить на три части. В первой проводится отладка и проверка аппаратуры системы, во второй — отладка и проверка программ, а в третьей — комплексная отладка программ и аппаратуры.

Каждая часть состоит из нескольких этапов. В первой части на первом этапе проводится отладка и проверка изготовленной аппаратуры — блоков и приборов системы на соответствие рабочей документации. На втором этапе осуществляется отладка и проверка цепей сопряжения между блоками и приборами подсистем. Третий этап заключается в отладке и проверке приборов подсистем и системы по общей тест-программе.

Вторая часть отладки и проверки программ задач также состоит из трех этапов. На первом этапе проводится отладка и проверка программных модулей по контрольным данным. На втором этапе производится объединение модулей в группы и их проверка. На третьем — группы программ объединяются в задачи (или режимы) для полной проверки взаимодействия с использованием моделирующих программ.

Третья часть — комплексная отладка и проверка подсистем и всей системы на совместную работу аппаратуры и программ в режимах, соответствующих техническому заданию на систему.

Рассматриваемое деление на части и этапы в значительной мере условно и учитывает главным образом организацию отладки и проведения проверок.

Определение содержания отладки и проверок, порядка их выполнения представляет собой сложную научно-техническую и организационную задачу, имеющую свои особенности и специфику для каждой системы. Однако для всех частей и этапов существует общая цель, которая заключается в достижении наилучшего качества отладки и проверок при минимальных затратах ресурсов (времени, энергии и др.). Известны некоторые общие методы отладки и про-

верки систем. К ним относится деление системы на мелкие части с последующим их объединением в группы для отладки и проверки.

### 5.3.1. Отладка аппаратуры АСОИУ

При отладке и проверках АСОИУ, имеющих огромное число состояний, практически невозможно проверить правильность выполнения всех ситуаций, которые могут возникнуть при работе системы в процессе эксплуатации. Поэтому улучшение качества отладки и проверок в больших системах достигается делением ее на части, т. е. на приборы и блоки. В результате этого деления сокращается также и время отладки и проверок.

Главная цель отладки — обеспечение качества системы при минимальных затратах ресурсов. Она достигается последовательным делением системы на части, каждая из которых, в свою очередь, делится на части меньших размеров и т. д. Минимальной частью деления обычно является ТЭЗ — типовой элемент замены (или стандартный блок). Таким образом, получается иерархия деления системы на части, которые последовательно отлаживаются и проверяются.

Однако с увеличением числа частей и уменьшением их размеров повышается общее количество связей между частями и увеличиваются затраты времени на их отладку и проверку. Поэтому при использовании этого метода возникает серьезная проблема, связанная с рациональным разделением системы на части. Это деление должно осуществляться таким образом, чтобы при объединении частей в группы объем отладки и проверок был минимальным. Кроме того, для отладки и проверки частей обычно создают стенды и имитаторы, на которых выполняют эти операции. Количество стендов и имитаторов влияет на величину затрат на отладку и проверку системы. При делении необходимо формировать логически законченные части.

Метод последовательной отладки и проверки широко используется при создании систем для обеспечения высокого качества отладки и проверок. Он реализуется в виде

частных ТУ или требований на отладку и проверку работы отдельных блоков, устройств, подсистем, программ и т. п. Деление аппаратуры системы на части — приборы, блоки — в большинстве случаев проводится исходя из условий проноса и монтажа приборов на объекте, а определение размеров блоков — на основании конструкторских соображений, связанных с возможностью расположения в заданном объеме, например, определенного числа элементов и используемым разъемом с определенным количеством контактов.

Разработка порядка отладки и проверок АСОИУ и методик их выполнения является исключительно серьезной и сложной задачей.

Главной целью организации и проведения отладки и проверок является сокращение затрат и уменьшение расхода ресурса системы при обеспечении заданного качества. На каждом приведенном этапе отладки и проверок необходимо предусматривать меры для повышения качества и сокращения времени их проведения.

### **5.3.2. Отладка программного обеспечения**

Одной из важнейших работ при создании системы является разработка и отладка программного обеспечения, т. е. программ, по которым работает вычислительная система.

Программы создаются на основании математических описаний функциональных задач и протоколов обмена информацией между ними.

Разработка программ для управляющих вычислительных систем требует определенной организации работ.

*Первый этап организации работ* — анализ математических описаний задач и алгоритмов их решения путем моделирования на универсальных машинах с использованием языков программирования высокого уровня (ЯВУ) с целью определения правильности алгоритмов, оценки точности вычислений, времени счета, объемов памяти, а также составления таблиц для конкретных проверок.

После проведенных исследований алгоритмов функциональных задач на универсальных машинах их программируют на языке вычислительной машины управляющей системы (УС).



*Вторым этапом организации работ* по программированию является деление определенной общей задачи на отдельные части — подзадачи, частные алгоритмы и далее на программные модули. Это деление связано как с содержательным смыслом каждой части, так и с объемом ее программы, количеством ошибок программирования и затратами на их исключение.

Необходимо отметить, что каждая часть программы (подзадачи частного алгоритма, модуля) имеет характеристику  $\beta_i$ , связывающую число входных данных и выходных данных отношением

$$\beta_i = \frac{x_{\text{вых}i}}{x_{\text{вх}i}}.$$

Величина  $\beta_i$  для большинства алгоритмов меньше единицы. Использование близких значений  $\beta_i$  дает дополнительную возможность оценки равномерного деления на части.

При делении общей задачи на частные и далее на модули необходимо, кроме учета их семантической законченности, выбирать объемы модулей таким образом, чтобы у них были одинаковые или близкие длительности разработки. Это создает условие выполнения отладки в одинаковые сроки.

На следующем, третьем, этапе проводится статическая отладка автономно каждой функциональной задачи на точность решения, время счета, занимаемые объемы памяти. Для этого используются таблицы контрольных проверок, полученные на универсальных машинах. В зависимости от сложности функциональной задачи в ряде случаев проводится динамическая отладка, которая заключается в проверке работы задачи в диапазонах изменения переменных. Для проведения динамической отладки необходимо создание специальных программ, которые моделируют внешнюю среду и вырабатывают входные переменные в заданных диапазонах.

После автономной проверки задач в машинах АСОИУ (статической и динамической) приступают к этапу комплексной отладки программ, т. е. соединяют в цепочки функциональные задачи и проверяют их работу на точность и сопряжение по соответствующим протоколам.

Цепочки задач также проходят статическую и динамическую отладку, но для этого используются специальные программные модели, имитирующие входные переменные, и ранее рассчитанные на универсальной машине таблицы для контрольных проверок.

После получения положительных результатов отладки цепочек задач можно приступить к комплексной отладке системы — программы и аппаратуры АСОИУ. Необходимо отметить, что для оценки готовности аппаратуры АСОИУ к работе по программам требуется проверить работу ВС по различным контрольным программам (тест-программам), проверяющим работоспособность аппаратуры.

Важным вопросом отладки программ для больших сложных систем является контроль отлаженности программы каждого модуля и устранение ошибок для перехода к следующему этапу работ.

Отлаженность программы определяется отсутствием ошибок в программе. Время получения отлаженной программы каждого модуля зависит от количества его команд и числа ошибок.

Сложность оценки величины уровня отлаженности определяется необходимостью учета двух противоположных требований: с одной стороны, стремлением выявить все ошибки на каждом этапе отладки, а с другой — необходимостью сокращения времени отладки для уменьшения расхода ресурса системы и быстрее начала эксплуатации. Для оценки отлаженности программы модуля используется зависимость среднего числа ошибок от количества команд в программе либо интервала времени между появлениями ошибок в конце этапа отладки.

На начальном этапе работ используют зависимость среднего числа ошибок в программе  $n_0$  от количества команд в модуле. Она основана на статистических данных, полученных рядом ученых мира на основании психологических особенностей программистов при составлении программ решения задач:

$$n_0 = \frac{p \log_2(\eta_1 + \eta_2)}{1125}, \quad (5.2)$$

где  $p$  — число команд или операторов в программе решения задачи на выбранном языке программирования:

$$p = \frac{3}{8}(\eta_1 \log_2 \eta_1 + \eta_2 \log_2 \eta_2),$$

где  $\eta_1$  — число простых операторов, используемых в программе решения задачи; оно определяется решением уравнения

$$\eta_1 = K_1 \log_2 \eta_2^*;$$

$\eta_2$  — число операндов в программе решения задачи; оно определяется решением уравнения

$$\eta_2 = \eta_2^*(K \log_2 \eta_2^* + 1),$$

где  $\eta_2^*$  — число различных входных и выходных параметров алгоритма задачи. Это величина является характеристикой алгоритма. Характеристики  $\eta_1$ ,  $\eta_2$ ,  $p$  относятся к реализации алгоритма на программном языке.  $K_1$ ,  $K$  — коэффициенты, определяемые выбранным языком программирования и классом задач. Для Алгола  $K = 0,95$ , для Фортрана  $K = 1,04$ .

Эта зависимость дает возможность оценить уровень отлаженности программ модуля, сравнивая число ошибок, выявленных при отладке, со средним числом ошибок, рассчитанным по формуле (5.2).

Если число выявленных ошибок при отладке программы модуля  $n_m$  больше или равно  $n_0$

$$n_m - n_0 \geq 1 \dots 3,$$

то программа оценивается как отлаженная. Необходимо также учитывать время отладки модуля программы с устранением ошибок, которое зависит от числа команд и организации работ в фирме.

Для оценки отлаженности программы модуля также используется величина интервала времени появления и устранения ошибок. Эта оценка основана на статистических данных работы конкретного коллектива, определенных групп задач.

Отлаженная программа модуля с устраненными ошибками оценивается зависимостью

$$\Delta T_o = T_{o2}(n_2) - T_{o1}(n_1),$$

где  $T_{o1}$ ,  $T_{o2}$  — интервал времени выявления ошибки при отладке;  $n_1$ ,  $n_2$  — номера ошибок.

### 5.3.3. Оценка завершения этапов отладки программ

Оценка завершения этапа отлаженности программы связана с устранением ошибок этого этапа отладки.

Завершение отладки программ системы определяется выполнением трех этапов:

- 1) отладка программ модулей системы с исправлением их ошибок;
- 2) отладка групп частных задач со своими модулями и с исправлением ошибок;
- 3) отладка программы системы, состоящей из групп частных задач с исправлением ошибок.

Время завершения отладки (при обеспечении исполнителями каждого модуля) первого этапа оценивается наиболее длительной отладкой (с исправлением ошибок) одного из модулей. Время отладки второго этапа также определяется наиболее длительной отладкой одной частной задачи.

Время отладки программы системы, состоящей из групп частных задач, завершается после устранения ошибок. Приведенный порядок отладки исключает появление ошибок программирования.

### 5.3.4. Комплексная отладка АСОИУ

Одним из важнейших путей сокращения затрат на организацию отладки и проведение проверок комплексов, состоящих из подсистем, является широкое использование в этом процессе имитаторов отдельных частей системы или подсистемы. Имитаторы дают возможность уменьшить расход ресурса испытываемых систем и уменьшить затраты на проверки и испытания. Отметим, что применение имитаторов не может полностью заменить отладку и проверку систем и подсистем непосредственно друг с другом, но позволяет зна-

чительно сократить это время. Другим путем сокращения расходов на организацию отладки и проверок является широкое использование специальных стендов, имитирующих реальные условия эксплуатации.

Основной проблемой, которую нужно решать при создании имитаторов, является выбор степени имитации заменяемой аппаратуры или части системы. Под степенью имитации будем понимать уровень соответствия имитатора заменяемой части системы. По-видимому, на начальном этапе разработки степень имитации можно оценивать объемом аппаратуры имитатора, так как его увеличение всегда связывается с более точным представлением информации и связей имитируемой части системы, т. е. с лучшим качеством имитации характеристик основной системы. Увеличение объема аппаратуры имитатора возможно и при введении автоматизации в выполняемые им функции для уменьшения времени проверки. Однако основное увеличение аппаратуры и сложности имитатора связано с ростом степени имитации основного процесса работы системы.

Оценку степени имитации подсистемы можно проводить, анализируя количество связей, сигналов и данных, которыми обмениваются две подсистемы. Таким образом, степень имитации оценивается коэффициентом имитации, имеющим вид

$$\gamma = \frac{Q'}{Q},$$

где  $Q'$  — количество связей, сигналов и данных, вырабатываемых имитатором подсистемы для работы с основной подсистемой;  $Q$  — количество связей, сигналов и данных, вырабатываемых в подсистеме для работы с сопрягаемой подсистемой.

При полном соответствии количества связей сигналов и данных у имитатора и подсистемы  $Q' = Q$ . Это получается, в большинстве случаев, при использовании самой подсистемы вместо имитатора. Коэффициент степени имитации будет равен единице.

Построение имитаторов связано с тремя важными проблемами, решение которых определяет рациональность ис-

пользования имитаторов. Первая проблема — это экономия ресурсов системы, связанных с ее отладкой и проверкой, вторая — всемерное сокращение времени отладки и проверок, третья — минимизация затрат на создание и эксплуатацию имитаторов.

Анализ первой проблемы начнем с оценки затрат на проведение отладки и проверок системы, состоящей из двух подсистем. В качестве исходного положения примем, что каждая подсистема отлажена и проверена по своим частным техническим условиям (ЧТУ). Необходимо провести отладку и проверку системы по программе комплексных испытаний. Для проведения анализа рассмотрим два уравнения затрат: одно — для системы, не использующей имитатор, другое — для системы с имитатором.

### 5.3.5. Оценка затрат на комплексную отладку АСОИУ

Затраты на проведение комплексной отладки и проверок для системы без имитаторов условно состоят из трех частей:

- затраты, связанные с отладкой и проверкой работы первой подсистемы со второй;
- затраты, связанные с отладкой и проверкой второй подсистемы при работе с первой;
- затраты на комплексные проверки системы.

Уравнение затрат запишем в виде:

$$S_1 = t_{11}(M_1 a_1 + M_2 a_2) + t_{12}(M_2 a_2 + M_1 a_1) + t_1(M_1 a_1 + M_2 a_2) \quad (5.3)$$

или

$$S_1 = (t_{11} + t_{12})s_1 + (t_{12} + t_{11})s_2 + 2t_1(s_1 + s_2),$$

где  $t_{11}$  — затраты времени на отладку и проведение проверок первой подсистемы со второй;  $t_{12}$  — затраты времени на проведение отладки и проверок второй подсистемы с первой;  $t_1$  — затраты времени на проведение комплексных проверок системы, т. е. совместно первой и второй подсистем;  $s_1, s_2$  — затраты на отладку в единицу времени работы первой и второй подсистем;  $M_1, M_2$  — объемы аппаратуры первой и второй подсистем соответственно;  $a_1, a_2$  — усредненные затраты на проведение отладки и проверок в единицу

времени единичного объема аппаратуры для первой и второй подсистем соответственно, руб./ч · дм<sup>3</sup>.

Отладка и проверки подсистем идут последовательно. Затраты на их проведение слагаются:

- из затрат, связанных с выплатой зарплаты обслуживающему персоналу, а также иногда затрат, связанных с содержанием этого персонала на объекте основной и обслуживающих систем;
- затрат, связанных со стоимостью электроэнергии и любой другой энергии, а также материалов, расходуемых при работе системы и других обслуживающих систем, которые участвуют в отладке и проверках;
- затрат на ремонт и амортизацию основной системы и всех обслуживающих и участвующих в отладке и проверках.

Затраты на проведение отладки и комплексных проверок системы с имитаторами состоят из четырех частей. Первая часть и соответственно первый член уравнения (5.3) представляет собой затраты, связанные с отладкой и проверкой первой подсистемы с имитатором второй подсистемы за время  $t_{21}$ . Вторая часть (второй член) представляет собой затраты на отладку и проверку второй подсистемы с имитатором первой подсистемы за время  $t_{22}$ . Отладка и проверки первой и второй подсистем с имитаторами могут проходить одновременно и параллельно, так как подсистемы друг с другом не связаны. Учитывая, что обеспечить качество проверки с имитаторами в ряде случаев трудно, вводится дополнительный этап проверок системы без имитаторов. Затраты на отладку и проверки условно представлены третьей частью и третьим членом. Четвертая часть (четвертый член) учитывает затраты, связанные с разработкой, изготовлением, отладкой и испытанием самих имитаторов подсистем.

Уравнение затрат запишем в виде

$$S_2 = t_{21}(M_1a_1 + M'_2a_1) + t_{22}(M_2a_2 + M'_1a_2) + t_2(M_1a_1 + M_2a_2) + M'_1b'_1 + M'_2b'_2$$

или

$$S_2 = (t_{21} + t_2)s_1 + (t_{22} + t_2)s_2 + s_{и1}t_{21} + s_{и2}t_{22},$$

где  $t_{21}$  — время отладки и комплексных проверок первой подсистемы с имитатором второй подсистемы;  $t_{22}$  — время отладки и комплексных проверок второй подсистемы с имитатором первой;  $t_2$  — время комплексных проверок и испытаний системы в составе двух подсистем;  $s_1 = M'_2 a_1$ ,  $s_2 = M'_1 a_2$  — затраты на отладку в единицу времени подсистем с имитаторами первой и второй подсистем;  $M'_2, M'_1$  — объемы аппаратуры имитаторов соответственно первой и второй подсистем с учетом того, что имитаторы изготавливаются на базе аппаратурных решений подсистем, в которых они применяются, для определения затрат используются коэффициенты  $a_1$  и  $a_2$ ;  $s_{и1} = M'_2 b'_1$ ,  $s_{и2} = M'_1 b'_2$  — затраты на создание имитаторов;  $b'_1, b'_2$  — усредненные затраты на создание единицы объема аппаратуры имитатора соответственно для первой и второй подсистем.

Целесообразность применения имитаторов и объем их аппаратуры определяются путем сравнения затрат на отладку и проверку варианта системы без имитаторов с вариантом системы с имитаторами.

Таким образом,

$$\Delta S = S_1 - S_2.$$

По знаку  $\Delta S$  и ее величине оценивается рациональность применения имитаторов в системе и объем их аппаратуры.

Учитывая, что подсистемы могут создаваться различными организациями, необходимо оценивать затраты для каждой организации. Кроме того, при объединении подсистем в систему и проведении комплексных проверок в них участвуют обе организации, поэтому время этих испытаний будет общее, а затраты могут делиться между участниками испытаний.

Целесообразность применения имитаторов в подсистеме описывается выражением

$$\Delta S' = S'_1 - S'_2,$$

где  $S'_1 = t_{11}(s_1 + s_2) + t_1(s_1 + s_2)$ ;  $S'_2 = t_{21}(s_{и1} + s_{и2}) + t_2(s_1 + s_2)$ .

Рассмотрим соотношение времени отладки подсистемы без имитаторов  $t_{11}$  с временем отладки подсистемы с ими-



таторами  $t_{21}$ . На основании статистических данных, время  $t_{11} > t_{21}$ , т. е. с имитаторами отладка подсистемы требует меньше времени. Это вызвано тем, что при отладке подсистемы без имитаторов в качестве имитатора используется сопрягаемая подсистема, которая не имеет специальных режимов и не приспособлена для отладки. Организация режимов отладки требует специального времени.

Затраты времени на проверку подсистемы без имитаторов  $t_1$  имеют меньшую величину, чем подсистемы с имитаторами  $t_2$ . Это связано с необходимостью более глубокой проверки подсистемы, отлаживаемой с имитаторами, по сравнению с подсистемой, отлаживаемой с сопрягаемой. Таким образом, можно записать:  $t_1 < t_2$ .

Соотношение затрат времени на отладку и проверку сопрягаемых подсистем определяется коэффициентом степени имитации взаимосвязей между подсистемами.

Рассмотрим зависимость времени отладки подсистем от коэффициента имитации. При коэффициенте имитации  $\gamma = 1$  время отладки подсистемы с имитатором оказывается меньше, чем у подсистемы без имитаторов. С уменьшением коэффициента имитации время отладки также уменьшается, так как становится меньше параметров, по которым отлаживается связь между подсистемами. Имея данные по изменению коэффициента имитации и времени отладки, можно получить зависимость вида

$$t_{21} = t_{11} f_1(\gamma),$$

где  $f_1(\gamma) = d_1 \gamma + b_1$  — уравнение, аппроксимирующее влияние коэффициента имитации на время отладки.

Связь времени проверки подсистемы, отлаженной с имитатором, и подсистемы, отлаженной без имитатора, определяется зависимостью

$$t_2 = t_1 f_2(\gamma),$$

где  $f_2(\gamma)$  — аппроксимирующее уравнение.

С уменьшением коэффициента имитации время проверки подсистемы, отлаживаемой с имитатором, увеличивается, так как требуется более глубокая проверка под-

системы. Эта зависимость аппроксимируется линейным уравнением

$$f_2(\gamma) = b_2 - d_2\gamma.$$

Рассмотрим связь затрат на создание имитатора с коэффициентом имитации. Максимальные затраты на создание имитатора соответствуют значению  $\gamma = 1$ . Величина этих затрат определяется составом имитируемых характеристик, которые непосредственно связаны с подсистемой, т. е. максимальные затраты определяются принципами и особенностями работы подсистемы. Однако величина затрат на создание имитатора задается также уровнем коэффициента имитации. Зависимость затрат на создание имитатора относительно коэффициента имитации запишем в виде:

$$M'_2 = M'_{2m} f_3(\gamma).$$

Зависимость аппроксимируется линейным уравнением вида:

$$f_3(\gamma) = d_3\gamma + b_3.$$

Уменьшение коэффициента имитации сокращает затраты на создание имитатора, т. е. уменьшается объем имитируемых характеристик.

Коэффициенты аппроксимирующих уравнений определяются решением систем уравнений, связанных с показателями как минимум двух близких по характеристикам подсистем. Коэффициенты аппроксимации рассчитываются по формулам, полученным при решении уравнений вида:

$$\begin{cases} A_1 = d\gamma_1 + b; \\ A_2 = d\gamma_2 + b, \end{cases}$$

где  $A_1, \gamma_1$  и  $A_2, \gamma_2$  — характеристики двух близких подсистем.

Уравнение разности затрат на отладку и проверку двух подсистем после подстановки зависимостей времени отладки, времени проверки и затрат на имитаторы запишем в виде:

$$\Delta S' = s_1(t_{11} + t_1 - t_{21} - t_2) + s_2(t_{11} + t_1 - t_2) - t_{21}s_{н1}$$

или

$$\Delta S' = s_1\{t_{11}[1 - (d_1\gamma + b_1)] + t_1[1 - (b_2 - d_2\gamma)]\} + \\ + s_2\{t_{11} + t_1[1 - (b_2 - d_2\gamma)]\} - M'_{2m}(d_3\gamma + b_3)[t_{11}(d_1\gamma + b_1)a_1 + b'_2].$$

После преобразований получим

$$\Delta S' = -M'_{2m}d_1a_1d_3t_{11}\gamma^2 + \\ + \{t_1d_2(s_1 + s_2) - t_{11}[s_1d_1 + M'_{2m}a_1(d_3b_1 + d_1b_3)] - M'_{2m}d_3b'_2\}\gamma + \\ + s_1t_{11}(1 - b_1) + t_1(s_1 + s_2)(1 - b_2) + s_2t_{11} - M'_{2m}b_3(a_1b_1t_{11} + b'_2).$$

Определим экстремум уравнения разности затрат относительно коэффициента имитации

$$\frac{d\Delta S'}{d\gamma} = -2M'_{2m}d_1a_1d_3t_{11}\gamma + \{t_1d_2(s_1 + s_2) - \\ - t_{11}[s_1d_1 + M'_{2m}a_1(d_3b_1 + d_1b_3)] - M'_{2m}d_3b'_2\} = 0.$$

Экстремальное значение коэффициента имитации запишем в виде

$$\gamma_3 = \frac{t_1d_2(s_1 + s_2)}{2M'_{2m}d_1a_1d_3t_{11}} - \frac{s_1}{2M'_{2m}d_1a_1} - \frac{b_1}{2d_1} - \frac{b_3}{2d_3} - \frac{b'_2}{2d_1a_1t_{11}}.$$

К этой величине  $\gamma_3$  необходимо приближаться при проектировании для получения рациональных затрат на этапе отладки и проверки подсистемы.

Проведем оценку сокращения времени отладки и проверок подсистем и системы с использованием имитаторов и без них.

Время отладки и проверки подсистем без имитаторов запишем в виде:

$$\text{для первой подсистемы } t'_{c1} = t_{11} + t_1; \\ \text{для второй подсистемы } t'_{c2} = t_{12} + t_1; \\ \text{суммарное время } t'_c = t_{11} + t_{12} + t_1.$$

Время отладки и проверки подсистем с имитаторами запишем в виде:

$$\text{для первой подсистемы } t''_{c1} = t_{21} + t_2; \\ \text{для второй подсистемы } t''_{c2} = t_{22} + t_2; \\ \text{суммарное время } t''_c = t_{21} + t_2.$$

В последнем уравнении не учитывается время этапа отладки второй подсистемы с имитаторами. Это связано с тем, что использование имитаторов дает возможность организовывать параллельную работу по отладке подсистем. Таким образом, применение имитаторов значительно сокращает последнюю стадию работ по отладке и проверке подсистем и всей системы.

Ускорение работ по отладке и проверке системы и подсистем происходит и за счет уменьшения объемов аппаратуры по сравнению с системой без имитаторов. Это сокращает затраты на эксплуатацию в процессе отладки и проверок.

### 5.3.6. Принципы построения имитаторов

Определим основные показатели, которые оказывают существенное влияние на принципы построения имитаторов и объем аппаратуры. Объем аппаратуры имитатора зависит от ряда характеристик:

- количества имитируемых сигналов, подаваемых по временной диаграмме работы подсистемы;
- объема имитируемой информации (аналоговые величины, двоичные коды);
- степени автоматизации выполнения временной диаграммы и выдаваемых сигналов.

При построении имитаторов подсистемы количество сигналов и цепей связи, как правило, принимают одинаковыми у подсистемы и ее имитатора. Объем информации и ее характер, т. е. функциональные взаимосвязи внутри выдаваемой информации при ее имитации, обычно значительно упрощают, при этом в ряде случаев оставляют только количество выдаваемых данных.

Функциональные связи между выдаваемыми имитатором данными упрощают несколькими способами:

- задается один или несколько наборов данных, заранее рассчитанных, т. е. функционально связанных, для определенных состояний подсистемы. Это наиболее сложный путь;
- задаются коды, которые можно генерировать по простейшим правилам без использования вычислительных операций;

- задаются коды, которые набираются ручным методом, и из этих кодов и их комбинаций набираются необходимые данные.

Объем имитации оценивается коэффициентом имитации, используя который можно рассмотреть, какие данные целесообразно имитировать. Определенные в результате анализа данные необходимо сопоставить с рекомендованным объемом аппаратуры имитаторов.

Вопросы автоматизации выполнения временной диаграммы по выдаче сигналов и данных (кодов) при проектировании имитаторов, как и вопросы упрощения функциональных связей внутри выдаваемых данных, представляют наибольшую трудность. Стремление к более точному отражению работы подсистемы в пределе приводит к самой системе. Поэтому при проектировании имитаторов необходимы компромиссные решения, оценки которых и рассмотрим.

Введем понятие коэффициента автоматизации работы имитатора, представляющее собой отношение количества сигналов и данных, вырабатываемых автоматически, к количеству сигналов и данных, анализируемых имитатором. Величина этого коэффициента определяется двумя основными положениями: требуемой точностью выполнения временной диаграммы работы имитируемой подсистемы и организационно-экономическими факторами, т. е. затратами времени на организацию отладки и проверок, а также ценой этого времени.

Точность, которая требуется для реализации имитатором временной диаграммы подсистемы, практически однозначно задает нижнюю границу коэффициента автоматизации и определяет соответствующую техническую базу, используемую для построения имитатора. Так, при высокой точности сигналов временной диаграммы подсистемы ручным способом их имитировать невозможно и, следовательно, они должны вырабатываться автоматически. Таким образом, определяется минимальное значение коэффициента автоматизации. Учитывая, что автоматическая выработка имитируемых сигналов и данных может производиться на

разных технических средствах, которые имеют различные характеристики точности, выделяют следующие технические базы построения:

- имитаторы с применением ручного формирования временной диаграммы; точность ее выполнения не менее 1... 2 с;
- имитаторы, построенные с применением электромеханических устройств и реле для формирования временной диаграммы; точность выполнения до 0,1...0,5 с;
- имитаторы, построенные с применением электронных схем; точность выполнения временной диаграммы соответствует временным характеристикам полупроводниковых элементов — до десятка наносекунд.

Точность имитации временной диаграммы работы подсистемы последовательно возрастает при переходе от одной базы к другой.

На коэффициент автоматизации влияют и организационно-экономические факторы:

- располагаемые ресурсы для разработки и производства имитаторов (число исполнителей и объемы производства);
- директивные сроки проведения отладки и проверок и соответствующая экономия общих затрат на систему и комплекс;
- затраты при проведении отладки и проверок с имитаторами, которые зависят от количества обслуживающего персонала. Все эти факторы необходимо учитывать при проектировании.

Серьезным вопросом проектирования имитаторов для подсистемы является определение их количества и распределение между ними функций. Количество имитаторов в подсистеме обычно связывают с числом абонентов, работающих совместно с подсистемой. При простых связях целесообразно построение комплексных имитаторов.

После определения количества определяют объем аппаратуры имитаторов.

Релейные сигналы, передаваемые между системами или подсистемами, обычно имеют различные характеристики

точности. Учитывая это, а также разделение всего диапазона точностей на три части, исходя из условий реализации сигналов на трех принципиальных технических базах (ручной, электромеханической и электронной), запишем:

$$Q_c = Q_{1c} + Q_{2c} + Q_{3c},$$

где  $Q_{1c}$  — количество релейных сигналов, требующих точности реализации более  $\delta_1$ , которая обеспечивается ручным управлением;  $Q_{2c}$  — количество релейных сигналов, требующих точности от  $\delta_1$  до  $\delta_2$ , которая обеспечивается электромеханическим и релейным управлением;  $Q_{3c}$  — количество релейных сигналов, требующих точности менее  $\delta_2$ , которая обеспечивается электронными схемами.

Суммарные затраты аппаратуры запишем в виде

$$M_{2ic} = a_1 Q_{1c} + a_2 Q_{2c} + a_3 Q_{3c},$$

где  $a_1$  — усредненные затраты аппаратуры для реализации одного релейного сигнала ручного управления;  $a_2$  — усредненные затраты аппаратуры для реализации одного релейного сигнала электромеханическим способом;  $a_3$  — усредненные затраты аппаратуры для реализации одного релейного сигнала электронным способом.

Общее количество имитируемых аналоговых и кодовых данных также распределим на три группы, учитывая техническую базу, которая используется для их формирования, и запишем уравнение в виде

$$Q_{и} = Q_{1и} + Q_{2и} + Q_{3и},$$

где  $Q_{1и}$ ,  $Q_{2и}$ ,  $Q_{3и}$  — количество кодовых и аналоговых данных, имитируемых посредством ручного управления и электронными средствами.

Распределение данных по приведенным группам проводится на основе учета требований к точности и скорости их обмена.

Суммарные затраты аппаратуры для имитации данных запишем в виде

$$M_{2и} = a'_1 Q_{1и} + a'_2 Q_{2и} + a'_3 Q_{3и},$$

где  $a'_1, a'_2, a'_3$  — усредненные затраты аппаратуры для реализации одного кодового и одного аналогового данного при ручной, электромеханической и электронной реализации.

Таким образом, если в имитаторе используются релейные, аналоговые и кодовые данные, то общий объем имитатора определится уравнением

$$M_{2i} = M_{2ic} + M_{2in}$$

или

$$M_{2i} = a_1 Q_{1c} + a_2 Q_{2c} + a_3 Q_{3c} + a'_1 Q_{1и} + a'_2 Q_{2и} + a'_3 Q_{3и} .$$

Коэффициент автоматизации имитатора определим из соотношения

$$\omega_{ai} = \frac{Q_{2c} + Q_{3c} + Q_{2и} + Q_{3и}}{Q_c + Q_{и}}$$

или запишем его в виде

$$\omega_a = \frac{Q_2 + Q_3}{Q_c} ,$$

где

$$Q_2 = Q_{2c} + Q_{2и}; \quad Q_3 = Q_{3c} + Q_{3и} .$$

В случае необходимости увеличения коэффициента автоматизации для сокращения затрат на отладку и испытания появляется задача определения количества сигналов и данных, которые должны вырабатываться двумя аппаратурными способами — электромеханическим и электронным. Если требуется получить имитатор с коэффициентом автоматизации  $\omega'$ , то необходимо определить, какое конкретно число сигналов и данных необходимо перевести с ручного управления на автоматическое, учитывая, что количество имитируемых сигналов и данных остается постоянным.

Напишем общее уравнение количества сигналов и данных в виде

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 ,$$

где

$$Q_1 = Q_{1c} + Q_{1и} .$$



Разделим это уравнение на  $Q_c$ :

$$1 = \frac{Q_1}{Q_c} + \omega_a.$$

Используя полученное уравнение, можно определить долю сигналов и данных с ручным управлением для нового коэффициента автоматизации:

$$1 - \omega' = \frac{Q'_1}{Q_c}$$

или

$$Q'_1 = (1 - \omega')Q_c.$$

Количество сигналов и данных, которые нужно перевести на автоматическое управление:

$$Q_1 - Q'_1 = \Delta Q_1.$$

Таким образом, определено количество сигналов, которые необходимо перевести на автоматическое управление для обеспечения требуемого коэффициента автоматизации  $\omega'$ .

Следующим шагом проектирования является определение для этих сигналов и данных способа их автоматизации, а именно — применение электромеханических и электронных средств.

Для автоматической выработки сигналов и данных  $\Delta Q_1$  необходимо соблюдать следующее балансное уравнение:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 + \Delta Q_3,$$

т. е. эти сигналы и данные должны быть выработаны на электромеханических ( $\Delta Q_2$ ) и электронных ( $\Delta Q_3$ ) средствах.

Рассмотрим задачу распределения сигналов  $\Delta Q_1$  между средствами и определим значения  $\Delta Q_2$  и  $\Delta Q_3$ . Эта задача решается путем анализа сигналов и данных и определения наиболее рациональных путей имитации, требующих меньших затрат на аппаратуру и занимаемые объемы.

После распределения сигналов данных рассчитывают затраты на имитаторы, имеющие новые коэффициенты автоматизации. Полученные затраты на создание имитаторов сравнивают с рекомендованными. Если они больше, то принимают решение: или их оставить, или пересмотреть прин-

ципы имитации сигналов и данных для сокращения затрат. Объем имитируемых сигналов и данных обычно не пересматривается.

Рассмотрим структурную блок-схему имитатора. В зависимости от видов имитируемых сигналов любой имитатор можно разделить на три части, которые формируют:

- 1) релейные сигналы;
- 2) данные, представляемые в виде дискретных кодов;
- 3) аналоговые данные.

Каждая из рассматриваемых частей может состоять из четырех блоков:

- 1) блока согласования выходных и входных сигналов, в котором при необходимости происходит согласование электрических характеристик сигналов и их формы;
- 2) блока формирования сигналов (или кодов, или аналоговых данных). В этом блоке создаются на схемах требуемые сигналы;
- 3) блока автоматизации формирования сигналов, двоичных и аналоговых данных, в котором осуществляется автоматизация как выработки информации (сигналов и величин), так и выполнения временной диаграммы работы имитатора;
- 4) блока, представляющего собой пульт индикации и управления для каждого вида информации.

В состав имитатора обычно входят два общих блока, представляющих собой блок устройства управления работой имитатора и блок устройства контроля. Структурная схема имитатора, имеющего все виды информации, представлена на рис. 5.6. Здесь приведены все рассмотренные блоки. Отметим, что в зависимости от точности и состава имитируемой информации, которая представляется на временной диаграмме, а также степени автоматизации, структура имитаторов может изменяться.

Анализируя временную диаграмму работы имитатора с точки зрения величин временных интервалов, их взаимосвязи, а также точности их воспроизведения, можно наметить технические пути построения имитатора, реализующего рассматриваемую временную диаграмму.

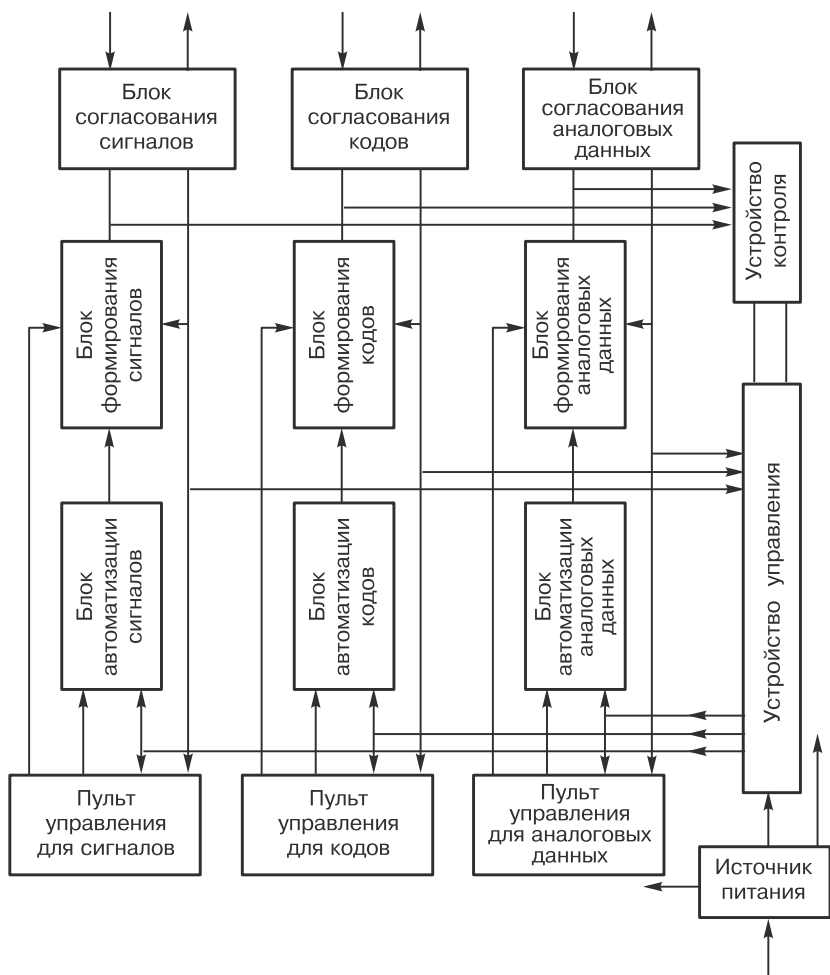


Рис. 5.6

Исследуем три основных случая, которые встречаются при реализации точности выполнения временных диаграмм.

В первом случае, если точности реализации временных интервалов лежат в пределах эргономических характеристик человека, можно использовать тумблеры или переключатели, которыми управляет оператор. Предельная ми-

нимальная величина интервала времени ориентировочно составляет 5...15 с. Точность включения и выключения при формировании сигнала человеком оценивается в 1... 3 с.

Во втором случае, если точность реализации интервалов времени и минимальные значения этих интервалов оцениваются в 1...0,01 с, построение имитатора необходимо вести на основе схем, обеспечивающих автоматическую выработку сигналов. Эти схемы для рассматриваемого диапазона точностей можно строить с использованием электромагнитных реле и других средств, обеспечивающих необходимые точности.

В третьем случае, если требуются точности реализации интервалов времени более высокие, чем 10 мс и менее (1 мс), для выработки сигналов необходимы автоматические схемы, построенные на электронных, магнитных или других элементах, обеспечивающих требуемую частоту работы.

#### **5.4. ИСПЫТАНИЯ АСОИУ**

Испытания АСОИУ проводятся для подтверждения ее характеристик, установленных в ТЗ. С завершением испытаний заканчивается период создания системы.

Для проведения испытаний разрабатываются программа и методика. Они создаются разработчиками системы, согласовываются с заказчиками и затем утверждаются органами, которые выдавали ТЗ на создание системы. На основании этих документов определяются порядок организации проведения испытаний и мероприятия по их обеспечению.

Содержание испытаний заключается в выявлении расхождений между данными, заранее рассчитанными на универсальных машинах по алгоритмам, заложенным в систему, и данными, получаемыми с системы при ее функционировании в определенных условиях. Для их сравнения в систему подаются известные данные, а данные, полученные в результате ее работы, сравниваются с ранее рассчитанными, после чего оцениваются их отклонения.

Для проверки работы системы с различными входными данными создаются таблицы проверки работы системы. Создание таких таблиц требует значительного времени, осо-

бенно для сложных систем с большим числом входных данных.

Проверки проводятся следующим образом. В систему подаются данные из таблицы, затем полученные на выходе результаты сравниваются с табличными данными, и таким образом определяются отклонения, превышающие допустимые, т. е. ошибки. Такая проверка получила название *статической проверки точности работы программы алгоритма системы*.

Для проверки работы системы в *реальном масштабе времени*, т. е. проверки ее работы в динамике, данные в систему должны подаваться в темпе их поступления, а полученные на выходе данные контролироваться по времени их выдачи и точности. В этом случае для фиксации и хранения входных и выходных данных, а также времени их поступления и выдачи, используется запись на магнитную ленту.

В испытании участвуют: испытываемая система, сопрягаемые с ней системы и среда, в которой проводятся испытания (рис. 5.7). Организация проведения испытаний определяется: видами источников информации, подающих данные в систему; типами исполнительных устройств, посредством которых производится управление механизмами; средой или условиями, в которых работает система. Условия работы системы задаются требованиями к механическим, климатическим и специальным видам испытаний, которые определяются ГОСТами и нормативами.

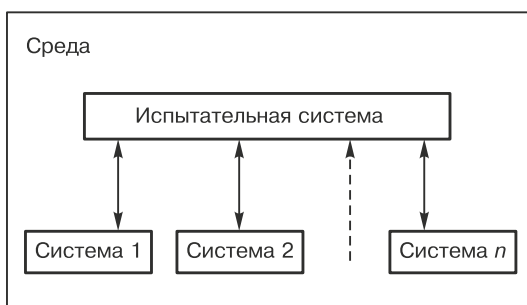


Рис. 5.7

Условия испытания системы во многом определяют затраты на их проведение. Эти условия делятся:

- на испытания в реальных условиях и с реальными сопрягаемыми системами;
- испытания в реальных условиях и с имитацией всех сопрягаемых систем или части их;
- испытания с имитацией реальных условий и с сопрягаемыми системами;
- испытания с имитацией реальных условий и имитацией всех или части сопрягаемых систем.

В зависимости от сложности системы испытания в реальных условиях с сопрягаемыми системами требуют наибольших затрат. Это связано с тем, что необходимо обеспечивать безопасность проведения испытаний, а в ряде случаев и защищенность от внешних воздействий. Для выполнения этих требований приходится привлекать большое число вспомогательных служб.

При испытаниях в реальных условиях расходуются материальные ресурсы, которые могут иметь высокую стоимость. Для сокращения таких затрат проводятся испытания с имитацией работы сопрягаемых систем или их части. При этом проще обеспечивать их безопасность, что также сокращает затраты.

Имитация реальных условий во время испытаний системы при работе с сопрягаемыми системами является одним из наиболее эффективных способов их проведения. Главное преимущество состоит в том, что исключаются случайные воздействия среды, и разработчики получают возможность исследовать влияние реальных воздействий и оценить эффективность принимаемых инженерно-технических решений.

Однако для применения этого способа испытаний требуются определенные капиталовложения для построения специальных стендов и камер. Необходимо отметить, что использование оборудования для имитации реальных условий дает возможность автоматизировать этот процесс. В результате существенно ускоряются испытания и повышается их качество. При этом способе практически исключаются специальные затраты, связанные с обеспечением безопасности

и защищенности системы, так как испытания проводятся на территории предприятия. Также сокращаются затраты на материальное обеспечение испытаний.

Для дальнейшего сокращения затрат на испытания системы, кроме имитации реальных условий, имитируется работа с сопрягаемыми системами. Это дает возможность отрабатывать работу системы, не расходуя ресурс и материальное обеспечение систем. Для организации такой работы необходимо создание имитаторов сопрягаемых систем, на что требуются время и затраты. Однако экономия за счет сокращения времени отладки и повышения ее качества значительно перекрывает затраты на создание имитаторов.

Хотя использование средств имитации реальных условий и сопрягаемых систем сокращает затраты и время проведения испытаний, для завершения испытаний системы необходима еще проверка ее работы в реальных условиях с реальными сопрягаемыми системами. Правда, объем этой проверки в таком случае обычно существенно уменьшается.

Математическое и программное обеспечение для проведения испытаний состоит:

- из функциональных программ, которые представляют задачи, решаемые в системе;
- программ, формирующих, хранящих и анализирующих данные, поступающие с источников и выдаваемые системой;
- группы программ, масштабирующих данные;
- анализирующих программ, выдающих данные на печать и дисплей;
- программы, управляющей всем процессом обработки данных.

В зависимости от системы объемы программного обеспечения по обработке данных могут быть значительными — порядка 0,5...1,5 Мб и более.

К программному обеспечению испытаний предъявляются такие же требования, как и к функциональному, по которому работает система. Должны быть предусмотрены тестовые программы, позволяющие проверить работоспособность любой части программного обеспечения.

Для испытания сложных и больших систем создаются специальные испытательные автоматизированные системы. Их построение производится по методикам создания АСОИУ обычно на основе серийно выпускаемого оборудования: универсальные вычислительные машины — серверы; линии связи с устройствами, преобразующими аналоговую информацию; запоминающие устройства как на жестких магнитных дисках, так и на магнитных лентах; устройства печати — принтеры и дисплей.

Данные, полученные с источников информации во время испытаний, в зависимости от вида системы, могут храниться три, пять и более лет. Эта информация используется для анализа аварийных ситуаций, появляющихся в процессе эксплуатации.

В испытательных АСУ серьезное внимание должно быть обращено на исключение потерь и искажения данных результатов испытаний. Для этого информацию, получаемую с источников и далее передаваемую по линии связи, нужно фиксировать — записывать — в запоминающее устройство (на магнитную ленту, жесткий или мягкий магнитный диск).

Автоматизированные системы для проведения испытаний устанавливаются на полигонах, на которых проводят испытания системы определенного вида. АСУ испытания должны обладать большой степенью универсальности и обеспечивать проведение испытаний возможно большего круга систем. Только при этом можно значительно сократить затраты на испытания.

Построение АСУ испытаний, способных испытывать разные системы, позволяет распределить капитальные затраты и амортизационные отчисления между системами и уменьшить затраты на испытание каждой системы.

В АСУ испытаний в большинстве случаев необходимо предусматривать средства защиты данных, получаемых от источников информации, а также защиту информации, находящейся в ней.

Для защиты передаваемых данных применяются криптографические методы. При обработке информации в АСУ



применяются методы защиты информации, используемые в вычислительных системах.

**Системы документирования.** Вопросы хранения информации о результатах испытаний для некоторых систем приобретают самостоятельное значение. Эти решения применяются для хранения определенных данных в процессе штатной работы системы. Данные используются для контроля работы аппаратуры системы и операторов. Они дают возможность выявить ненормальности в работе системы и принять меры для их исключения впоследствии. Обычно эти устройства известны под названием «черный ящик».

Формирование состава данных, которые подвергаются хранению, определяются целями использования. Условно обозначаются две цели:

- запись данных отдельных частей системы, на основании которых можно определить правильность работы и выявить причины отклонений;
- запись данных о работе операторов с системой, что дает возможность определить причины неправильной работы системы.

При аварийных ситуациях эти данные используются прокуратурой и судебными органами для определения причин и виновников аварии.

Для выявления причин ненормальной работы большое значение имеет состав и объем документируемых данных. Обычно записываются данные, которые передаются из одной системы в другую: поступающие на исполнительные органы системы; представляющие решения важных задач и исходные величины для их решения; данные по работе операторов с системой. При записи фиксируется время поступления и выдачи.

Распределение объемов фиксируемых данных на объекте, состоящем из некоторого числа систем, обычно происходит болезненно, так как главный конструктор каждой системы стремится иметь большие объемы памяти для анализа работы своей системы.

Для записи данных применяется специальная система документирования, основой которой являются запомина-

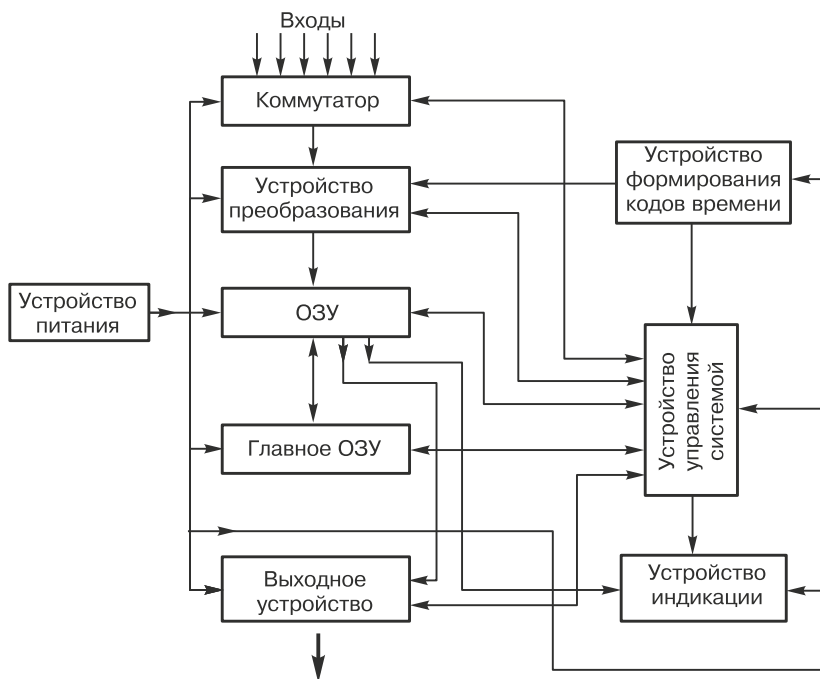


Рис. 5.8

ющие устройства (рис. 5.8). Эта система обычно включает в себя:

- устройство, коммутирующее цепи, по которым передаются данные;
- устройство преобразования, которое формирует файлы поступающих данных;
- оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), которое синхронизирует поступающие данные для записи в главную память системы;
- устройство управления работой системы;
- устройство индикации, используемое при оперативном просмотре документируемой информации;
- выходное устройство, осуществляющее связь с системами объекта при выдаче информации;

- устройство формирования кодов времени, которые фиксируются при записи данных.

Особенностью работы системы документирования является запись данных при их обмене между системами, что обеспечивает высокую достоверность.

Системы документирования должны иметь надежную защиту записанной информации от любых посторонних воздействий. Ее конструкция должна соответствовать определенным группам ГОСТа по механическим, климатическим и специальным требованиям.

# 6

## ГЛАВА \_\_\_\_\_

# КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ

### 6.1. ПОКОЛЕНИЯ СИСТЕМ

Стандартизация блоков управляющих систем (УС) различного назначения имеет важное значение. Ее сложность (в этих системах) определяется высокой динамикой совершенствования электронной и вычислительной техники. Так, появление новой элементной базы для построения устройств и приборов оценивается периодом в 2–3 года. Необходимо отметить, что частота смены элементной и конструкторско-технологической базы для систем, работающих на ответственных объектах, определяется периодом модернизации объекта, который оценивается 10–14 годами. Временные интервалы между созданием сложных объектов с принципиально новыми процессами в среднем оцениваются 13–19 годами.

История создания и эксплуатации управляющих комплексов с вычислительными системами показывает, что они развиваются циклически. Каждый цикл называют поколением. *Поколение* состоит из ряда систем, которые решают различные задачи, но используют единую элементную, конструкторскую и технологическую базу, которая, как правило, оформляется стандартами.

Переход от одного поколения УС к другому осуществляется в результате накопления новых научных, технических и технологических решений, сумма которых обеспечивает появление нового качества процесса и УС.

Под *качеством* системы и процесса будем понимать совокупность показателей, которые характеризуют управление процессом (скорость, точность), объем, массу, надежность, затраты на изготовление и эксплуатацию.

При создании систем с высокими показателями качества необходимо, чтобы принятые инженерно-технические и технологические решения поколения систем сочетались с временем эксплуатации и характеристиками поколений объекта.

Существование поколений систем связано с разницей в циклах создания новых систем управления и появления принципиально новых процессов (объектов с новыми процессами).

Наличие разработанного программного обеспечения, инженерно-технической и технологической базы приводит к развитию поколения, состоящего из различных УС. Возможность создания различных систем на одной базе значительно сокращает сроки их построения и освоения в производстве. Это создает условия для развития стандартизации в проектировании, производстве и эксплуатации систем.

Перечисленные факторы существенно сокращают затраты, уменьшают время создания и повышают экономические показатели систем.

Для анализа временных соотношений построим диаграмму жизни поколения систем, сопряженную с временем существования поколения объекта или процесса (рис. 6.1).

Запишем период производства поколения систем  $T_{\text{пс}}$  в виде:

$$T_{\text{пс}} = T_{\text{с}} + T_{\text{ст}} + A_{\text{с}},$$

где  $T_{\text{с}}$  — время создания базовой системы;  $T_{\text{ст}}$  — время выпуска стандартов поколения;  $A_{\text{с}}$  — активный период, т. е. период создания различных систем поколения.

Интервал времени, названный «активным периодом поколения», характеризуется созданием новых систем, использующих стандартные модули поколения.

Существование активного периода создания поколения систем связано с периодом производства объектов по-

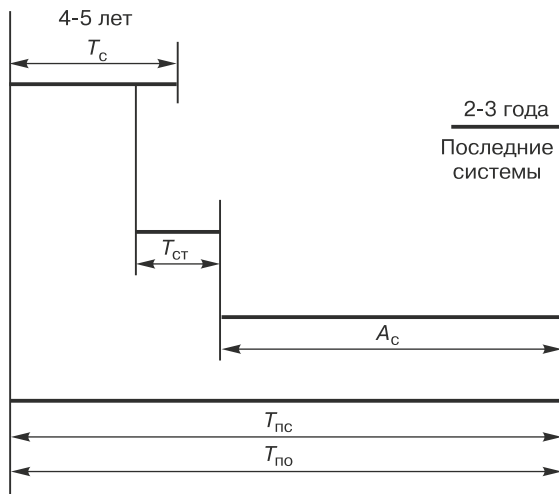


Рис. 6.1

коления  $T_{по}$ . Период поколения систем  $T_{пс}$  может соответствовать периоду поколения объектов, т. е.  $T_{пс} = T_{по}$ . Если  $T_{пс} > T_{по}$ , то проводится модернизация системы, и может начаться новое поколение систем.

Сокращение периода времени поколения объектов приводит к уменьшению активного периода систем  $A_c$ , т. е.

$$T_{по} - (T_c + T_{ст}) = A_c.$$

Если  $A_c$  принимает значение, меньшее  $T_c$  или отрицательное, то стандартизация не требуется ввиду высокой динамики развития объекта.

На практике эта временная диаграмма обычно несколько деформируется. Окончание выпуска стандартов совмещается с окончанием создания базовой системы. Создание следующих систем поколения в ряде случаев может начинаться после окончания изготовления, а не после проведения сдаточных испытаний. Создание систем может происходить параллельно.

## 6.2. УСЛОВИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ БЛОКОВ СИСТЕМ

Рассмотрим некоторые экономические условия применения стандартных блоков для УС.

Сокращение затрат от применения стандартных блоков наблюдается на всех этапах цикла жизни системы: при проектировании у разработчика, производстве у изготовителя и эксплуатации у пользователя.

Сокращение затрат на проектирование происходит в результате использования стандартных блоков, если они реализуют функции устройства или их части, так как не требуется разработка блоков. Когда требуется приспособляться к применению стандартных блоков, проектировщики в большинстве случаев предпочитают разрабатывать свои, считая, что на это требуется меньше времени и получаются более эффективные технические решения. В этих условиях только дополнительные факторы могут побуждать к применению стандартных блоков. К этим факторам можно отнести сокращенные сроки проектирования и изготовления системы, нехватку трудовых ресурсов, дополнительные материальные стимулы по увеличению объема применяемых стандартных блоков и др.

Однако существуют и объективные факторы, которые заставляют проектировщиков разрабатывать свои новые блоки: отсутствие блоков с требуемыми характеристиками по функциональным возможностям, скорости работы, потребляемой мощности, габаритным размерам или по любым сочетаниям приведенных показателей. В ряде случаев разработка новых блоков вызывается невозможностью построения в заданных объемах или массе устройства на стандартных блоках.

Изготовители системы могут быть заинтересованы в применении стандартных блоков главным образом в случае возможности их получения как комплектующих изделий с других предприятий или если эти стандартные блоки освоены на предприятии и будут востребованы в других системах. В этих случаях упрощается организация работ и сокращаются затраты на изготовление системы.

Эксплуатация системы со стандартными блоками значительно сокращает эксплуатационные затраты для систем

одного поколения в результате организации общего ЗИПа для всех систем поколения, размеры которого резко уменьшаются. Это дает возможность понизить затраты на изготовление ЗИПа и сократить затраты на его хранение, которые имеют значительную величину.

Сравнивая объемы сокращения затрат за цикл жизни системы при использовании стандартных блоков, отметим, что наиболее существенны они на этапе эксплуатации.

Большая сложность УС приводит к тому, что создание стандартных блоков можно вести только на основе проверенных в составе системы схмотехнических и конструкторско-технологических решений, что показано в приведенном временном графике жизни поколения (см. рис. 6.1). Только в этом случае исключаются ошибки, связанные с несогласованием сигналов и параметров цепей связи и уровней помех.

Знание, в какой системе работает стандартный блок, дает разработчику возможность в случае его неправильной работы сравнить условия с базовыми и определить причины. Этим обеспечиваются важные психологические условия применения стандартных блоков и уверенность в их работоспособности. Все эти обстоятельства формируют желание разработчиков применять стандартные блоки в своих устройствах.

Рассмотрим вопросы, связанные с определением номенклатуры блоков, подвергаемых стандартизации (или числа различных типов блоков, выполняющих логические и преобразующие функции). Все блоки должны иметь единое конструктивное оформление. Чем больше блоков используется в различных системах, тем выше экономическая целесообразность, т. е. тем значительно сокращаются затраты на создание систем. Можно отметить, что широкое применение стандартных блоков в системах зависит от удобства построения на них схем устройств и связано с его величиной. Состав блока связан также с применяемой элементной базой.

Как показывает опыт использования стандартных блоков в системах, наиболее широкое распространение получили блоки с малым числом функций. В них реализовывались простые логические и преобразовательные функции.



Развитие микроминиатюризации и интегральных схем привело к существенному усложнению функций блоков и резкому увеличению количества их типов в системе. Это обстоятельство усложнило выбор типов блоков, которые целесообразно стандартизировать.

Для анализа, связанного с определением количества типов блоков, подвергаемых стандартизации, построим и рассмотрим график распределения количества блоков по типам в системе (рис. 6.2), где  $N_i$  — количество блоков  $i$ -го номера,  $m$  — номера типов блока.

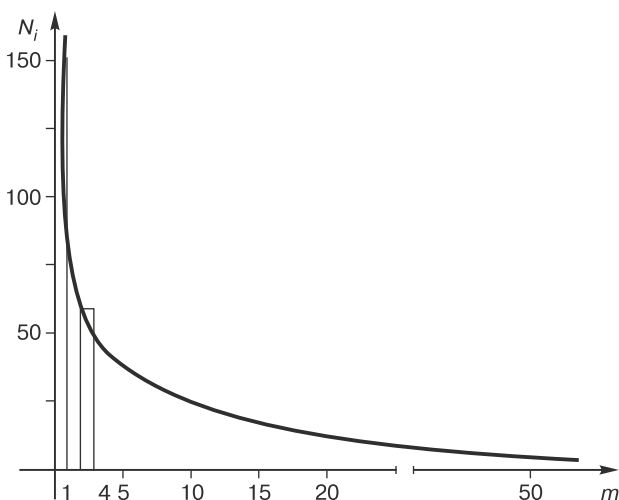


Рис. 6.2

Для различных систем одного поколения гистограммы мало отличаются друг от друга, но количество блоков каждого из  $m$  типов будет изменяться. Зависимость общего количества блоков от числа типов представлена кривой  $N_i(m)$  на рис. 6.2.

Сравнивая кривые блоков двух систем одного поколения, отметим, что, как правило, первые номера (типы) блоков являются одинаковыми, а последующие отличаются. Таким образом, системы одного поколения отличаются друг от друга высокими номерами блоков, которые для каждой системы разрабатываются и изготавливаются специально. Поэтому лю-

бая система поколения будет состоять из двух групп блоков: одинаковых типов для различных систем и разных типов для каждой системы. Это создает условия для стандартизации первых типов блоков. Однако необходимо определить, какое число типов первой группы целесообразно стандартизовать. Для этого рассмотрим затраты на создание и эксплуатацию в системе стандартных и нестандартных блоков.

Затраты на стандартный модуль  $i$ -го типа запишем в виде:

$$S_c = \frac{S_{сд} + S_{сэ}}{N_i} + S_{си} + \frac{S_{сс} + S_{ср}}{N_i}, \quad (6.1)$$

где  $S_{сд}$  — затраты на разработку документации для изготовления одного (экспериментального) типа блока;  $S_{сэ}$  — затраты на изготовление и проведение испытаний этого типа блоков;  $S_{си}$  — затраты на изготовление стандартного блока одного типа;  $S_{сс}$  — затраты на разработку и выпуск стандарта одного типа блоков;  $S_{ср}$  — затраты на документацию стандартного блока одного типа;  $N_i$  — число блоков одного типа.

Затраты на создание и изготовление одного нестандартного типа блоков запишем в виде:

$$S_n = \frac{S_{нд} + S_{нэ}}{N} + S_{ни} + \frac{S_{нр}}{N},$$

где  $S_{нд}$  — затраты на разработку документации для изготовления (экспериментального) блока одного типа;  $S_{нэ}$  — затраты на изготовление и проведение испытаний этого типа блоков;  $S_{ни}$  — затраты на изготовление одного типа нестандартных блоков;  $S_{нр}$  — затраты на документацию нестандартного блока одного типа;  $N$  — число блоков одного типа.

Анализируя уравнения, отметим, что затраты на разработку документации и изготовление блока для отработки характеристик одинаковы для стандартного и нестандартного блоков. Поэтому запишем:

$$S_{сд} = S_{нд}; \quad S_{сэ} = S_{нэ}.$$

Одинаковы также затраты на документацию блока, которой пользуется разработчик системы:

$$S_{ср} = S_{нр}.$$

Но затраты на изготовление стандартного и нестандартного блоков не одинаковы. Это связано с тем, что стандартные блоки изготавливаются в значительно большем количестве, чем нестандартные. Использование специальной технологической оснастки и контрольно-измерительного оборудования значительно сокращает трудозатраты на изготовление стандартных блоков по сравнению с нестандартными.

Затраты на изготовление одного типа стандартного блока запишем в виде:

$$S_{\text{ст}} = S_{\text{к}} + S_{\text{т}} + \frac{S_{\text{о}}}{N},$$

где  $S_{\text{к}}$  — затраты на комплектующие изделия и материалы блока;  $S_{\text{т}}$  — затраты на труд при изготовлении блока;  $S_{\text{о}}$  — затраты на специальную технологическую оснастку и контрольно-измерительное оборудование для одного типа блока;  $N$  — количество изготавливаемых блоков одного типа с учетом запаса на эксплуатацию (ЗИПа).

Затраты на комплектующие изделия и материалы являются одинаковыми для стандартного и нестандартного блоков, так как схема и выполняемые ею функции у обоих блоков одинаковые.

Затраты труда на изготовление блока зависят от оснащенности рабочего места технологическими и контрольно-измерительными средствами.

Таким образом, затраты труда на изготовление блока запишем в виде:

$$S_{\text{т}} = s_{\text{т}}(C_{\text{о}} - k_{\text{о}}S_{\text{о}}),$$

где  $s_{\text{т}}$  — затраты труда на изготовление одного типа нестандартного блока.

Эта зависимость показывает, что чем больше затрачено средств на оснащение производства, тем меньше затраты труда на изготовление блока. Величина затрат на оснащение определяется объемом выпускаемых блоков. Эту нелинейную зависимость на отдельных участках можно аппроксимировать линейным уравнением и записать:

$$S_{\text{о}} = C_1 + k_1 N,$$

т. е. с увеличением количества выпускаемых блоков можно увеличивать затраты на оснастку производства. В приведенных двух уравнениях коэффициенты  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $k_0$ ,  $k_1$  определяются аппроксимацией закономерностей изменения трудовых затрат и затрат на оснащение производства.

Подставим приведенные зависимости в уравнение (6.1). После преобразований получим уравнение, определяющее затраты на один тип стандартного блока, число которых в системе составляет  $N_{ci}$ . Запишем:

$$S_{cN} = \frac{S_{cd} + S_{cэ}}{N_{ci}} + S_k + s_t(C_0 - k_0 C_1 + k_0 k_1 N_{ci}) + \\ + \frac{C_1 + k_1 N_{ci}}{N_{ci}} + \frac{S_{cc} + S_{cp}}{N_{ci}}.$$

Затраты на изготовление одного типа блоков, не подвергаемого стандартизации, запишем в виде:

$$S_{ни} = S_k + s_t + \frac{s_0}{N_n},$$

где  $s_0$  — затраты на универсальное контрольно-измерительное оборудование и оснастку;  $N_n$  — число нестандартных блоков.

После подстановки зависимости в уравнение затрат и проведения преобразований получим уравнение, определяющее затраты на один тип нестандартизованного блока. Число таких блоков в системе  $N_{ни}$ .

Уравнение затрат запишем в виде:

$$S_{нN} = \frac{S_{нд} + S_{нэ}}{N_{ни}} + S_k + s_t + \frac{S_{нд} + s_0}{N_{ни}}.$$

Вводя обозначения, запишем затраты на группу стандартных блоков одного типа:

$$S_{cNi} = A_c + S_6 N_{ci} + s_1 N_{ci}^2$$

и затраты на группу нестандартных блоков одного типа:

$$S_{нNi} = A_n + S_a N_{ни},$$

где  $N_{ci}$  и  $N_{hi}$  — число стандартных и нестандартных блоков типа  $i$ ;

$$\begin{aligned} S_{\bar{o}} &= S_{\kappa} + s_{\tau} C_o - s_{\tau} k_o C_1 + K_1; & S_a &= S_{\kappa} + s_{\tau}; \\ A_c &= S_{cd} + S_{ca} + S_{cc} + S_{cp} + C_1; \\ A_n &= S_{нд} + S_{нэ} + S_{нр} + s_o. \end{aligned}$$

Количество типов стандартных блоков в системе представляется переменной  $X$ . Определение этого числа является одной из важнейших задач стандартизации.

Критерием рационального числа стандартных блоков являются минимальные суммарные затраты в системе на все ее блоки.

Для определения рационального числа стандартных блоков в системе проведем минимизацию общих затрат. В уравнении суммарных затрат, изменяя  $X$ , будем вычислять для каждого его значения величину  $S_{\Sigma}$ . В результате определим  $X_3$ , соответствующее минимальному значению  $S_{\Sigma_{\min}}$ . Таким образом, определится число типов стандартных блоков. Рассчитаем количество стандартных блоков в системе, используя зависимость:

$$N_{\Sigma c} = \sum_{i=1}^{X_3} N_i.$$

Для аналитического решения этой задачи по определению числа типов блоков, участвующих в стандартизации, необходимо получить зависимость, связывающую затраты на количество блоков каждого типа в системе. Эти затраты определяются умножением количества блоков каждого типа на затраты, связанные с их разработкой и изготовлением (см. рис. 6.2).

Аппроксимируем гистрограмму количества блоков каждого типа, используя функцию вида

$$N_i = \frac{a}{1 + bX},$$

где  $X$  — номер типа стандартного блока;  $a, b$  — коэффициенты аппроксимации.

Общие затраты на все блоки в системе запишем в виде:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=X} S_{cN_i} + \sum_{i=X}^{m_i} S_{hN_i}.$$

Первый член уравнения представляет собой затраты в системе, идущие на стандартные блоки, второй — затраты на нестандартные блоки.

Переходя к интегральному представлению, запишем:

$$S_{\Sigma} = \int_0^x \left[ A_c + S_6 \frac{a}{1+bx} + s_1 \left( \frac{a}{1+bx} \right)^2 \right] dx + \int_x^m \left( A_n + S_a \frac{a}{1+bx} \right) dx ,$$

где  $m$  — число типов блоков, используемых в системе.

Для оценки минимума затрат определим экстремальное значение  $x_3$  приведенного уравнения

$$\frac{dS_{\Sigma}}{dx} = 0 .$$

Значение  $x_3$  получается решением квадратного уравнения

$$x^2 - A_1 x - A_0 = 0 ,$$

$$\text{где } A_1 = \frac{1}{b} \left[ \frac{S_a(bm-1) + (S_6 + 2s_1a)(1+bm)}{1 - (S_6 + s_1a)(1+bm)} \right] ;$$

$$A_0 = \frac{1}{b^2} \frac{S_a m}{1 - (S_6 + s_1a)(1+bm)} ; \quad x_3 = \frac{A_1}{2} \pm \sqrt{\left( \frac{A_1}{2} \right)^2 + A_0} .$$

На основе полученной формулы определяется рациональное число типов стандартных блоков для базовой системы с минимальными затратами на изготовление ее блоков.

Приведенная методика дает возможность оценить число блоков, которые можно стандартизировать.

Чем больше систем будет изготовлено в поколении, тем большее число типов блоков будет отвечать условиям стандартизации и тем меньшие затраты средств пойдут на изготовление системы.

Создание систем на основе принципов поколения отвечает главным положениям развития техники — сокращению времени на создание, уменьшению затрат на производство, повышению качества систем, что приводит к сокращению затрат на эксплуатацию.

# ЛИТЕРАТУРА

1. *Древс Ю. Г.* Системы реального времени. Технические и программные средства. — М.: НИЯУ МИФИ, 2010.
2. *Малюк А. А. и др.* Введение в защиту информации в автоматизированных системах. — М.: Горячая линия Телеком, 2011.
3. *Хетагуров Я. А.* Практические методы построения надежности цифровых систем. Проектирование, производство, эксплуатация. — М.: Высшая школа, 2008.

## ОБ АВТОРЕ

Ярослав Афанасьевич Хетагуров родился 12 мая 1926 г. во Владикавказе.

В 1950 г. окончил Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана (факультет «Приборостроение»). Кандидат технических наук (1954), доктор технических наук (1964), профессор (1967), академик Международной академии информатизации и Российской академии надежности.

С 1950 г. работал в Институте точной механики и вычислительной техники РАН, где участвовал в наладке БЭСМ и в 1954 г. защитил кандидатскую диссертацию по принципам построения специализированных цифровых вычислительных устройств (научный руководитель — академик С. А. Лебедев).

С 1958 г. — в ЦНИИ «Агат»: начальник лаборатории, начальник отделения, заместитель директора по ракетной тематике, первый заместитель генерального директора по научной работе — главный инженер, главный научный сотрудник.

В 1960 г. под его руководством создана первая отечественная система «Кадр» цифрового программного управления наведением больших антенн АДУ-1000 Центра дальней космической связи.

Главный конструктор первой отечественной подвижной полупроводниковой машины «Курс-1»-5789 для системы противовоздушной обороны страны (1962), которая серийно выпускалась до 1990 г.

Один из основоположников внедрения ЦВМ как основных средств обработки информации в корабельных системах.



Главный конструктор ряда корабельных цифровых вычислительных систем для пуска стратегических и крылатых ракет с подводных лодок.

Под научным руководством Я. А. Хетагурова в 1988 г. была создана вычислительная машина на языке высокого уровня.

С 1955 г. — преподаватель МИФИ по совместительству.

В 1958–61 гг. под его руководством в МИФИ создана ламповая вычислительная машина, которая эксплуатировалась пять лет.

В 1969 г. Хетагуров организовал в МИФИ кафедру «Автоматизированные системы управления», а затем кафедру «Интеллектуальные системы управления», которой руководил до 1991 г. В настоящее время — профессор этой кафедры.

Научный руководитель системы коллективного пользования для вузов на основе ЭВМ «Ряд», созданной в МИФИ и МГУ в 1982 г.

С 1998 г. — почетный профессор МИФИ.

Под его руководством защищено более 70 кандидатских диссертаций и с его научной консультацией — 13 докторских диссертаций.

Автор 120 изобретений, 13 патентов и 350 научных трудов, в том числе 25 книг, монографий и учебных пособий по проблемам проектирования специализированных цифровых вычислительных машин и систем реального времени.

Лауреат Ленинской премии, премии Совета министров СССР, премии им. акад. В. П. Макеева, награжден орденами Ленина, Октябрьской Революции и многими медалями.

*Минимальные системные требования определяются соответствующими требованиями программы Adobe Reader версии не ниже 11-й для платформ Windows, Mac OS, Android, iOS, Windows Phone и BlackBerry; экран 10"*

*Учебное электронное издание*

Серия: «Учебник для высшей школы»

**Хетагуров Ярослав Афанасьевич**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ  
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ (АСОИУ)**

**Учебник**

Ведущий редактор *Т. Г. Хохлова*

Художественный редактор *Н. А. Новак*

Технический редактор *Е. В. Денюкова*

Корректор *О. И. Белова*

Компьютерная верстка: *В. А. Носенко*

Подписано к использованию 19.03.15. Формат 125×200 мм

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272

e-mail: [binom@Lbz.ru](mailto:binom@Lbz.ru), <http://www.Lbz.ru>



**Ярослав Афанасьевич Хетагуров** – один из основоположников отечественной вычислительной техники, выдающийся советский и российский ученый в области информационно-управляющих систем и цифровой вычислительной техники, педагог, профессор.

Научные достижения Хетагурова известны далеко за пределами нашей страны. Он внес огромный вклад в обороноспособность нашей Родины и в становление Московского инженерно-физического института, воспитал целую плеяду учеников. Конструкторские разработки Ярослава Афанасьевича на долгие годы нашли практическое применение в военной и гражданской отраслях отечественной промышленности. Вычислительные системы, созданные под его руководством, стали вехой в информатизации нашей страны.

Основные теоретические результаты по проектированию специализированных вычислительных систем изложены в 25 книгах, монографиях и учебных пособиях. Автор более 300 научных трудов и свыше 120 изобретений. Под руководством Я. А. Хетагурова защищено более 70 кандидатских диссертаций и 13 докторских диссертаций с его научной консультацией.

Лауреат Ленинской премии (1974), премии Совета Министров СССР (1982) и Минвуза СССР (1986), кавалер орденов Ленина (1960) и Октябрьской революции (1978). Награжден Кавалерским знаком Всемирного Ордена «Наука. Образование. Культура» (2005), Дипломом и медалью Международной академии информатизации «Основоположник научного направления» (2006), а также 19 медалями СССР и России.