

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

В.А.Ацюковский

**ФИЛОСОФИЯ
И
МЕТОДОЛОГИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ**

**Москва
2006 г.**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

В.А.Ацюковский

**ФИЛОСОФИЯ
И
МЕТОДОЛОГИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ**

**Москва
2006 г.**

УДК

Ацюковский В.А. Философия и методология технического комплексирования. Москва, «Петит», 2006.-221 с.

В книге изложены некоторые положения философии и методологии организации сложных технических комплексов. Показана роль техники в общественном производстве, задачи функционирования сложных технических комплексов, принципы их структурной организации и развития.

Рекомендуется в качестве учебного пособия для студентов, изучающих философию науки и техники.

Для всех, интересующихся современными проблемами организации сложных технических систем и комплексов.

ISBN 5-

© Ацюковский В.А. 2006 г.

Оглавление

Введение.....
...6

**Глава 1. Человеческое общество и общественное
производство.....**
9

1.1. Общественное производство как основа существования
человеческого общества.....9

1.2. Естествознание как база для создания
технологий.....12

1.3. Технологии как способ удовлетворения общественных потребностей и как способ усвоения и сохранения знаний	14
1.4. Энергетические, сырьевые и экологические проблемы и перспектива развития технологий	19
1.5. Роль техники в общественном производстве	26
1.6. Проблема взаимодействия человека и техники	30
1.7. Соотношение естественнонаучных, технологических и социальных революций	34
Выводы	3
	9

Глава 2. Организация функционирования технических комплексов.....4

2.1. Управление как основная задача функционирования технических комплексов	43
2.2. Формирование целевой функции управления	49
2.3. Переходные процессы и оценка качества управления	51
2.4. Структурная организация управления	58
2.5. Структурная организация вычислительного процесса	62
Выводы	6
	3

Глава 3. Квалиметрия и метрология в технике.....65

3.1. Проблема качества в общественном производстве	65
--	----

3.2. Категории и задачи измерения в научном эксперименте, технологии и технике.....	71
3.3. Виды погрешностей измерений.....	76
3.4. Влияние измерительного процесса на измеряемую величину.....	80
3.5. Определение требований, предъявляемых к измеряемым величинам.....	82
3.5.1. Определение требований, предъявляемых к статическим погрешностям.....	82
3.5.2. Определение требований, предъявляемых к динамическим погрешностям.....	92
3.5.3. Понятие одновременности измерения величин в сложных комплексах.....	94
3.6. Виды погрешностей и процесс измерения.....	96
3.6.1. Методические погрешности и выбор метода измерения.....	96
3.6.2. Инструментальные погрешности и выбор измерительной схемы.....	99
3.6.3. Повышение точности измерений при мультипликативном распределении погрешностей.....	108
3.7. Обработка результатов измерений.....	110
Выводы.....	111

Глава 4. Технический синтез каналов связей.....115

4.1. Категории и задача синтеза каналов связи.....	115
--	-----

4.2. Обеспечение физического и энергетического соответствия датчиков и приемников информации.....	120
4.3. Обеспечение информационного соответствия датчиков и приемников информации.....	125
4.3.1. Определение единицы информации.....	125
4.3.2. Определение информационного содержания физических величин.....	12
7	
4.4. Обеспечение информационной пропускной способности каналов связей.....	131
4.4.1. Требования, предъявляемые к погрешностям, вносимым каналами связи.....	131
4.4.2. Информационная пропускная способность каналов связи.....	132
4.4.3. Информационная способность сигналов.....	137
4.4.4. Коэффициент информационного использования канала связи.....	138
4.4.5. Выбор формата слова цифровой информации.....	140
Выводы.....	14
4	
Глава 5. Структурная организация технических комплексов.....	14
7	
5.1. Категории и принципы структурной организации технических комплексов.....	147
5.2. Структурная организация звеньев сложных систем.....	154

5.3. Организация взаимодействия звеньев технических систем.....	157
5.3.1. Принципы организации каналов связей в комплексах оборудования.....	15
5.3.2. Организация сетей связи в комплексах оборудования.....	165
5.3.3. Выбор способов обмена информацией в комплексах оборудования.....	17
5.4. Обеспечение надежности работы аппаратуры.....	175
Выводы.....	17
Глава 6. Развитие сложных технических систем.....	181
6.1. Сущность, цели и категории развития.....	181
6.2. Основные принципы развития.....	183
6.2.1. Однокритериальное и многокритериальное развитие.....	183
6.2.2. Этапность развития, принципы изоморфизма базовых основ и целесообразности.....	188
6.2.3. Стандартизация как основа развития техники.....	196
6.2.4. Системно-исторический метод выбора вариантов развития.....	199
6.3. Стратегии развития.....	202
6.3.1. Стратегия внедрения новаций.....	202
6.3.2. Стратегия обгона опередившего соперника.....	204
6.3.3. Стратегия наращивания результата.....	207

6.3.4. Стратегия геометрической прогрессии	208
6.4. Проблемы	210
6.4.1. Проблема физического и морального износа	210
6.4.2. Экологические проблемы наращивания производства и проблема утилизации отходов	212
6.4.3. Проблема ограничения потребления	213
Выводы	21

5

Заключение. Современные кризисы и общественное производство

.....217

Литература.....22

0

Приложение: **Извещение** **0**
книгах.....225

Введение

В общественном производстве все большую роль играют технические комплексы, от уровня развития которых существенно зависит уровень всего современного производства. Эти комплексы, состоящие из многих систем и устройств, предназначены для автоматизации самых разнообразных исследовательских и производственных процессов. Такими комплексами являются, в частности, всевозможные системы управления технологическими процессами, производственные поточные линии, пилотажно-навигационные, связные и специальные комплексы оборудования подвижных объектов, и т. п.

Технические комплексы состоят из многих звеньев, которыми являются разнообразные информационные системы – измерительные и вычислительные устройства, исполнительные механизмы, комплексные

индикаторы и сигнализаторы, пульта управления и многочисленные линии связи, объединяющие все звенья в единый комплекс. Все звенья, в совокупности образующие комплексы, должны выполнять определенные функции и быть увязаны друг с другом в функциональном, информационном, физическом и энергетическом отношениях.

При разработке технических комплексов возникает множество конкретных технических задач, имеющих многие варианты решений, из которых далеко не все являются оптимальными. Однако простых решений, удовлетворяющих всем требованиям, предъявляемым к комплексам, работающим в жестких условиях эксплуатации, существует немного, но именно они часто остаются не рассмотренными и не использованными.

Для решения проблем, возникающих при разработке и эксплуатации технических комплексов, целесообразно применение единого подхода независимо от конкретного назначения комплекса. Решение этих проблем требует создания соответствующих философии и методологии.

Философия разработки технических комплексов и систем заключается в формулировании общих для них социальных, физических, структурных и технических проблем, а методология – в нахождении общих принципиальных решений, позволяющих решить эти проблемы наилучшим способом и пригодных для широкого класса технических систем. Собственно это и есть то, что получило в технике название комплексирование.

Проблемы технического комплексирования следует рассматривать как часть проблем современного общественного производства, которые в свою очередь должны предварять решение и даже постановку частных задач. Иначе тот «...кто берется за частные вопросы без предварительного решения общих, неминуемо будет на каждом шагу бессознательно для себя «натыкаться» на эти общие вопросы. А натыкаться слепо на них в каждом частном случае значит обрекать свою политику на худшие шатания и беспринципность» (В.И.Ленин).

К социальным проблемам современного общественного производства относятся такие, как:

– роль общественного производства на современном этапе развития общества и задачи, стоящие перед естествознанием, как части общественного производства;

- роль естествознания в современном обществе как основы понимания природы и как основы создания новых технологий;

- роль технологий как способа удовлетворения общественных потребностей и как способа усвоения и сохранения знаний; энергетические, сырьевые, экологические и социальные проблемы и перспектива развития технологий;

- роль техники в общественном производстве и проблема взаимоотношений человека и техники; соотношение производительных сил и производственных отношений в обществе и соотношение естественнонаучных, технологических и социальных революций.

К проблемам технического комплексирования относятся:

- проблемы определения целей создания технических комплексов;

- определение критериев качественных и количественных оценок параметров комплексов и их составляющих; здесь целесообразно выделить точностные оценки, информационные оценки и оценки эффективности функционирования комплексов, проблемы квалитметрии и метрологии в технике;

- нахождение способов оптимальной организации комплексов и их функционирования;

- проблемы получения, трансляции, обработки и использования информации в комплексах оборудования;

- определение путей развития сложных технических систем и комплексов.

К сожалению, работ, посвященных решению указанных общих проблем в технике, явно недостаточно.

Автор предлагаемой работы обращает внимание разработчиков технических комплексов, во-первых, на существование таких проблем, а во-вторых, на возможность их решения достаточно простым и эффективным образом. При этом автор опирается на опыт разработок комплексов бортового авиационного оборудования, в которых участвовали многие предприятия, их совместными усилиями эти

проблемы были успешно решены, в чем автор принимал определенное участие. К сожалению, найденные и широко внедренные в бортовом авиационном оборудовании принципиальные и технические решения до сих пор остаются мало известными не только в широкой промышленности, но даже в смежных областях, таких как космонавтика и ракетостроение. Однако использование общих принципиальных технических решений, положительно зарекомендовавших себя при разработке комплексов бортовой авиационной аппаратуры, может вполне оказаться полезным и при разработке технических комплексов самого разнообразного назначения.

Для того чтобы разобраться в том, что перечисленные проблемы действительно являются общими для современной техники, необходим подход, опирающийся на формулирование категорий – наиболее общих и фундаментальных понятий, отражающих свойства и взаимоотношения явлений в рассматриваемой области. Категории составляют в совокупности систему и связаны между собой так, что каждая из них может быть осмыслена лишь как элемент всей системы категорий. Применительно к задаче организации технических комплексов система категорий должна отражать основные понятия и взаимоотношения, связанные с назначением технических комплексов, их функционированием и возникающих при этом основными проблемами.

В работе излагаются рекомендации по решению только некоторых, но весьма существенных и достаточно общих проблем комплексирования. Автор надеется, что эти решения, найденные в процессе разработок комплексов авиационного оборудования, могут быть использованы и в других областях техники.

В дальнейшем изложении под термином «технические комплексы» подразумеваются комплексы оборудования, состоящие, главным образом, из датчиков (измерителей) первичных параметров, электронных систем и исполнительных устройств.

Глава 1. Человеческое общество и общественное производство

1.1. Общественное производство как основа существования человеческого общества

Человек живет в природе, целиком зависит от нее и, для того, чтобы существовать, должен понимать окружающую его природу и взаимодействовать с ней, получая от нее все необходимое. Поэтому человек должен понимать устройство природы, знать ее законы, иначе его существование в природе будет неустойчивым.

Ничего готового природа людям не дает, все необходимое достается знаниями и трудом, и для того чтобы производить предметы потребления, необходимые людям, нужны *средства производства* (орудия труда или техника), которые реализуют определенные *технологии*. Для создания же технологий нужно *естествознание*, дающее объективные сведения о *природе*. *Природные ресурсы* являются материальной базой технологий, средств производства и предметов потребления (рис. 1.1).

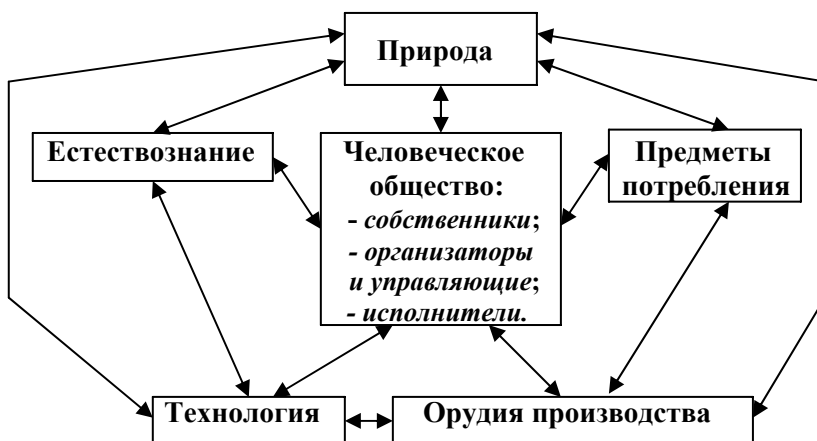


Рис. 1.1. Структура общественного производства

Все звенья производственной цепи охвачены прямыми и обратными связями:

– для существования людям нужны *предметы потребления*, исходным материалом для которых является природное сырье и природная энергия (прямая связь), после использования предметов потребления, преобразованные сырье и энергия возвращаются в природу (обратная связь);

– предметы потребления можно изготовить только с помощью **средств производства** (прямая связь), но сами предметы потребления оказывают влияние на выбор средств производства (обратная связь);

– средства производства являются конечным звеном определенных **технологий** и целиком от них зависят (прямая связь), но конкретный выбор средств производства оказывает влияние и на выбор конкретных технологий (обратная связь);

– технологии определяются уровнем знаний о природе, т.е. состоянием **естествознания**, а также производственными возможностями общества (прямая связь), но потребности технологий заставляют изучать природу направленно (обратная связь).

– естествознание определяется объективными законами **природы** (прямая связь), но из природы выбираются только те данные, которые нужны для общественного производства, а также данные, необходимые для общей ориентации человека в природе (обратная связь). Знания, не освоенные технологиями, со временем неизбежно утрачиваются.

От уровня каждого из этих звеньев зависит состояние всего общественного производства.

Элементы общественного производства – естествознание, технологии, средства производства и предметы потребления создаются и используются людьми, т.е. человеческим **обществом**. Без участия человека ни одно из звеньев общественного производства, кроме самой природы, существовать не может, и все общественное производство и сами люди целиком зависят от природы.

В совокупности все звенья рассмотренной производственной цепи являются **производительными силами**.

Отношения между группами людей, обеспечивающими производство, есть **производственные отношения**, которые могут способствовать, а могут тормозить развитие производительных сил. Эти группы по отношению к производству состоят из:

– собственников элементов производства, в интересах которых производство создано;

– организаторов производства и управляющих производством;

– непосредственных исполнителей производства.

Все они по отношению к производству выполняют определенные функции, но у них различное правовое отношение к элементам производства и к результатам производства – предметам потребления. Именно это различие по мере развития производства оказывается

основным фактором, порождающим конфликты между ними, ускоряющим развитие производства на одних этапах и тормозящим развитие производства на других этапах.

Из структуры общественного производства видно, что задача техники двоякая: она должна обслуживать науку, создавая для нее необходимое оснащение, чтобы наука могла исследовать природу, и должна обеспечивать технологии для создания необходимых обществу предметов потребления.

Первая задача исследования природных процессов – это задача создания инструментов, позволяющих исследовать природные законы. Она зависит от общего философского взгляда на природу: тот или иной взгляд на сущность природных явлений заставляет выбирать соответствующие пути исследований и создавать необходимую для этого исследовательскую технику. Примером того, как влияет идеология естествознания на технику исследований природы являются многочисленные синхрофазотроны, созданные на основе теории относительности Эйнштейна и квантовой механики. Сегодня с их помощью получено громадное количество так называемых «элементарных частиц вещества», фактически, осколков устойчивых ядер атомов и с которыми сегодня физики не представляют, что делать. Затраченные на них огромные средства оказались выброшенными на ветер.

Вторая задача связана с целью производства – общественным потреблением. Потребление всегда носило и носит классовый характер. Именно неравномерность потребления отдельными группами лиц приводила к социальным конфликтам и революциям. Классовая идеология устанавливала, что именно должно производиться для удовлетворения потребностей тех или иных классов, включая и те предметы потребления, которые в принципе не нужны людям для существования, – предметы роскоши и престижа, наркотики и т.п. Поскольку в классовом буржуазном обществе на них есть спрос, то их и производят, и это в определенной степени определяет характер и технологий, и техники. Но для основной массы людей нужны массовые доступные изделия, и именно они должны в конечном итоге определять основной характер технологии и техники.

Современная техника уже в начале 20-го столетия стала приобретать черты комплексности. Это коснулось и систем для исследования природных процессов, которые становятся все более многосторонними,

это коснулось и производственных технологий, становящихся, с одной стороны, все более производительными, а с другой, вынужденных контролировать все большее число параметров.

Появление во второй половине 20-го столетия вычислительной техники вывело многие технологии как исследовательские, так и производственные на новый уровень, т. к. для управления и обработки информации появились невиданные ранее средства, обеспечивающие высокую производительность и не требующие участия в них большого количества людей.

Среди таких комплексов важную роль играют информационно-измерительные комплексы, используемые как в исследовательских целях, так и применяемые в производстве и на всевозможных подвижных объектах. В некоторых из них, в частности, в авиации отработаны наиболее перспективные технические решения, проверенные в жестких условиях эксплуатации и показавших высокие результаты. Однако часто оказывается, что эти решения, разработанные и широко используемые в одной отрасли, например, в авиационном бортовом оборудовании, остаются неизвестными для лиц, работающих в других областях промышленности и науки, где они часто переоткрываются вновь. Это тормозит поступательное развитие науки и производства и оказывается излишне затратным. Поэтому одной из задач современной теоретической системотехники является обоснование и доведение до сведений инженерной общественности таких решений для их более широкого использования.

1.2. Естествознание как база создания технологий

Необходимость коснуться методологических основ естествознания вызвана тем, что именно от состояния естествознания непосредственно зависит и уровень технологий, и уровень орудий производства, т.е. техники. Поэтому люди, создающие технологии, непосредственно заинтересованы в его развитии и не могут оставаться равнодушными, если естествознание не удовлетворяет их запросам.

Задачей естествознания является выявление законов окружающей нас природы [1-4]. Только опираясь на них можно разработать технологии, способные произвести необходимые человеку предметы потребления. Отсюда непосредственно вытекает основная задача

естествознания: *изучать природу в том виде, в каком она существует, а не изобретать ее, обобщать накопленные факты и из этого обобщения выводить природные закономерности*, которые могут быть использованы для создания технологий. Это и есть материалистическая методология, предполагающая первичность материи (природы) и вторичность сознания (выводов и умозаключений) [1, 2]. Идеалистическая методология, предполагающая допустимость выдвижения идей – постулатов, «принципов» и аксиом, которым, по мнению их авторов, полагается соответствовать природе, оказывается в большинстве случаев бесплодной, неспособной создавать технологии, поэтому она должна быть отвергнута.

С сожалением следует констатировать, что современная теоретическая физика, которая должна быть основой естествознания, отличается идеализмом, поскольку в ней считается допустимым выдвижение постулатов и аксиом, которым, по мнению их авторов, обязана соответствовать природа. Итогом явилось создание таких дорогостоящих установок, как всевозможные синхрофазотроны и «Токамаки», которые, несмотря на громадные затраты, не дали ожидаемых результатов[3].

Таким образом, сама прикладная цель естествознания – обеспечить разработку технологий, способных создать необходимые человеку предметы потребления, – решает спор между материализмом и идеализмом в пользу материализма. Однако это означает, что методология современного естествознания должна быть изменена в корне, это **требование** прикладников.

Методологической задачей естествознания должно стать **объяснение** явлений. Объяснить явление означает не описать его, как это обычно трактуется, а вскрыть его внутренний механизм, результатом действия которого и оказывается изучаемое явление. Такой подход сразу предполагает наличие у каждого явления такого механизма, т. е. наличие внутренних частей у явлений и организацию этих частей в определенную структуру, взаимодействие этих частей друг с другом и частями других явлений. Это значит, с одной стороны, что материя имеет иерархическую структуру вглубь, что число уровней организации материи вглубь бесконечно велико и что познание материи может происходить поэтапно. Вся история естествознания это подтверждает [4]. Но одновременно это значит, что на каждом этапе познается лишь

часть свойств материального мира, и эта осознанная часть может быть использована для создания технологий.

В самом факте беспредельной делимости материи заложена принципиальная возможность создания новых технологий по мере углубления знаний о природе. Исчерпание каких-либо материалов в природе означает всего лишь технологический консерватизм, приверженность привычным представлениям, той технологии, которая базируется на этих конкретных материалах, а вовсе не принципиальное исчерпание технологических возможностей. Эти возможности беспредельны [5].

Сегодня перед естествознанием необходимо поставить четыре задачи:

- 1) возрождение материалистической философии и создание на ее основе материалистической методологии развития естествознания;
- 2) ревизию всего достигнутого естествознанием, включая критический пересмотр так называемых «хорошо проверенных» законов природы и опытных данных;
- 3) выявление внутренних механизмов основных физических явлений;
- 4) определение новых направлений исследований.

Решение естествознанием этих задач позволит по-иному подойти к развитию общественного производства на основе новых технологий.

1.3. Технологии как способ удовлетворения общественных потребностей, усвоения и сохранения знаний

Технология есть совокупность приемов и способов получения, обработки или переработки сырья, материалов, полуфабрикатов или изделий, осуществляемых в различных отраслях производства. Технологией также называют сами операции добычи, обработки, переработки, транспортирования, складирования, хранения, являющихся составной частью производственных процессов [6].

Технологии призваны обеспечить производство методами и приемами создания предметов потребления, без которых человек и человеческое общество существовать не могут, они дают обществу те потребительские стоимости, образы которых формирует политика, и поэтому составляют основу жизни общества. Технологии прочно

объединяют естествознание, с которым взаимодействуют, науку и технику, экономику, политику и управление. Именно в технологиях все они находят свое отражение и воплощение.

Технологии обеспечивают сохранение накопленных естествознанием сведений о природе, различных природных закономерностях, которые используются при создании технологий. Если какие-либо знания оказываются не нужными для технологий, эти знания со временем неизбежно утрачиваются.

Технологии в условиях глубокого разделения труда стали играть исключительную роль в развитии (или торможении) производительных сил общества. Проникая в область экономики, политики и управления, технологии конкретизируют цели, принципы и решения практических задач развития общества, отдельных регионов и цивилизации в целом. Они помогают выработать тактику и стратегию глобального развития общественно-экономических формаций на базе системного подхода к решению политических и экономических проблем, а также развития техники. Они помогают решать практические задачи на базе исследований комплекса наук, связывающих их в единое целое. Сами по себе перечисленные отрасли знаний в силу своей специфичности не способны решать подобных задач. Поэтому часть теоретической технологии, устанавливающей взаимосвязь политики и экономики с развитием технологии и техники, выделяют в самостоятельный раздел – социальную технологию. Задачи этой науки включают не только общественные отношения, но и производственные, экономические, социальные и политические.

Задачей собственно технологии как науки является выявление природных (физических, химических, механических и др.) закономерностей с целью определения и использования на практике наиболее эффективных, т.е. наиболее производительных и экономичных производственных процессов, требующих наименьших затрат времени и материальных ресурсов.

В последние десятилетия приобрели особое значение наукоемкие технологии, т.е. технологии, основанные на достижениях науки и требующие для своей реализации соответствующих наукоемких производств. Важное значение приобрели также информационные технологии, в которых основным продуктом являются не материальные предметы, а информация, знания, на основе которых можно принимать

правильные решения в тех или иных ситуациях, включая и производственные процессы.

Технологии различных производств постоянно обновляются и изменяются по мере развития техники. Совершенствование технологий всех отраслей и видов производства – важное условие ускорения технического прогресса в народном хозяйстве. Основное направление развития современных технологий – переход от прерывистых технологических процессов к непрерывным поточным процессам, обеспечивающим увеличение масштабов производства и эффективное использование машин и оборудования; внедрение безотходной технологии для наиболее полного использования сырья, материалов, энергии, топлива, что дает возможность свести к минимуму или полностью ликвидировать отходы производства и осуществить мероприятия по оздоровлению окружающей среды.

Современный период развития технологий характеризуется все более интенсивным применением технологий, основанных на последних достижениях науки – химических, лазерных, твердотельных, а также применением автоматических систем управления и регулирования хода технологических процессов с широким использованием компьютерной техники.

В каждой технологии существует *один главный физический процесс*, реализуемый в *главном технологическом процессе*, сочетаемый с другими процессами, обеспечивающими применение этого технологического процесса для уже конкретной технологии. Однако и в каждом таком вспомогательном процессе также в основе лежит определенный физический процесс, являющийся для него главным. Таким образом, в любой технологии имеется иерархия физических и соответственно иерархия технологических процессов.

Так во всех металлорежущих структурах главным является физический процесс разделения молекул металла, реализуемый через технологию резания металла, вспомогательными процессами – все остальные, приспособляющие этот главный технологический процесс для конкретного использования. Процесс резания металла вызывает необходимость рассмотрения всех особенностей, связанных именно с этим процессом: свойства обрабатываемого металла (твердость, хрупкость, вязкость и т.п.), свойства режущего инструмента – резца (твердость, хрупкость, угол и остроту заточки и т. п.), цель обработки (грубая обработка или тонкая обработка), отсюда – скорость резания и

толщина стружки. Конкретная задача по обработке поверхности вызывает необходимость тех или иных приспособлений – применение токарного, фрезерного, шлифовального или других станков с приспособлениями для крепления обрабатываемой заготовки или детали, для крепления резца, для подачи инструмента и т.д.

В штамповочном производстве главным физическим процессом является текучесть металла при давлениях, превышающих предел текучести. Главным технологическим процессом является создание давления, превышающим предел текучести, а далее – нужной формы матрицы и пуансона, штампа, обеспечивающего необходимое давление и т.п.

В транспортных задачах главным физическим процессом является перемещение пассажира или груза в пространстве из одной точки в другую, а главным технологическим процессом – обеспечение этого физического процесса. Это требует создания средств, обеспечивающих необходимые скорости перемещения и ускорения, условия безопасности и комфорта и т.п. Создание этих средств, в свою очередь, заставляет использовать определенные технологические процессы, основанные каждый на определенной физической основе.

Несмотря на то, что для каждого конкретного производства используется своя технология, все технологии, независимо от конкретного применения и области использования имеют некоторые общие черты.

1. Все технологии ставят своей целью производство тех или иных предметов потребления или промежуточных продуктов для последующего производства предметов потребления (знания, полученные в процессе применения информационных технологий, можно рассматривать как информационные предметы потребления).

2. Все технологии базируются на изученных природных закономерностях и являются практическим приложением добытых естествознанием знаний о природе.

3. Развитие технологий заключается в переходе от предыдущих технологий к последующим с целью увеличения эффективности производства или качества изделий и снижения при этом производственных затрат.

4. В технологиях отражаются общественные производственные отношения в зависимости от цели производства – получения

максимальной прибыли (при капитализме) или получения максимальной пользы для людей (при социализме и коммунизме).

Развитие естествознания создает условия для создания новых технологий, основанных на новых законах природы, добытых естествознанием. Новые технологии непосредственно вызывают к жизни новую технику, производительные силы общественного производства растут. Накопление новых технологий ведет к технологической революции, которая вызывает общетехническую революцию – технологический переворот, на базе которой совершается переворот и в производственных отношениях, т. е. социальная революция.

«Вместе с происшедшей однажды революцией в производительных силах, – писал К.Маркс на основе анализа промышленной революции XVIII – XIX вв., – которая выступает как революция технологическая, совершается также и революция в производственных отношениях» [7, с. 461].

Отсюда следует важный практический вывод: любая научно обоснованная концепция ускоренного развития общественного производства должна закладывать новые широкомасштабные концептуальные подходы к технологии и средствами технической политики обеспечивать их приоритетную реализацию в плане научно-исследовательском, проектном, инвестиционном и др. Одновременно ***необходимо оценивать общественные последствия внедрения этих новых технологий, как ближайшие, так и отдаленные.***

Общественными последствиями внедрения новых высокопроизводительных технологий могут стать такие негативные явления как необходимость переквалификации кадров, избыточное производство и даже безработица. Все эти явления на этапе до социалистических формаций неизбежно приводят к социальной напряженности, и, в конце концов, к социальным революциям.

В производственных технологиях проявляется отношение общества к природе.

Стремление к получению максимальной прибыли при капитализме приводит к применению таких технологий, которые не компенсируют наносимый природе ущерб, поскольку дополнительные затраты, которые нужно произвести для этого, не приносят прибыли, а наоборот, снижают норму прибыли (отношение прибыли к затратам) и делают производство не конкурентоспособным. То, что последующим поколе-

ниям придется столкнуться с кризисной ситуацией, во внимание не принимается. Поскольку правительствами капиталистических стран принимаются законодательные меры, заставляющие производителей хотя бы частично компенсировать наносимый природе ущерб, то капитал начинает вывозиться в те страны, которые такого жесткого законодательства не имеют. Ущерб от вредных технологий наносится там.

Социалистическое общество, имея целью пользу для всего общества и учитывая интересы последующих поколений, стремится к компенсации ущерба, наносимого природе. Однако, находясь в условиях соревнования с капиталистическим окружением, социалистическое общество вынуждено во многих случаях отступать от этих принципов. Коммунизм же, как экономический строй, рассчитанный на весь отведенный историей срок существования человечества, обязан будет использовать технологии, которые полностью компенсируют наносимый природе ущерб. В этом плане следует обратить особое внимание на создание эфиродинамических технологий, которые могут приобрести большое значение, поскольку базируются на принципиально неиссякаемом и экологически чистом источнике энергии – мировой среде – эфире.

1.4. Энергетические, сырьевые и экологические проблемы и перспективы развития технологий

Для реализации любой технологии обязательно использование энергии и сырья, поэтому энергетические и сырьевые возможности существенным образом определяют возможность использования тех или иных технологий. Более того, появление новых способов получения энергии и сырья стимулировали создание новых технологий.

Технологии определяют затраты сырья и энергии на производство продукции и, как результат – требуемые виды сырья, виды энергии, объем, вид и квалификацию труда (рабочей силы), а также виды отходов, требующих утилизации.

Недостаточно совершенные технологии при расширении производства развиваются по количественному пути, что приводит к расширенному потреблению сырья, энергии, увеличенному расходу рабочей силы и увеличенному объему отходов. По мере увеличения

масштабов производства все эти проблемы обостряются сначала внутри производства, затем внутри регионов и стран, а затем и в международном масштабе: становится все более ощутимой нехватка сырья и энергии вплоть до исчерпания земных ресурсов. В ряде случаев ощущается и нехватка рабочей силы, которая в избытке находится в местах, удаленных от производства. Тогда возникает проблема перемещения и устройства рабочей силы со всеми вытекающими отсюда социальными последствиями.

Положение обостряется при рыночной экономике, когда конкурирующие производители вынуждены выбрасывать готовые изделия вместе с затраченными на них сырьем, энергией и вложенным трудом и искать дешевую рабочую силу, обращаясь к иммигрантам или перемещая производства в места с избытком рабочей силы – в отдаленные районы Земли. Плановая экономика во многих подобных случаях позволяет избежать излишних расходов. Но это тоже не решает всей проблемы.

Проблема решается только в сочетании плановой экономики с развитием замкнутых и безотходных технологий, использующих разнообразное и нетрадиционное сырье, экономящих энергию и привлекающих альтернативные источники энергии.

В рабовладельческом обществе основным источником энергии была мускульная сила людей (рабов) и животных. Мускульная сила использовалась при строительстве сооружений, во флоте преобладали гребные суда, сельское хозяйство держалось исключительно на мускульной силе. Для ее наилучшего использования были изобретены простые механизмы: блок – для изменения направления силы, рычаги 1-го и 2-го родов, клин, полиспаст, ворот – для увеличения прикладываемых усилий. В шахтах и каменоломнях при добыче руд и камня для строительства использовался исключительно ручной труд. На экологии окружающей среды это никак не сказывалось, но тяжелый труд во вредных условиях приводил к массовым травмам, ухудшению здоровья людей и короткой жизни.

В феодальном обществе потребовалось увеличение производительности труда. Мускульной силы людей и животных было недостаточно, и стала использоваться энергия потоков окружающей среды – ветра и воды. Появились ветряные и водяные мельницы. Во флоте появились парусные суда. И хотя ручной труд был развит широко, его доля в общей энергетике существенно сократилась. Энергетика оставалась экологически чистой.

В капиталистическом обществе стала широко использоваться энергия сжигания в воздухе ископаемых энергоносителей – каменного угля, позже – нефти, газа, торфа и сланцев. На этой основе был изобретен паровой двигатель, и стала развиваться промышленность, которая перешла от мануфактурной формы, использующей ручной труд, к промышленной, использующей машинное производство.

Выбрасывание в атмосферу продуктов сгорания энергоносителей и загрязнение рек продуктами промышленных технологий привело к существенному ухудшению экологии вблизи энергоустановок и промышленных объектов. Однако на начальной стадии развития масштабы производства были относительно невелики, соответственно и масштабы загрязнения были относительно умеренными, и это не приводило к кризисным явлениям.

Ручной труд в промышленности и сельском хозяйстве по-прежнему сохранялся, хотя его относительная доля резко сократилась, энергия потоков сред не только продолжала использоваться, но и приобрела качественно иные формы: появились гидростанции, для сооружения которых потребовались водохранилища и плотины. Водохранилища стали заполнять зоны затопления, сокращая площадь полей, лесов и пахотных земель, а плотины стали уничтожать рыбу, идущую вверх по рекам на нерест. Ущерб, наносимый природе, стал ощутим.

Проведенные исследования по химии и электромагнетизму в XIX столетии создали предпосылки для использования разнообразного ископаемого сырья и создания электростанций. Основными источниками электроэнергии стали тепловые электростанции, поставляющие электроэнергию для промышленности и освещения, а в транспорте – двигатели внутреннего сгорания. Негативные экологические следствия стали наращиваться ускоренными темпами.

Социализм в своем стремлении выжить в условиях капиталистического окружения, да еще имея неблагоприятные начальные условия развития, не имел возможности реализовать все преимущества планового хозяйства, вынужден был применять ту же технологию и точно так же портить окружающую среду.

В середине XX столетия выяснилось, что запасы ископаемых теплоносителей не безграничны, а открытие возможности использования атомной энергии привели к созданию АЭС – атомных электростанций, удельный вес энергетики которых начал стремительно возрастать. Достижения науки привели к созданию массовых

химических технологий, связанных с созданием новых синтетических материалов, а также технологий, связанных с использованием свойств твердого тела, главным образом, в электронике. Однако все это сопровождается ускоренным потреблением сырья и энергии, а АЭС оказались не столь безопасными, как это предполагалось вначале. Взрыв Чернобыльской АЭС показал всю опасность и ненадежность применения атомной энергии, особенно в условиях непрерывно возрастающей мощности АЭС. Кроме того, выяснилось, что и запасы урана, пригодного для использования в АЭС, относительно невелики, а отходы атомной энергетики представляют для человечества опасность уже в глобальном масштабе. Поэтому на повестке дня стоит проблема нахождения альтернативных источников энергии, общего ограничения потребления энергии и сырья и более равномерного распределения благ цивилизации среди всего населения Земли, а не только среди населения «цивилизованных», т.е. развитых капиталистических стран.

Попытки применения таких альтернативных источников энергии, как солнце, ветер, океан (энергия приливов, волн и т.п.), показали, во-первых, их дороговизну, сложность эксплуатации и ограниченные возможности применения, а во-вторых, практическую трудность получения энергии в удобном виде и в достаточно больших количествах. Не ставя под сомнение целесообразность использования альтернативных источников энергии, следует констатировать, что таким способом проблема энергетики разрешена быть не может.

В XX столетии, особенно со второй его половины, произошло появление ряда новых технологий: биотехнологии органического синтеза искусственных веществ с заданными свойствами, технологии искусственных конструкционных материалов, технологии выращивания искусственных кристаллов и создания сверхчистого вещества, лазерной, ядерной, космической технологий и, наконец, информационной технологии. Ни в коем случае не ставя под сомнение их полезность, следует, однако, констатировать, что они никак не приблизили решение экологической, сырьевой и социальной проблем.

Таким образом, можно констатировать, что широкое использование технологий, использующих сырьевые и энергетические ресурсы земного шара при капиталистическом способе производства, неизбежно ведет к энергетическому и сырьевому кризису со всеми вытекающими отсюда экологическими и социальными негативными последствиями.

Замена капиталистических производственных отношений, в которых частная собственность на средства производства не позволяет создать единый планово регулируемый народно-хозяйственный механизм и в котором целью производства является прибыль, на социалистические, в которых такой организм может быть создан и в которых целью производства является улучшение жизни всех членов общества, несомненно, улучшит общее положение производительных сил, вызовет к жизни ресурсосберегающие технологии, улучшит экологию и пригасит на время социальные неурядицы. Однако считать, что таким путем будут решены все социальные, экологические и технологические проблемы, нет оснований. Это связано, прежде всего, с тем, что базирование на действующие технологии, принципиально ориентированные на потребление не возобновляемых энергоносителей и сырья, рано или поздно истощат ресурсы земного шара и приведут все к тому же кризису.

Кардинальным способом удовлетворения всех энергетических нужд человечества в настоящее время и в любом отдаленном будущем следует считать использование энергетики эфира – среды заполняющей все мировое пространство и обладающей исключительно высоким внутренним энергосодержанием, на много порядков превышающим любые возможности существующих источников энергии, включая атомные. Принципиально природа реализует эту энергию во всех энергетических проявлениях, включая атомную и солнечную энергии, и именно в направлении прямого использования энергии эфира и должны быть направлены основные энергетические исследования.

Овладение энергией эфира позволит получать экологически чистую энергию в любой точке пространства, в любое время и любыми порциями практически на бессырьевой основе, что и явится полным решением энергетической проблемы, связанной с получением необходимой для человечества энергии. Однако получение избыточной энергии в пределах земного шара может привести к нежелательным последствиям типа перегрева Земли и вследствие этого – к изменениям климата, таянию льдов и затоплению суши. Поэтому и здесь станет необходимым жесткое регулирование получения и потребления энергии уже в глобальном масштабе, что потребует, в свою очередь, системного подхода к этой проблеме, а это приведет к необходимости очередного пересмотра производственных отношений уже в масштабах всей Земли.

Основным направлением развития технологий при плановом управлении хозяйством должен быть переход от прерывистых

технологических процессов к непрерывным поточным процессам, обеспечивающим увеличение масштабов производства и эффективное использование машин и оборудования; внедрение замкнутой (безотходной) технологии для наиболее полного использования сырья, материалов, энергии, топлива, что дает возможность свести к минимуму или полностью ликвидировать отходы производства и осуществить мероприятия по оздоровлению окружающей среды. Особое значение при этом приобретет совершенствование технологий добывающих отраслей промышленности с целью повышения эффективности извлечения полезных ископаемых, их обогащения и переработки, а главное – устранения вредных последствий эксплуатации недр для окружающей среды, обеспечения комплексности использования полезных ископаемых в народном хозяйстве.

Несомненно, должны получить серьезное развитие биотехнологии, базирующиеся на понимании механизмов жизненных процессов, а также технологии, основанные на новых физических принципах, начало которым уже положено. И здесь эфиродинамические представления могут оказаться более, чем полезны [5]. На этом направлении открываются новые возможности по созданию принципиально новых технологий по получению новых материалов и способов их обработки. Например, представление о механизме катализа, основанного на взаимодействии потоков эфира на поверхностях молекул атомов и атомных ядер, открывает пути алгоритмического поиска катализаторов для химических и ядерных реакций. Открываются перспективы по созданию технологий на основе использования новых видов силовых полей, например, торсионных, геопатогенных, по освоению пирамидальных эффектов и ряда других.

Для реализации поставленных целей важнейшее значение приобретает понимание внутреннего механизма всех процессов, которые могут использоваться технологами, в этом неоценимую помощь может оказать направление эфиродинамики. Следует подчеркнуть, что принципиального ограничения для повышения эффективности производства с помощью новых технологий не существует и, как отметил еще великий ботаник К.А.Тимирязев, Земля способна накормить всех людей, сколько бы их ни было. Но нужно не забывать, что потребительская идеология сама по себе беспрестанно требовательна и разорительна, способна разрушить все, и поэтому бездумное расширение технологий с целью удовлетворения безудерж-

ного потребительства может оказаться смертельно опасным для человечества. Отсюда необходимость появления в будущем идеологизированного заказчика потребления, который на научной и системной основе определял бы необходимость создания тех или иных предметов потребления в необходимом количестве, а уже на этой основе и создавались бы необходимые технологии.

В настоящее время в связи с истощением рентабельных запасов энергоносителей – нефти, газа и каменного угля, а также рентабельных запасов сырья обострились противоречия между странами. Империалистические страны, в первую очередь США, присваивают себе право на использование оставшихся мировых запасов, и готовы, в случае необходимости, отбирать их силой. Никак не оправдывая подобных стремлений, следует классифицировать их, кроме всего прочего, как **технологический консерватизм**.

Уже существуют технологии, способные решить многие накопившиеся проблемы, но они не используются в силу того, что дадут массовый дешевый продукт и тем самым снизят прибыли, а это невыгодно капиталистам. В связи с этим и работа над многими принципиальными направлениями заторможена. Так, например, не ведутся работы в области получения энергии из эфира, хотя установлено, что энергосодержание эфира (в официальной науке – «физического вакуума») составляет 10^{36} - 10^{37} Дж/м³, в то время как все человечество потребляет 10^{20} Дж/год. Но все подобные исследования требуют больших начальных вложений, отдача которых в виде прибыли может происходить только через многие годы. А это значит, что при капиталистических производственных отношениях, требующих быстрой отдачи прибыли, никто этим заниматься реально не будет.

Это еще раз подчеркивает, что существующие капиталистические производственные отношения безнадежно устарели и являются не только тормозом в развитии человечества, но и представляют собой прямую угрозу для его существования.

1.5. Роль техники в общественном производстве

Технологии реализуются с помощью **техники** – совокупности орудий производства, т. е. средств создаваемых для осуществления процессов производства, а также обслуживания не производственных потребностей общества. Техника является неотъемлемым звеном

технологий. В технике материализованы знания и опыт, накопленные человечеством в ходе развития общественного производства.

Основное назначение техники – частичная или полная замена производственной деятельности человека с целью облегчения труда и повышения его производительности. Техника прошла длительный путь от простейших орудий труда типа кирки и лопаты до современных станков, поточных линий и транспортных средств. Но на всех этапах ее задачей было облегчение труда человека сначала физического, а затем и умственного, повышение производительности труда, улучшение качества изделий и снижение производственных затрат на единицу продукции.

Понятие «*техника*» (орудия производства) является одним из самых древних и широко распространенным сегодня. До недавнего времени оно применялось для обозначения некоторой неопределенной деятельности или некоторой совокупности материальных образований. Содержание понятия техники исторически трансформировалось, отражая развитие способов производства и средств труда. Первоначальное значение слова – искусство, мастерство – обозначает саму деятельность, ее качественный уровень. Затем понятие техники стало отражать определенный способ изготовления или обработки. В ремесленном производстве индивидуальное производство сменяется совокупностью приемов и методов, передаваемых из поколения в поколение. И, наконец, понятие «техника» переносится на изготавливаемые материальные объекты. Это происходит в период развития машинного производства, и техникой называются различные приспособления, обслуживающие производство, а также некоторые продукты такого производства.

В энциклопедическом словаре понятие «техника» определяется в значениях «...совокупность средств, создаваемых для осуществления процессов производства и обслуживания непроизводственных потребностей общества». Там же определяется ее основное назначение «полная или частичная замена производственных функций человека с целью облегчения труда и повышения его производительности» Именно в этом значении понятие «техника» будет использоваться далее.

Техника применяется для воздействия на предметы труда при создании материальных и культурных ценностей; для получения и преобразования энергии; исследования законов развития природы и общества; передвижения и связи; сбора, хранения и переработки информации; обслуживания быта; управления обществом; обеспечения обороноспособности и ведения войны.

Техника позволяет на основе познания законов природы повысить эффективность трудовых усилий человека, расширить его возможности в процессе целесообразной трудовой деятельности; с ее помощью рационально (комплексно) используют природные ресурсы, осваивают недра Земли, Мировой океан, воздушное и космическое пространства.

По мере развития производства и создания новых орудий труда техника освобождает человека от выполнения различных производственных функций, связанных как с физическим, так и с умственным трудом, обеспечивает значительный рост производительности труда и высокое качество работы при сохранении однородности, точности и постоянства параметров выпускаемой продукции.

По функциональному назначению различают технику производственную, в том числе энергетическую, и непроизводственную – бытовую, научных исследований, образования и культуры, военную, медицинскую и др.

По масштабам применения основную часть технических средств составляет **производственная техника**: машины, механизмы, инструменты, аппаратура управления машинами и технологическими процессами, производственные здания и сооружения, дороги, мосты, каналы, средства транспорта, коммуникации, связи и т.д.

Наиболее активная часть производственной техники – **машины**, в составе которых можно выделить несколько групп: **технологические** машины – металлообрабатывающие, строительные, горные, металлургические, сельскохозяйственные, текстильные, пищевые, бумагоделательные и др.; **транспортные** машины – автомобили, тепловозы, электровозы, самолеты, теплоходы и др.; **транспортирующие** машины – конвейеры, элеваторы, краны, подъемники и др.; **контрольно-управляющие и вычислительные** машины; **энергетические** машины – электрические, двигатели внутреннего сгорания, турбины и т. д. Среди технических средств современного производства важнейшая роль принадлежит энергетической технике, служащей для получения и преобразования энергии.

В составе **непроизводственной техники** основную роль выполняют средства коммунальной и бытовой техники (коммунальные машины, стиральные и кухонные машины, холодильники, пылесосы, телевизоры, магнитофоны и т.д.); техники передвижения, техники образования и культуры. Особую группу технических средств составляет военная

техника, предназначенная для оснащения вооруженных сил наступательным и оборонительным оружием.

Техника прошла исторически длительный путь развития – от примитивных орудий первобытного человека до сложнейших автоматических устройств современной промышленности. Особенно важную роль в развитии общественного производства сыграли так называемые рабочие машины, выполняющие определенные технологические и транспортные функции. Изобретение прядильных рабочих машин и создание универсальной паровой машины дали толчок промышленному перевороту конца 18 – начала 19 веков, ознаменовавшему переход от мануфактурного способа производства к машинному. Усовершенствованная паровая машина могла приводить в движение не одну, а целый ряд рабочих машин. Это явилось предпосылкой создания передаточных механизмов, образовавших во многих случаях широко разветвленную механическую систему. Характеризуя эволюцию механических средств труда (орудий и машин), являющихся важнейшей составной частью техники, К.Маркс дал следующую схему их развития:

«Простые орудия, накопление орудий, сложные орудия; приведение в действие сложного орудия одним двигателем – руками человека, приведение этих инструментов в действие силами природы; машина; система машин, имеющая один двигатель; система машин, имеющая автоматически действующий двигатель, – вот ход развития машин» [8, с. 156].

Развитие крупной промышленности стало возможным благодаря тому, что она овладела наиболее характерным для нее средством производства – самой машиной. Начав производство «машин машинами» крупная капиталистическая промышленность создала тем самым адекватный ей технический базис.

В течение 19-20 вв. технические средства труда проникли не только в отдельные звенья производственных процессов, но и последовательно завоевали все отрасли промышленности, потеснив ручной труд, а в ряде случаев и вытеснив его полностью. С развитием крупной промышленности увеличивались мощности и производительность технических средств. С развитием во второй половине 20 в. вычислительной техники из производства стал вытесняться и умственный труд человека.

Основные показатели техники – производительность, надежность, экономичность эксплуатации.

Производительность техники определяется количеством продукции, изготовляемой (либо обрабатываемой, перевозимой и т.п.) в

единицу времени. **Надежность техники** (технических средств) характеризуется ее способностью без отказов давать продукцию заданного качества и в требуемом количестве или отвечать своему технологическому назначению в течение обусловленного периода времени. **Экономичность эксплуатации** техники определяется расходом потребляемых сырья, материалов, топлива, энергии, а также стоимостью вспомогательных устройств, необходимых для создания нормальных условий использования техники.

Производительность, надежность и экономичность эксплуатации техники могут быть повышены ее модернизацией – усовершенствованием ее составляющих, а также автоматизацией рабочих процессов.

Помимо обеспечения заданных производственных показателей техника должна удовлетворять требованиям **эргономики** – согласованности функционирования техники с физиологическими и нервно-психическими особенностями человека, **технической эстетики** и **экологии**, связанной с сохранением и улучшением природной среды и предотвращением нежелательных и вредных последствий для природы и человека.

Современный период развития техники характеризуется все большим ускорением темпов модернизации, созданием обширной номенклатуры новых машин, механизмов, аппаратуры, приборов, максимальной стандартизацией и унификацией изделий, интенсивным развитием электроники, радиотехники, химической технологии, авиационной и космической техники, ядерной техники, систем автоматического управления и регулирования различными объектами.

Современная техника все более приобретает форму комплексных систем, состоящих из многих звеньев, взаимодействующих друг с другом и совместно решающих общую задачу. Примером являются пилотажно-навигационные комплексы летательных аппаратов, состоящие из десятков информационных систем – датчиков (измерителей) первичных параметров, вычислителей, исполнительных устройств, индикаторов и сигнализаторов, пультов управления, которые обмениваются между собой большим объемом информации. Подобные комплексы аппаратуры установлены на многих подвижных объектах самого различного назначения. В промышленности все более применяются разнообразные поточные линии, состоящие также из многих звеньев. Часто устройства, участвующие в решении общей задачи, находятся друг от друга на значительных расстояниях.

Несмотря на различие применений и разнообразие задач, стоящих перед такими комплексами, в подходах к их реализации оказывается много общих черт. Это позволяет попытаться найти общие решения тех однородных проблем, с которыми сталкиваются многочисленные разработчики технических систем, выбрать из них наиболее оптимальные и рекомендовать эти решения для широкого применения, сократив тем самым ненужные дублирования разработок технических проблем.

В современных сложных технических системах необходимо разделять функциональную (информационную) сторону задачи и аппаратную. Первая все более ложится на плечи цифровой техники, обладающей большими вычислительными возможностями, высоким быстродействием и значительными объемами памяти. Это создает у многих разработчиков впечатление всемогущества этой техники, что, безусловно, неверно.

1.6. Проблема взаимоотношений человека и техники

Взаимоотношения человека и техники всегда имели социальную составляющую. Техника как наиболее подвижная часть производительных сил на всех этапах развития общества существенно определяла роль человека в обществе. Человек выступал с одной стороны как творец и организатор техники, а с другой стороны как ее дополнение и даже как ее раб, когда техника заставляла его трудиться сверх его физических возможностей, например, при работе на конвейере.

Темпы развития технического прогресса всегда были обусловлены социально-экономическими факторами, соответствием производственных отношений уровню производительных сил. В истории есть немало примеров того, как производственные отношения, вступив в противоречие с развитием производительных сил, тормозили разработку и внедрение новых изобретений и открытий. Известным примером являются восстания лионских ткачей (1831, 1834), ломавших прядильные станки, обрекающие их на низкую заработную плату и на безработицу.

Наоборот, когда производственные отношения, соответствующие достигнутому уровню развития производительных сил создавали благоприятные условия и стимулы для быстрого развития новой техники. Примером являются первые пятилетки Советской власти, строящей социализм.

История показывает, что после очередной социальной революции на первых порах в новой общественно-экономической формации производительные силы и в их составе техника испытывали мощный подъем, но после того, как формация стабилизировалась и намечалось ее загнивание, производительные силы прекращали развитие, и то же происходило и в технике. А если происходила контрреволюция, то производительные силы разваливались, и тут уж ни о каком развитии техники и технологий говорить не приходилось.

С другой стороны, коренные изменения в технике всегда вызывали цепную реакцию изменений в экономических и социальных институтах общества. Так, машинное производство на ранней стадии развития капитализма создало условия для невиданного роста производительности труда, для замены мелкого кустарного производства крупным. Но со временем оказалось, что рост производительности труда выгоден не основной массе трудящихся, а владельцам предприятий, и это вызвало в капиталистическом обществе обострение и углубление социальных противоречий. То же произошло и с социализмом. Энтузиазм первых пятилеток и колоссальное развитие техники, связанное с всенародной инициативой при построении социализма, сменился равнодушием и апатией полвека спустя. Нарастающие социальные противоречия привели к сокращению темпов роста производительных сил, включая технику. Усовершенствования не производились, прогрессивные технологии не внедрялись. Кризис обострился, результат теперь очевиден.

Нет сомнения, что необходимость выхода из кризиса требует первоочередного пересмотра производственных отношений, дальнейшего обобществления и системности производства и его направленности на удовлетворение потребностей всех членов общества. Но если эта проблема будет решена, то возникнет новая проблема – что должен делать человек в условиях роста автоматизации, даже если повышение производительности труда окажется направленным на его благо.

Развитие техники и в особенности ее автоматизация вновь ставят вопрос о взаимодействии человека и техники, о том, какую роль общественное производство должно отводить технике, а какую людям, совместно с техническими системами участвующим в технологическом процессе.

На протяжении всей истории развития человеческого общества техника вытесняла человека из производственного процесса, постепенно замещая его сначала в физическом труде, а затем и в умственном,

существенно повышая при этом производительность производства. Однако для человека всегда оставалось поле деятельности по отношению к технике, по крайней мере, в двух направлениях:

- в направлении создания самой техники (изобретение, проектирование, изготовление, отладка);
- в управлении созданной техникой, включая контроль за качеством ее работы и за ее состоянием.

Однако следует констатировать, что и из этих традиционных областей деятельности человек также вытесняется техникой.

Что такое изобретательство? Это творческий процесс, приводящий к новому решению задачи в любой области техники, культуры, здравоохранения или обороны, дающий положительный эффект. В технологии и в технике это комбинаторика известных законов естествознания, в частности, физики применительно к поставленной технологической или технической задаче. В значительной степени изобретательство может приобрести системный характер, а, следовательно, автоматизировано. В этом направлении были проведены серьезные работы, например, известным исследователем теории изобретательства Альтшулером, разработавшим АРИЗ – алгоритм рационализации и изобретения [9]. Область автоматизации изобретательства, несомненно, может быть расширена, если это будет востребовано обществом.

Проектирование, включая расчеты, в значительной степени механизировано уже сейчас, и уже созданы многочисленные САПР – системы автоматического проектирования различных систем, справляющиеся во многих областях с задачами значительно лучше, чем это сделал бы человек.

Изготовление сложных систем во многих направлениях давно автоматизировано (уже в XIX столетии машины создавались машинами, а теперь машины, в том числе и автоматы, могут создаваться автоматами), хотя это сделано не во всех областях, нет сомнения в том, что принципиальных препятствий на этом пути нет. Это же касается и сборки, это же касается и отладки.

Что касается управления сложными системами, контроля за качеством их работы и за работоспособностью самих систем, то в авиации, например, давно известен такой неприятный феномен, как так называемый «человеческий фактор», когда с неожиданно возникшими непредвиденными ситуациями экипажи не справляются и именно по вине экипажа происходят различные неприятности, включая

катастрофы. Далеко не всегда накопленный опыт помогает экипажу выйти из затруднительного положения, автоматика это делает лучше. Вмешательство экипажа в работу автоматики как раз и приводит к негативным последствиям. А, кроме того, опыт одних экипажей плохо усваивается другими экипажами, что отличает человека от автоматики, в которой накопленный опыт можно тиражировать. Но то же происходит и на других видах транспорта и во всех производственных технологиях.

Так что же останется в будущем на долю человека?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, сначала нужно уяснить, кто для кого существует – человек для техники или техника для человека. Если человек существует для техники, то можно утверждать, что по мере своего развития техника будет вытеснять человека сначала из рутинного физического труда, затем вообще из всякого физического труда, и параллельно, хотя и с некоторым отставанием, неизбежно вытеснение человека из рутинного умственного труда, а затем и из творческого умственного труда. Человек для техники скоро окажется не нужным.

Однако если не человек существует для техники, а техника существует для человека, то ситуация меняется. Труд создал человека, и отсутствие труда неизбежно приведет к деградации человека сначала как личности, а затем и как биологического вида. Разумеется, и труд физический, и труд умственный не должны быть столь изнурительными, чтобы подрывать здоровье человека, как это было во всех досоциалистических общественно-экономических формациях. Однако труд необходим. И это значит, что нельзя даже в перспективе стремиться к всеобщей автоматизации всех процессов.

А, кроме того, не нужно забывать, что никакая автоматика не может справиться с поиском новых физических законов, с постановкой качественно новых экспериментов, с анализом непредвиденных обстоятельств, с определением новых направлений исследований. Но для того чтобы всем этим заниматься, человек должен обладать широтой взгляда, не замыкаться в пределах узкой специальности и пробовать себя в разных направлениях.

Таким образом, взаимоотношения человека и техники зависят от существующих в обществе производственных отношений, прежде всего от цели, которой подчинено производство, а также от отношения самого человека к природе, к обществу и к себе самому.

1.7. Соотношение естественнонаучных, технологических и социальных революций

Как известно, **производительные силы** есть система субъективных (человек) и вещественных элементов, осуществляющих «обмен веществ» между человеком и природой в процессе общественного производства. Такое определение производительных сил является общепринятым, но фактически оно охватывает лишь человека как участника производства, средства производства и исходные материалы (сырье), перерабатываемое в процессе производства в предметы потребления. Но оно не охватывает ни предметов потребления, ради которых создано производство, ни технологий, ни естествознания. На самом деле эти три элемента существенным образом определяют уровень производства.

Так, необходимость использования тех или иных предметов потребления определяет выбор средств производства и соответствующих технологий, создание которых и включение их в производство возможно лишь на основе добытых знаний, т.е. на основе естествознания. Сами же предметы потребления вовсе не всегда являются необходимыми для существования общества. Они могут быть и навязаны для массового потребления, они могут являться предметами роскоши и престижа, наконец, они могут быть вредны для здоровья людей. Потребление само по себе может стать целью существования, что усиленно навязывается обществу всей системой развившегося капиталистического производства. Ориентированное на получение максимальной прибыли, капиталистическое производство сплошь и рядом действует не на пользу, а во вред и человеку, и природе. Таким образом, само производство оказывается связанным со всем укладом общества, включая не только базисные, но и надстроечные категории.

Состав и функции средств производства определяются номенклатурой производимых предметов потребления, но сама возможность создания того или иного производства определяется возможностью создания соответствующих технологий, что, в свою очередь, зависит от того, насколько продвинулась наука в знаниях о природе, т.е. в естествознании.

На состояние общественного производства непосредственное влияние оказывают также и производственные отношения между всеми, занятыми в общественном производстве, включая и потребление.

Производственные отношения есть совокупность материальных экономических отношений между людьми в процессе общественного производства и движения общественного продукта от производства до потребления.

«В производстве люди вступают в отношения не только к природе. Они не могут производить, не соединяясь известным образом для совместной деятельности и для взаимного обмена своей деятельностью. Чтобы производить, люди вступают в определенные связи и отношения, и только в рамках этих общественных связей и отношений существует их отношение к природе, имеет место производство» [10, с. 441].

В процессе труда складываются отношения, обусловленные потребностями технологии и организации производства, например, отношения между организаторами и исполнителями, между рабочими различных специальностей, связанные с технологическим разделением труда внутри производственного коллектива или в масштабах общества. Это – производственно-технические отношения. Но в производстве, кроме этих отношений, между людьми складываются также экономические отношения. Они выражают отношения ко всем элементам производства через категорию собственности.

Собственность есть исторически развивающиеся общественные отношения людей по отношению к тем или иным предметам или процедурам. Будучи законодательно урегулированы государством, собственники приобретают **юридическое** право собственности – совокупность правовых норм, закрепляющих состояние присвоенности (принадлежности) вещей – средств производства и результатов труда за отдельными лицами или коллективами и основанные на этом правомочия владения, пользования и распоряжения ими указанными вещами.

Как уже упоминалось, всех, имеющих отношение к производству, целесообразно разделить на группы

- собственников элементов производства;
- организаторов производства и управляющих производством;
- исполнителей.

С точки зрения присвоения результатов общественного производства все три группы лиц являются владельцами общественного производства,

но результаты производства распределяются среди них неравномерно, фактическим собственником является чаще всего формальный (юридический) собственник, который и присваивает себе большую часть продукта общественного производства. По мере развития производительных сил, развития производства и роста производительности эта доля становится все больше в относительном исчислении, а относительная доля непосредственных исполнителей все меньше. Это вызывает социальную напряженность, приводит к потере интереса в результатах общественного производства, производительность начинает снижаться, и, в конце концов, возникает кризис. В этом основа всех социальных конфликтов.

Производственные отношения начинают тормозить производительные силы. Прогрессивные технологии, способные накормить и обустроить всех людей, перестают использоваться. Для удержания собственности все более используются силовые политические приемы. В обществе нарастают противоречия, возникает социальная напряженность, противоречие обостряется, и это кончается взрывом – социальной революцией, приводящей к новой общественно-экономической формации, в которой формы собственности на элементы общественного производства уже иные, более обобществленные. Противоречия на время сглаживаются, новая общественно-экономическая формация снимает основное противоречие предыдущей формации, жизнь налаживается, производительные силы получают больший простор для развития. Но все это до обострения противоречия уже новой формации. А затем все начинается сначала.

Несмотря на кажущуюся очевидность того, что развитие естествознания, технологий и социальные катаклизмы не связаны друг с другом, на самом деле их взаимосвязь существенна. В самом деле, накопление знаний о природе позволяет создать новые технологии, которые, в свою очередь, позволяют создать новые, все более производительные средства производства. Средства производства обеспечивают создание предметов потребления, и тем самым должны способствовать росту благополучия населения. Однако не полностью обобществленная собственность на элементы производства приводит к неравномерному распределению накапливаемых богатств: значительная доля того, что создано общим трудом организаторов и исполнителей, присваивается собственниками. Получается, что не только исполнители все меньше заинтересованы в развитии производства, но и его организаторы.

Возникает социальная напряженность, которая разрешается через социальную революцию, т. е. через перераспределение собственности на средства производства. Таким образом, накопление знаний о природе через развитие производства способствует нарастанию противоречий в обществе и приводит общество к социальному кризису, разрешаемому через очередную социальную революцию – переход к следующей общественно-экономической формации.

Социальная революция есть относительно быстрый переход от формы собственности на элементы производства, соответствующей предыдущей общественно-экономической формации к форме собственности на элементы производства, соответствующей последующей, более прогрессивной формации. Критерием прогрессивности выступает рост степени обобществления собственности на элементы производства. Обратный переход есть контрреволюция.

Таким же образом может быть сформулировано представление о научной революции, которой является относительно быстрый переход к новым представлениям об устройстве природы, приближающий к углубленному пониманию природных структур и процессов. Переход к абстракциям, удаляющим от понимания природных процессов, есть научная контрреволюция. Та или иная форма перехода зависит от того, в чьих руках находится фактическая власть в науке, какие научные школы господствуют.

В технологиях критериями прогрессивности могут выступать повышение производительности, снижение удельных затрат сырья, энергии и человеческого труда и минимизация ущерба, наносимого природе и обществу.

Развивающееся производство требует все больше исходного сырья, энергии, нехватка которых создает сырьевые и энергетические проблемы, дает все больше отходов, что приводит к экологическим проблемам, сначала малозаметным, но все усиливающимся вплоть до катастрофических размеров.

Демографические проблемы связаны с ростом народонаселения Земли, которое является следствием низкого жизненного уровня подавляющего большинства (порядка 80%) населения земного шара, что является следствием неравномерного распределения предметов потребления. Само же неравномерное распределение предметов потребления связано с тем, что производство остается капиталистическим, а средством распределения являются товарно-денежные отношения,

которые и создают неравномерность распределения. Таким образом, все известные сегодня глобальные проблемы – сырьевая, энергетическая, экологическая, демографическая и социальная являются следствием расширяющегося капиталистического способа производства.

В приведенной ниже таблице 1.1 показана корреляция между революциями в естествознании, наращиванием знаний, видом используемой энергии как технологической основы производства и типом общественно-экономической формации.

Таблица 1.1

<i>Формация, строй</i>	<i>Вид энергии</i>	<i>Уровень углубления в материю</i>	<i>Что дал переход</i>
<i>Рабовладельческая</i>	<i>Мускульная сила человека и животных</i>	<i>Природа в целом</i>	
		<i>Субстанции</i>	<i>Философию</i>
<i>Феодальная</i>	<i>Сила потоков ветра и воды</i>	<i>Вещество</i>	<i>Фармакологию</i>
<i>Капиталистическая</i>	<i>Ископаемые энергоносители - уголь, нефть, газ</i>	<i>Молекула</i>	<i>Химию</i>
		<i>Атом</i>	<i>Электромагнетизм</i>
<i>Социалистическая или гос. капиталистическая</i>	<i>Энергия атома</i>	<i>Элементарные частицы</i>	<i>Атомную энергию, полупроводники, выч. Технику</i>
<i>Коммунистический строй</i>	<i>Энергия эфира</i>	<i>Амер – элемент эфира</i>	<i>Экологически чистые технологии</i>

Революции в естествознании связаны с переходом науки на все более глубокие уровни организации материи. Каждый такой переход давал человечеству принципиально новые знания. Одновременно возникала потребность в освоении новых видов сырья и новых видов энергии. Их освоение давало мощный толчок развитию производительных сил, но входило в противоречие с существующими в то время производственными отношениями – формой собственности на элементы производства. **Фактически новые знания о природе предопределяли весь ход развития человечества.**

Для текущего периода развития человечества все изложенные выше положения сохраняются. Переход от капитализма к социализму в России вызвал подъем экономики, но обратный контрреволюционный переход созданную за годы Советской власти системную экономику разрушил, а новую не создал. Во всех так называемых капиталистических странах давно установлен ряд положений социалистического типа, но сохраняющийся в целом капиталистический способ производства по-прежнему порождает все виды кризисов, о которых сказано выше. Эти проблемы неизбежно будут обостряться, пока, наконец, не приведут к повсеместному установлению сначала социалистических, а затем и коммунистических производственных отношений.

Таким образом, развитие производительных сил практически невозможно без установления соответствующих производственных отношений. Однако само развитие науки и технологий приводит к обострению социальной напряженности и, как следствие, к социальной революции. И хотя в настоящее время многие направления и науки, и техники оказываются невостребованными, над их развитием можно и нужно работать, так как именно они готовят социальную революцию и переход к общественно-экономической формации, в которой они будут востребованы. Заделы нужно создавать сейчас.

Выводы

1. Для создания предметов потребления, без которых люди не могут существовать, необходимо общественное производство. Общественное производство включает в себя последовательную цепь элементов – природа – естествознание (знания об устройстве природы) – технологии – средства производства (технику) – предметы потребления – человека – его жизнь, его рабочая сила и его прибавочный труд. Каждый элемент производства определяет требования к предыдущему элементу и обеспечивает существование последующего элемента.

2. Уровень производительных сил существенно определяется состоянием естествознания. На определенном этапе развития производительные силы входят в противоречие с установившимися производственными отношениями, и это приводит к кризису существующую в тот момент общественно-экономическую формацию. Таким образом, социальное развитие общества изначально определяется

состоянием и развитием науки. При этом отставание обществоведческой науки может не только затормозить развитие общества, но и на некоторых этапах обратить его вспять, что и произошло в 80-х годах XX столетия. Поэтому необходимо обратить особое внимание на развитие науки, как естествознания, так и общественной, не дожидаясь восстановления благоприятных условий.

При этом следует учитывать, что накопленные естествознанием знания о природе сохраняются, если они реализованы в действующих технологиях, знания, не закрепленные технологиями, неизбежно утрачиваются.

3. Сегодня перед естествознанием стоят четыре задачи:

1) возрождение материалистической философии и создание на ее основе материалистической методологии естествознания;

2) ревизию всего достигнутого естествознанием, включая критический пересмотр так называемых «хорошо проверенных» законов природы и опытных данных;

3) выявление внутренних механизмов основных физических явлений;

4) определение новых направлений исследований.

Решение этих задач позволит по-иному подойти к развитию общественного производства на основе новых технологий.

4. Все технологии, независимо от конкретного применения и области использования имеют некоторые общие черты:

– все технологии ставят своей целью производство тех или иных предметов потребления или промежуточных продуктов для последующего производства предметов потребления (знания, полученные в процессе применения информационных технологий, можно рассматривать как информационные предметы потребления);

– все технологии базируются на изученных природных закономерностях и являются практическим приложением добытых естествознанием знаний о природе;

– развитие технологий заключается в переходе от освоенных технологий к новым, обеспечивающим увеличение эффективности производства или качества изделий и снижение производственных затрат;

– в технологиях отражаются общественные производственные отношения в зависимости от цели производства – получения максимальной прибыли (при капитализме) или получения максимальной пользы для людей (при социализме и коммунизме).

5. Для реализации любой технологии обязательно использовано энергии и сырья, поэтому энергетические и сырьевые возможности существенным образом определяют возможность использования тех или иных технологий; появление новых способов получения энергии и сырья всегда стимулировали создание новых технологий.

Появление новых технологий в XX столетии, несмотря на их высокую эффективность не сняли сырьевой и энергетической проблем и не только не приблизили, но и обострили экологические и социальные проблемы.

6. Кардинальным решением проблемы экологии, сырья и энергетики является переход к безотходным и замкнутым сырьесберегающим технологиям. Кардинальным решением энергетической проблемы является развитие энергетических установок типа тепловых насосов, из которых наиболее перспективными следует считать эфиродинамические тепловые насосы, основанные на использовании потенциальной энергии эфира.

7. Развитие техники и в особенности ее автоматизация вновь ставят вопрос о взаимодействии человека и техники, о том, какую роль общественное производство должно отводить технике, а какую людям, совместно с техническими системами участвующим в технологическом процессе.

8. Естественнаучные, технологические и социальные революции жестко связаны друг с другом: накопление знаний о природе готовит технологическую революцию – переход к новым прогрессивным технологиям, внедрение новых технологий в общественное производство есть новый этап в развитии производительных сил, развитие производительных сил при устаревших производственных отношениях готовит социальную революцию – переход к новой прогрессивной общественно-экономической формации.

9. На данном этапе развития общества внедрение новых технологий невозможно без восстановления плановой экономики и отказа от капиталистического способа производства, который препятствует внедрению новых технологий в связи с угрозой потери прибыли производителями предметов потребления.

Глава 2. Организация функционирования технических комплексов

2.1. Управление как основная задача функционирования технических комплексов

Функционирование технических комплексов есть выполнение ими заданных функций либо по исследованию тех или иных физических явлений, либо по управлению технологическими процессами. В последнем случае необходимой частью функционирования является использование физических явлений, которые являются неременной частью любого технологического процесса. Таким образом, управление более полно охватывает процессы функционирования, присущие сложным техническим системам [1].

Применительно к техническим комплексам возможны два основных методологических подхода:

1. если изучается уже существующая система, то первичным является изучение ее структуры;

2. если система создается вновь, то вначале задается ее функционирование, и под это функционирование строится структура.

Возможен и третий путь: система имеется, но исследовать ее структуру не представляется возможным. Тогда используется методология так называемого «черного ящика». Суть методологии заключается в том, что по функционированию системы, т. е. по ее поведению в тех или иных ситуациях или по реакциям системы на известные внешние воздействия делается попытка определить ее структуру (устройство). Это нужно для того, чтобы прогнозировать поведение системы в других ситуациях или для того, чтобы найти пути воспроизведения подобной же системы.

Всякая техническая система используется в каком-либо технологическом процессе либо для стабилизации параметров, либо для программного управления этим процессом [2]. Примером первого варианта является поддержание температуры в помещении с помощью кондиционера, примером второго – полет самолета по заданному маршруту.

В первом случае некоторым задатчиком температуры устанавливается требуемое значение температуры, которое затем сравнивается с фактической температурой помещения, измеренной с помощью датчика температуры, и в зависимости от знака разности требуемой температуры и фактической либо включается обогрев, либо

холодильник, что позволяет охлаждать или, наоборот, нагревать поступающий в помещение воздух, приближая температуру помещения к требуемому значению.

Во втором случае в системе управления полетом имеется программа полета, формирующая целевую функцию, т.е. то значение координат места и высоты, в которых самолет должен находиться в каждый момент времени (рис. 2.1).

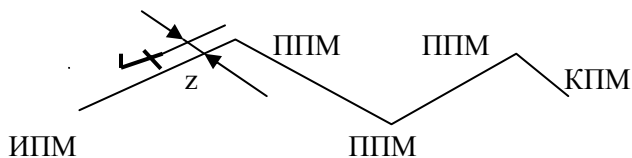


Рис. 2.1. Положение самолета относительно маршрута – целевой функции полета: ИПМ – исходный пункт маршрута; ППМ – промежуточные пункты маршрута; КПМ – конечный пункт маршрута (цель полета); z – отклонение самолета от маршрута

С помощью системы датчиков физических величин – курсового угла, скорости, высоты и т. п. вычисляется фактическое местоположение, сравнивается с тем, которое требуется иметь в данный момент в соответствии с целевой функцией и эта разность является управляющим воздействием для изменения курса, скорости и высоты. Во всех случаях, таким образом, необходимо знать требуемое значение физических параметров, их фактическое состояние, определять их разность и осуществлять управляющее воздействие на объект управления с тем, чтобы привести фактическое состояние в соответствие с требуемым.

В обоих этих случаях системы замыкаются через объект управления, в первом случае – через помещение, в котором нужно поддерживать температуру, во втором случае – через самолет и его местоположение. В этих случаях в системе осуществляется отрицательная обратная связь, уменьшающая управляющее воздействие на систему по мере приближения фактического значения выходной функции к требуемому значению.

Существует и третья возможность, при которой система разомкнута и обратной связи в ней нет. Такие системы, используемые для исследований физических процессов, можно рассматривать как частный случай тех же технологических систем, но без обратной связи.

Таким образом, **функционирование сложных систем имеет целью управление определенным технологическим процессом.**

Управление есть функция организованной системы, обеспечивающая сохранение структуры системы, поддержание режима деятельности, реализацию программы и цели деятельности.

Технологические системы имеют ряд общих свойств:

1) все они имеют структуру, в которой управляющим воздействием является разность между требуемым значением целевой функции и ее текущим значением;

2) приводимые системой управления в действие мощности многократно превышают мощность собственно сигнала управления.

В каждой технологической системе присутствует **исполнительное звено**, предназначенное для исполнения определенной технологии по изменению значения выходной физической величины. Это звено и является объектом управления, которое управляется с помощью **органов управления**, получая от них соответствующие сигналы. Органы управления получают сигналы и команды от **системы управления**, выдающей органам управления объектом необходимые сигналы и команды, для которой управляющим сигналом является **разность между требуемым значением физической величины и ее реальным значением**, а также **система контроля**, которая следит за правильностью режима работы всей технологической системы.

Типовая схема сложной, управляющей технологическим процессом, приведена на рис. 2.2.

Вся система управления принципиально состоит из двух структур: **структуры управления** и **структуры системы контроля за качеством управления**.

Задачей структуры собственно управления являются действия по приведению реального значения некоторой физической величины к ее заданному значению. Это заданное значение является целью управления, ради которой существует вся система управления. Управляющим воздействием является разность между текущим заданным значением физической величины – значением ее целевой функции и реальным значением этой физической величины. Эта

разность подается на вход системы управления, которая через органы управления влияет на объект управления. Объект управления изменяет значение реальной физической величины до значения требуемого в данный момент времени ее значения, определяемого целевой функцией.

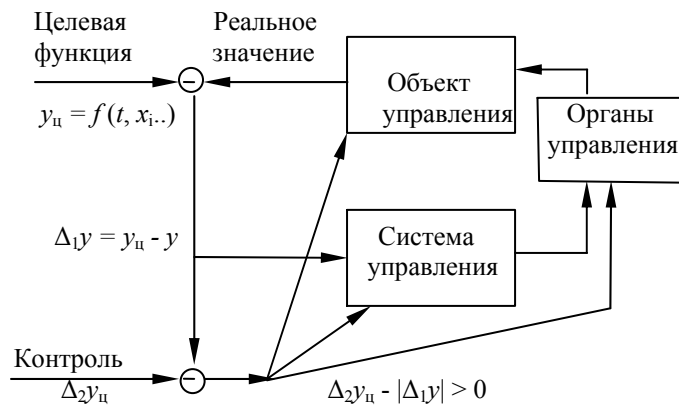


Рис. 2.2. Типовая схема системы, управляющей технологическим процессом

Функциональной задачей такой системы является выполнение ее исполнительными органами таких команд, которые обеспечат соответствие технологического процесса заданному режиму. Для того чтобы определить реальное состояние процесса, его параметры измеряются датчиками – преобразователями физических сигналов, характеризующих процесс, в вид, удобный для восприятия вычислительным устройством, которое выявляет разность между требуемыми значениями физических параметров, характеризующих процесс, и вырабатывает на этой основе управляющие воздействия исполнительным органам.

Таким образом, управление есть действие по реализации (уничтожению) первой разности отклонения от требуемого значения.

В статическом режиме по достижении заданного значения физической величины процесс управления прекращается и возобновляется лишь тогда, когда изменяется заданное значение физической

величины. В динамическом режиме, когда само заданное значение физической величины изменяется во времени, процесс управления осуществляется непрерывно (для технических систем) или дискретно (для административных систем).

Управление будет оптимальным, если динамические процессы во время управления или регулирования – управления по стабилизации системы в заданном режиме, не создадут динамической ошибки более допустимого значения, если весь динамический процесс пройдет в наименьшее время с ускорениями и замедлениями, значения которых также не превысят допустимых величин.

Управление должно сопровождаться контролем за качеством управления – сопоставлением ошибок управления с допустимым значением этих ошибок и принятием мер по недопущению повторения недопустимых значений ошибок.

Контроль за процессом управления осуществляется путем сравнения реальной разности между требуемым значением параметра и его текущим значением и допустимым значением этой разности. Таким образом, процесс контроля – это процесс выявления значения второй разности. При этом допустимое значение отклонения может изменяться в процессе выполнения технологических операций, и оно само подлежит программированию как вторичная целевая функция. Эта вторая разность может определяться тем же вычислителем, но может быть поручена и другому, независимому вычислителю.

Результатом контроля является либо невмешательство в основное функционирование комплекса, если процесс управления идет нормально и разностные значения параметров не превышают допустимых значений, либо выдача сигнала на то, что процесс нарушен, если эти разности превышают допустимое значение. В зависимости от конкретных условий процесс либо прекращается, либо принимаются какие-либо иные меры, вплоть до вывода отдельных звеньев из процесса, если именно их работа регулярно нарушает ход процесса.

Задачей структуры контроля за качеством управления является определение качества управления посредством оценки погрешностей управления. Погрешности управления имеются всегда в связи с инерционностью звеньев структуры системы управления, органов управления и самого объекта управления. Но эти погрешности могут быть допустимыми, т.е. находящиеся в пределах заранее известных допусков, а могут быть недопустимыми, если эти погрешности выходят

за пределы допусков. Поэтому оценка качества управления должна производиться исходя из знания величин допустимых ошибок и знания текущих значений ошибок всей системы управления по выходной величине – отличию реального текущего значения физической величины, вырабатываемой объектом, от требуемого значения целевой функции этой величины. Сам же критерий сравнения может определяться, исходя из конкретного назначения объекта и вырабатываемой им физической величины.

Если погрешности управления не выходят за рамки допустимой величины, тогда вмешательства системы контроля в процесс управления не требуется, но слежение за ходом управления необходимо, чтобы иметь возможность выявить недопустимые погрешности, если они все же появятся, или для определения тенденций возможности появления таких погрешностей для своевременного предотвращения нежелательных последствий.

В случае же выявления недопустимого превышения погрешностей управления над допустимыми, система контроля должна принимать меры к устранению такого положения в последующих действиях управляющей системы путем либо изменения коэффициентов влияния звеньев (в автоматических системах – коэффициентов усиления, коэффициентов обратных связей и т.п., в административных системах путем усиления или ослабления полномочий отдельных руководителей), либо путем структурных изменений – замены непригодных звеньев или перестройки самой структуры.

В технологической системе с установившейся структурой управление преследует две цели – сохранение устойчивости режима работы технологической системы и выполнение поставленной перед технологической системой целей. При этом, если достигнуто значение целевой функции, то остается только первая задача – обеспечение устойчивости режима. В этом случае управление как таковое может и отсутствовать, но сохраняется задача контроля за режимом работы, поскольку иначе оказывается неизвестным, сохраняется режим или не сохраняется.

Для оценки качества управления в любых областях, включая как технические, так и административные области управления различными объектами и видами деятельности, целесообразно воспользоваться теорией и опытом разработки технических систем автоматического

регулирования, поскольку сущность управления практически одинакова во всех системах.

Следует отметить, что по принципам управления создано множество руководств, в том числе и теория автоматического регулирования. Исходя из вышеприведенного определения, по проблеме контроля также должна быть создана соответствующая теория, объемом не меньшим, чем для теории автоматического регулирования. Однако до настоящего времени такой теории нет, и конечно, это положение в будущем должно быть исправлено.

2.2. Формирование целевой функции управления

Как показано выше, целью управления является обеспечение текущих значений параметров процесса значениям, требуемым в данный момент. Но сами требуемые значения параметров меняются во времени и от внешних причин, они являются некоторой функцией времени, других внешних параметров и состояния самой системы. Эта функция, являющаяся целью управления в каждый момент времени получила название целевой функции.

Целевая функция – есть функциональная зависимость физических величин, ставящая одни величины в функциональную зависимость от других величин и являющаяся целевой программой функционирования системы. Целевая функция содержит представление об общей цели как итоге деятельности, этапных целях как промежуточных задачах и текущих или местных целях, отражающих необходимое сочетание физических параметров при каждом их значении.

Чаще всего целевая функция отражает функцию значений физических параметров от времени. Так, для самолетовождения общей итоговой целью являются координаты места прибытия, этапными целями – координаты промежуточных пунктов маршрута, через которые должна пролегать траектория полета, а собственно целевой функцией является зависимость координат и высоты полета от времени: в каждый момент времени самолет должен находиться в требуемом месте, на требуемой высоте и перемещаться с требуемой скоростью. Таким образом, в общем случае целевая функция есть целевая программа функционирования системы или, иначе, необходимая программа ее действий.

Постановка цели функционирования всегда должна предшествовать самому функционированию: нельзя начинать функционирование, не имея цели и целевой функции.

В технологической системе с установившейся структурой управление преследует две цели – сохранение устойчивости режима работы технологической системы и выполнение поставленной перед технологической системой целей. При этом, если достигнуто значение целевой функции, то остается только первая задача – обеспечение устойчивости режима. В этом случае управление как таковое может и отсутствовать, но сохраняется задача контроля за режимом работы, поскольку иначе оказывается неизвестным, сохраняется режим или не сохраняется.

Для структуры контроля также нужна целевая функция, поскольку значения допустимых погрешностей управления могут меняться как во времени, так и в зависимости от других величин. Наиболее часто эти значения меняются в зависимости от текущих значений самих параметров, это так называемая мультипликативная заданная погрешность, величина которой пропорциональна текущему значению параметру. Если же значение допустимой погрешности на определенном участке диапазона изменения параметра не меняется, то такая погрешность получила название аддитивной. В большинстве случаев, оба эти вида погрешностей сочетаются. Обычно в некоторой начальной точке диапазона задается некоторое допустимое значение погрешности, а далее на нее накладывается мультипликативная составляющая.

Примером целевой функции контроля, сочетающей аддитивную и мультипликативную составляющие допустимой погрешности, являются значения допустимой погрешности измерения высоты полета самолета барометрическим высотомером (рис. 2.3). В соответствии с этой целевой функцией контроль допуск на погрешность регулирования высоты расширяется по мере набора высоты самолетом. Это связано с тем, что, с одной стороны, по мере увеличения высоты приращение давления на единицу высоты уменьшается, с другой стороны, расширяются возможности расширения допуска, поскольку на высоте полета главной задачей является проблема эшелонирования самолетов,



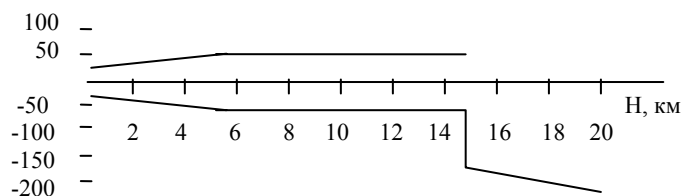


Рис. 2.3. Зависимость значения допустимой погрешности барометрического высотомера от значения высоты.

допустимая погрешность здесь может быть выше, чем допустимая погрешность измерения высоты при посадке.

2.3. Переходные процессы и оценка качества управления

Контроль за процессом управления осуществляется путем сравнения реальной разности между требуемым значением параметра и его текущим значением и допустимым значением этой разности. Таким образом, процесс контроля — это процесс выявления значения второй разности и сопоставление его с допустимым значением. При этом допустимое значение отклонения может изменяться в процессе выполнения технологических операций, и оно само подлежит программированию как целевая функция. Сама вторая разность может определяться тем же вычислителем, но может быть поручена и другому, независимому вычислителю (рис. 2.2).

Результатом контроля является либо невмешательство в основное функционирование комплекса, если процесс управления идет нормально и разностные значения параметров не превышают допустимых значений, либо выдача сигнала на то, что процесс нарушен, если эти разности превышают допустимое значение. В зависимости от конкретных условий процесс либо прекращается, либо принимаются какие-либо иные меры, вплоть до вывода отдельных звеньев из процесса, если именно их работа регулярно нарушает ход процесса.

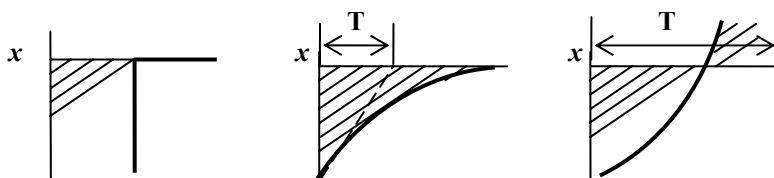
Следует отметить, что по принципам управления создано множество руководств, и даже существует специальная наука по теории автоматического регулирования. Исходя из вышеприведенного

определения сущности контроля, по проблеме контроля должна быть также создана соответствующая теория, объемом не меньшим. Однако до настоящего времени такой теории нет, и конечно, это положение в будущем должно быть исправлено.

Задачей структуры контроля за качеством управления является определение качества управления посредством оценки погрешностей управления. Погрешности управления имеются всегда в связи с инерционностью звеньев структуры системы управления, органов управления и самого объекта управления. Но эти погрешности могут быть допустимыми, т.е. находящиеся в пределах заранее известных допусков, а могут быть недопустимыми, если эти погрешности выходят за пределы допусков. Поэтому оценка качества управления должна производиться исходя из знания величин допустимых ошибок и знания текущих значений ошибок всей системы управления по выходной величине – отлнчию реального текущего значения физической величины, вырабатываемой объектом, от требуемого значения целевой функции этой величины. Сам же критерий сравнения может определяться, исходя из конкретного назначения объекта и вырабатываемой им физической величины.

Если погрешности управления не выходят за рамки допустимой величины, тогда вмешательства системы контроля в процесс управления не требуется, но слежение за ходом управления необходимо, чтобы иметь возможность выявить недопустимые погрешности, если они все же появятся, или для определения тенденций возможности появления таких погрешностей для своевременного предотвращения нежелательных последствий.

В случае же выявления недопустимого превышения погрешностей управления над допустимыми, система контроля должна принимать меры к устранению такого положения в последующих действиях управляющей системы путем либо изменения коэффициентов влияния звеньев (в автоматических системах – коэффициентов усиления, коэффициентов обратных связей и т. п., в административных системах путем усиления или ослабления полномочий отдельных руководителей), либо путем структурных изменений – замены непригодных звеньев или перестройки самой структуры.



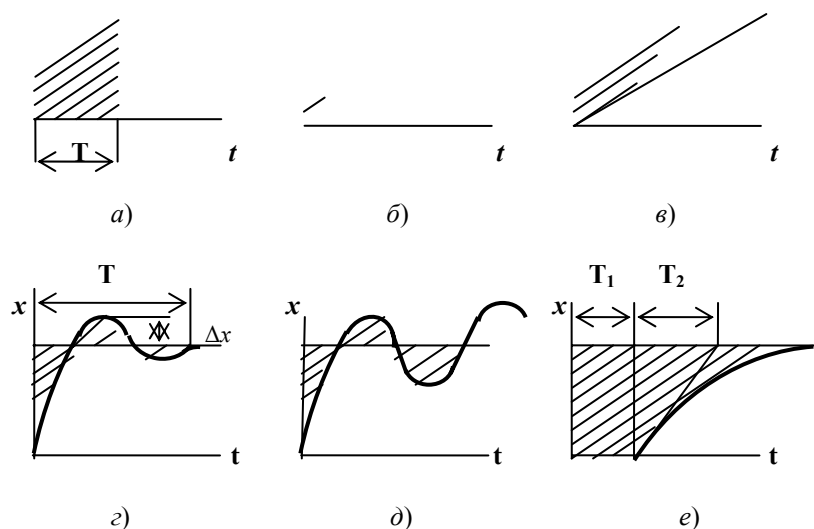


Рис. 2.4. Основные типы переходных процессов при ступенчатом воздействии: а) процесс с запаздыванием; б) экспоненциальный затухающий; в) экспоненциальный расходящийся; г) колебательный затухающий; д) колебательный расходящийся; е) запаздывающий и затухающий; область ошибок заштрихована

Качество системы управления может быть оценено по статической и динамическим погрешностям управления. Динамические погрешности – это погрешности, связанные с переходными процессами управления. Переходным процессом системы управления является процесс перехода системы из одного устойчивого состояния в другое устойчивое состояние. Исследование переходных процессов системы осуществляется с помощью типовых воздействий – либо ступенчатых воздействий, либо воздействий, изменяющихся во времени по заданному закону.

Ступенчатым воздействием является скачкообразное изменение целевой функции на определенную величину. Появившееся на входе системы возмущение – разность между значением целевой функции физической величины и ее реальным значением заставляет систему управления воздействовать на органы управления объектом, который за

определенное время изменяет значение физической величины. Процесс всей системы из одного состояния в другое есть переходной процесс, а ошибками переходного процесса является разность между новым значением целевой функции и текущим значением выходной величины.

Для ступенчатой функции в системах управления характерны несколько видов переходных процессов (рис. 2.4).

1. **Запаздывающий процесс** (рис. 2.4.а). После получения возмущения исполнительные органы реагируют после некоторого промежутка времени, но после этого команда исполняется мгновенно. Погрешность определяется временем запаздывания.

2. **Экспоненциальный сходящийся переходной процесс** (рис. 2.4б) После получения возмущения в виде ступенчатого воздействия система приближается к новому значению целевой функции по экспоненциальному закону, нигде не превышая этого значения. Это связано с тем, что по мере уменьшения входного воздействия соответственно уменьшается и изменение выходной величины, т. е. система охвачена отрицательной обратной связью. Принципиально время установления системы здесь бесконечно велико, на практике же это время ограничивается тем, что система достигает некоторого значения выходной величины, разность между которым и значением целевой функции признается несоизмеримо малым и не имеющим значения. Тогда время переходного процесса является конечным, но может изменяться, если допустимая погрешность будет менять свое значение. Система управления в этом случае устойчива.

3. **Экспоненциальный расходящийся переходный процесс** (рис. 2.4в). Система переходит значение целевой функции и в случае неограниченных диапазонов работы звеньев устремляется к бесконечному отклонению от значения целевой функции. Поскольку на самом деле диапазон работы звеньев ограничен, то и значения реального отклонения ограничено самым узким звеном. Система либо входит в насыщение, удерживая устойчиво максимально возможное отклонение, либо, если узким местом является прочность одного из звеньев, то это звено ломается и система выходит из строя. В случае, если такого звена не находится, то происходит беспредельное накопление энергии во всех звеньях и все кончается взрывом.

4. **Колебательный затухающий переходной процесс** (рис. 2.4г). Система в процессе переходного процесса переходит значение целевой функции и совершает вокруг этого значения затухающие колебания.

Время от начала процесса до затухания колебаний и есть время переходного процесса. Здесь также окончание процесса может отождествляться с моментом отличия выходной величины от значения целевой функции на величину допустимой погрешности. В этом случае система также охвачена отрицательной обратной связью, но сочетание нескольких инерционных звеньев системы приводит к ее раскачиванию. Такая система управления тоже устойчива, но ее устойчивость ниже предыдущей, хотя время переходного процесса существенно меньше. Оптимальным переходным процессом для таких систем считается процесс, в котором имеется всего одно колебание

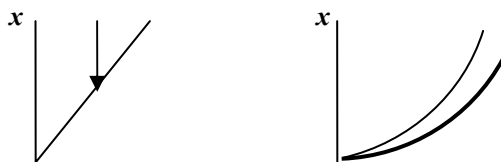
Для этого типа переходного процесса характерно наличие так называемого перерегулирования, т.е. положения, когда выходная величина превышает значение целевой функции в первом полупериоде колебания.

5. **Колебательный расходящийся переходной процесс** (рис. 2.4.д). Система в процессе переходного процесса переходит значение целевой функции и совершает вокруг этого значения незатухающие и увеличивающиеся по амплитуде колебания. В связи с ограничением способностей звеньев системы к ускорениям и скоростям система выходит на определенный колебательный режим с постоянным периодом и постоянной амплитудой. Время переходного процесса здесь не ограничено. Система не устойчива.

6. **Комбинированный переходной процесс**, например, комбинация запаздывающего и экспоненциального переходных процессов (рис. 2.4е). В системе есть несколько звеньев, с разными характеристиками, которые имеют свои формы переходных процессов, в результате общий переходной процесс представляет собой их комбинацию.

При изменении целевой функции во времени характерны два типа переходных процессов (рис. 2.5).

1. **Изменение целевой функции с постоянной скоростью** (рис. 2.5а). В устойчивых системах управления возникает скоростная ошибка, величина которой нарастает с увеличением скорости изменения целевой функции. При превышении скорости изменения целевой функции максимально возможной скорости одного из звеньев системы управления, органов управления или объекта управления начинается



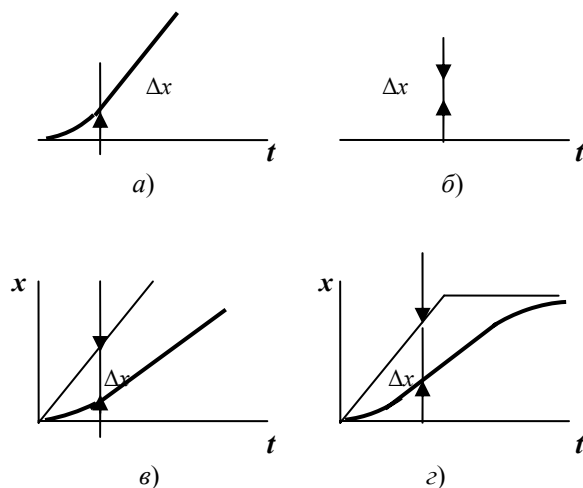


Рис. 2.5. Переходные процессы при изменении целевой функции: а) с постоянной скоростью; б) при изменении целевой функции с постоянным ускорением; в) переходный процесс при наличии звена с ограничением скорости; г) переходный процесс при прекращении нарастания скорости; Δx – ошибка системы

нарачиваться общая ошибка системы до значений, при которых вся система управления, включая объект, оказывается неэффективной.

В неустойчивых системах колебания происходят вокруг значений изменяющей целевой функции. В системах с положительным экспоненциальным процессом система уходит в насыщение так же, как и со ступенчатым воздействием.

2. Изменение целевой функции с постоянным ускорением (рис. 2.5б). В устойчивых системах дополнительно к скоростной возникает ошибка по ускорению.

Оценку качества управления объектами необходимо производить по результатам оценки погрешностей всей системы управления вместе с регулируемым объектом, исходя из конкретных целей воспроизведения заданной физической величины, т.е. по итоговым результатам работы всей системы. Эти оценки могут быть выполнены на основании выявления погрешностей переходных процессов. Принципиально, качество управления тем выше, чем меньше ошибки переходного

процесса, т. е. разница между требуемым значением целевой функции и фактическим состоянием системы. В этом отношении качество управления может быть сопоставлено с точностью, являющейся, как известно, величиной, обратно пропорциональной односторонней относительной ошибки:

$$T = 1/\delta = X/|\Delta x|,$$

где X – диапазон изменения измеряемой величины; $|\Delta x|$ – модуль погрешности.

Степенью точности является десятичный логарифм от точности. Если относительная односторонняя погрешность равна 1%, то точность равна 100, а степень точности – 2. Применительно к управлению качество системы может определяться по значениям отклонений от требуемых значений целевой функции, т.е. по ее ошибкам, статическим или динамическим, но за критерий могут приниматься различные параметры ошибки в зависимости от того, какое они имеют значение в том или ином конкретном случае. В принципе, этими ошибками являются:

1. **Мгновенное значение ошибки.** Поскольку значение выходного параметра системы в переходном процессе в любой момент не соответствует значению целевой функции, то всегда имеется ошибка, мгновенное значение которой и может служить критерием оценки качества системы управления;

2. **Среднее значение ошибки на протяжении всего переходного процесса** – усредненное значение погрешности либо с учетом знака ошибки, либо без учета знака ошибки, т.е. как средняя величина абсолютных значений ошибок.

3. **Среднеквадратичное значение ошибки;**

4. **Погрешность максимального перерегулирования**, т.е. величина максимального отклонения после перехода выходной величины через значение целевой функции.

5. **Отклонение длительности переходного процесса от заданной величины** – превышение длительности или занижение длительности;

6. **Отклонение скорости изменения выходной величины от максимального значения скорости изменения целевой функции;**

7. **Отклонение ускорения изменения выходной величины от максимального ускорения изменения целевой функции.**

8. Интегральное значение ошибки за все время переходного процесса.

В зависимости от назначения системы в каждом конкретном случае необходимо определить критерий оценки качества как некоторую допустимую величину ошибки, например, допустимое значение длительности переходного процесса (п. 5). Превышение ошибки над допустимым ее значением означает неудовлетворительное качество системы. Не превышение означает удовлетворительное качество. При этом возможно, конечно, дальнейшее повышение качества путем ужесточения требований и соответствующего уменьшения ошибок системы.

2.4. Структурная организация управления

Структурно целевая функция оказывается жестко связанной со структурой управления и может быть организована одним из трех способов: централизованным, соответствующим авторитарной структуре управления, децентрализованным, соответствующим анархической структуре управления, и иерархическим, соответствующим иерархической структуре управления.

В структуре авторитарного управления (рис. 2.6) имеется единственное управляющее звено, непосредственно воздействующее на исполнительные звенья.

В этой структуре существует единственная целевая функция, которая является программой для действий управляющей системы. В управляющем звене происходит вся переработка информации, необходимая для выработки сигналов управления исполнительными звеньями. В такой структуре все датчики физических сигналов, с помощью которых управляющее звено может определить фактическое положение объекта, непосредственно передают свою информацию управляющему звену, которое и должно произвести необходимую первичную и вторичную обработку информации. Далее путем сопоставления фактического состояния объекта со значением целевой функции это звено должно переработать это отклонение в сигналы для исполнительных элементов системы.



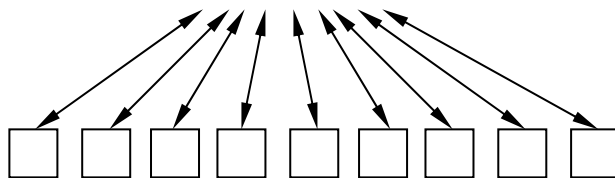


Рис. 2.6. Структура авторитарного управления

Достоинством авторитарной системы управления является полнота всей информации в одном звене, что позволяет, в принципе, наиболее полно и оперативно учесть все ее особенности. Недостатком являются необходимость высокого быстродействия управляющего звена и требования обеспечения высокой надежности его работы: выход из строя этого управляющего звена означает выход из строя всей системы. Резервирование управляющего звена улучшает положение, но не спасает, потому что и к резервирующему звену предъявляются те же требования, и, если основное звено не справилось с обработкой информации из-за перегрузки, то и второе звено не справится.

В принципе авторитарная система оказывается не эффективной.

В полностью децентрализованной анархической структуре (рис. 2.7) управления звеньями, как такового, нет.



Рис. 2.7. Анархическая структура управления

Каждое звено само определяет свою целевую функцию и действует в соответствии с ней. Достоинством такой структуры является то, что к звеньям не предъявляется требований высокого быстродействия, поскольку каждое звено действует в узком круге задач. Не предъявляются и высокие требования по надежности, так как выход из строя одного какого-либо звена не затрагивает работу остальных

звеньев. Но недостатком системы является несогласованность действий, когда одни звенья могут на объекты оказывать действия, противоположные действиям других звеньев. Фактически системы как таковой здесь нет, и такая организация управления и соответственно многих разобщенных целевых функций оказывается крайне не эффективной.

Наконец, третья структура управления – иерархическая (рис. 2.8), в которой и управление, и соответствующие целевые функции распределены по определенным иерархическим уровням, оказывается наиболее оптимальной.

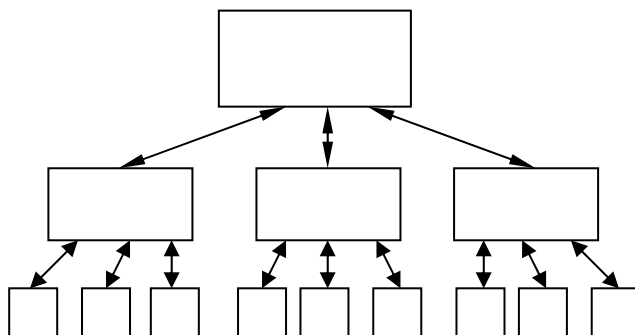


Рис. 2.8. Иерархическая структура управления

В иерархической структуре управления верхнее, самое старшее звено управления имеет общую целевую функцию, которая является программой действия для всей системы. Это старшее звено разделяет общую целевую функцию на части и передает эти части нескольким звеньям следующего иерархического уровня. Те выполняют подобную же задачу для следующих звеньев и т. д., до самых нижних звеньев, которые являются уже исполнительными звеньями.

Передавая часть общей целевой функции нижнему звену в целочисленном виде, верхнее звено тем самым ставит перед нижним звеном задачу, исполнение которой должно контролироваться этим же верхним звеном. Поэтому нижнее звено выдает верхнему звену информацию о фактическом состоянии своей части объекта, верхнее звено определяет разность между требуемым значением частной

целевой функции и фактическим состоянием объекта с учетом изменения самой частной целевой функции передает нижнему звену скорректированный сигнал управления, уже не в целочисленном виде, а в виде разности. Фактически здесь реализуется та же схема управления, что и в простых системах (рис. 2.2).

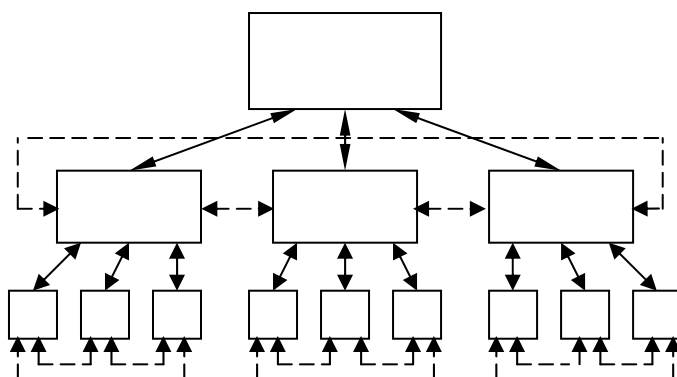


Рис. 2.9. Иерархическая структура управления с неформальными горизонтальными связями (показаны пунктиром)

Иерархическая структура управления оказывается еще более устойчивой, если в ней наряду с основными вертикальными связями присутствуют еще и горизонтальные неформальные связи между звеньями одного иерархического уровня (рис. 2.9). В такой системе в случае временного выхода из строя верхнего звена управления совокупность подчиненных ему звеньев обладает относительно полной информацией и способна некоторое время продолжать выполнять общую поставленную задачу более полно, чем, если бы такие связи отсутствовали.

2.5. Структурная организация вычислительного процесса

Одной из важнейших проблем современных технических систем является трудность контроля за результатами действий алгоритмистов и программистов, фактически полностью определяющих как само функционирование комплексов, так и его качество. Это связано с тем, что и программа действия, и контроль за ее исполнением и качество функционирования в значительной степени определяются качеством алгоритмов и программ, заложенных в вычислители комплекса. Однако в настоящее время само определение функциональных зависимостей, которые закладываются в алгоритмы и программы, а также исполнение самих алгоритмов и программ все еще зависит от мастерства алгоритмистов и программистов и фактически не подлежит контролю. В ряде случаев это может привести к непредсказуемым последствиям, примеры которых, к сожалению, существуют.

Для того чтобы избежать подобных ситуаций, нужно к проектированию функциональных зависимостей, алгоритмов и программ подойти с позиций модульности, т.е. так же, как это давно используется в обычной технике.

Модульность функциональных зависимостей означает, что вся совокупность формульных и логических зависимостей, которые должны решаться каждым вычислителем комплекса, разбиваются на блоки, имеющие конкретные входные и выходные параметры, каждый из которых имеет конкретный диапазон и масштаб. Входные параметры состоят из параметров, получаемых от датчиков, параметров, получаемых от общей программы действий комплекса или от других вычислителей, и параметров, получаемых из долговременной памяти самого вычислителя (константы).

Далее каждый блок разбивается на модули, которые организуются по тем же принципам. Все они нумеруются и сводятся в общую схему, в которой ни один выходной параметр не может не быть замкнутым на соответствующий входной параметр другого блока или модуля.

Каждый функциональный модуль описывается соответствующим модулем алгоритма, а тот – модулем программы. В последнем случае для каждого модуля программы производится подсчет объемов используемой памяти и затрачиваемого на решение программного модуля времени. Определяются также параметры программных модулей сопряжения функциональных модулей. Суммы параметров для группы модулей (блока) (затраченной памяти и времени решения) и являются теми величинами, которые могут сопоставляться с контрольными

суммами этих параметров, чем и определяется корректность алгоритмов и программ.

Выводы

1. Функционирование технологических систем имеет целью управление определенным технологическим процессом.

Управление – функция организованной системы, обеспечивающая сохранение структуры, поддержание режима деятельности и реализацию цели деятельности посредством выполнения программы – целевой функции, содержащей представление об общей цели как итоге деятельности, этапных целях как промежуточных задачах и текущих или местных целях.

2. Все технологические системы, независимо от назначения, имеют общие свойства:

- целью их деятельности является выполнение некоторой определенной целевой функции, устанавливающей для каждого момента времени и сочетания воздействующих параметров конкретные значения требуемых выходных величин;

- все системы имеют структуру, в которой имеется **исполнительное звено**, предназначенное для реализации технологии и управляемое с помощью **органов управления**, получающих сигналы и команды от **системы управления**, а также **система контроля**, следящая за правильностью работы всей технологической системы. Управляющим сигналом для систему управления является **разность между требуемым значением целевой функции и реальным значением выходной величины**;

- приводимые системой управления в действие мощности многократно превышают мощность собственно сигнала управления.

3. Критериями оценки качества работы системы могут являться характеристики переходного процесса – постоянная времени, общее время запаздывания, величина перерегулирования и другие. Выбор того или иного критерия и его допустимое значение определяется конкретным назначением и условиями применения комплекса.

При неудовлетворительном качестве работы технологической системы система контроля должна определить неудовлетворительно работающие звенья и выдать соответствующие рекомендации или

команды на необходимые действия по изменению структуры технологической системы или ее системы управления – изменению функций или замене отказавших звеньев.

4. Основными структурами управления являются:

- **авторитарная** структура, в которой все функции управления сосредоточены в единственном верхнем звене, непосредственно управляющим всеми исполнительными звеньями; достоинством структуры является полнота информации в управляющем звене, недостатком – повышенные требования к управляющему звену в части объема памяти, быстродействия и надежности;

- **анархическая** структура, в которой исполнительные звенья находятся в режиме самоуправления; достоинство структуры – высокая живучесть, недостаток – бессистемность и большие непроизводительные затраты;

- **иерархическая** система, в которой функции управления распределены по уровням иерархии.

Оптимальной структурой управления является иерархическая система с основными вертикальными связями между командными (старшими) и исполнительными (младшими) звеньями и неформальными горизонтальными связями между звеньями одного уровня иерархии. При этом уровни иерархического управления целесообразно устанавливать по принципу максимально возможной передачи функций в нижние звенья.

5. Все функциональные зависимости, составляющие общий алгоритм управления, целесообразно строить по блочно-модульному принципу, в которой каждый модуль и каждый образованный из модулей блок имеют четкие границы, четкие входные и выходные величины с конкретными требованиями по каждому из параметров, а также четкие численные оценки затрат быстродействия и памяти. Такое построение всего алгоритма функционирования позволяет избежать ошибок в организации функционирования, а в вычислительных системах позволяет исключить вирусную опасность.

Лекция 3. Квалиметрия и метрология в технике

3.1. Проблема качества в общественном производстве

Целью функционирования всех сложных технических систем является либо исследование физических явлений, либо управление технологическим процессом. В последнем случае всегда частью функционирования является определение значений физических величин, являющихся непременной частью любого технологического процесса. Таким образом, необходимой составляющей функционирования всех без исключения сложных технических систем является определение состава параметров физических процессов, которые эти системы должны обслуживать, и их измерение. Дисциплина, объединяющая методы оценки качества объектов и процессов, называется **квалиметрией**.

Качество есть совокупность свойств объекта (процесса), благодаря которой он является именно этим, а не иным объектом (процессом). Эти свойства проявляются во взаимоотношении данного объекта (процесса) с другими объектами (процессами). Свойства объекта (процесса) состоят в том, чтобы производить в других объектах (процессах) те или иные действия. Поэтому качество объекта или процесса определяется лишь, исходя из существенности его свойств для того объекта или процесса, с которым он взаимодействует. Совокупность свойств объекта, существенных для одного из взаимодействующих с ним объектов, может оказаться не имеющей значения для другого взаимодействующего с ним объекта.

В дальнейшем изложении упор сделан на качество объектов, однако, в принципе, **все, что касается объектов, может быть перенесено и на процессы**.

Качества без объекта не существуют. «...существуют не качества, а только вещи, обладающие качествами, причем бесконечно многими качествами» [1].

Поскольку каждый объект обладает бесконечно многими качествами, то качественная оценка его может происходить только на основе вычленения из всей совокупности лишь тех качеств, которые являются существенными для конкретной ситуации, для конкретного назначения вещи.

Одинаковых объектов, у которых все качества были бы одинаковы, в природе не существует. Любые два объекта обладают бесчисленным множеством одинаковых качеств и бесчисленным множеством различных качеств. Даже в микромире не существует и не может существовать двух одинаковых микрообъектов, например, двух

одинаковых протонов или двух одинаковых электронов. Их одинаковость есть всего лишь постулат, принятый современными теориями для упрощения расчетов. На самом деле, даже простой факт расположения микрообъектов в разных точках пространства обязательно скажется на их взаимодействии с другими объектами, расположенными вблизи этих точек: поскольку относительно этих объектов расположение разных микрообъектов разное, то и влияние других объектов на микрообъекты будет разным, следовательно, и свойства самих этих микрообъектов будут разными. Другое дело, что для конкретного рассматриваемого случая эти различия могут считаться несущественными.

Так, например, два протона или два нейтрона, расположенные в одном и том же ядре атома не могут быть одинаковыми в силу того, что в структуре ядра они занимают различное положение как по отношению к другим протонам и нейтронам, так и по отношению к внешней электронной оболочке. Является ли их различие существенным, заранее сказать нельзя, все зависит от цели исследования, в котором эти протоны рассматриваются.

Поэтому первой задачей использования любой вещи является определение тех качеств, которые определяют ее функциональное назначение применительно к конкретной цели. Следующей задачей является определение *количественной характеристики* каждого качества (свойства) вещи и далее к измерению этого количества, для чего необходимы *меры* каждого свойства.

Любой предмет представляет собой единство качества и количества.

Качество продукции есть совокупность свойств продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Как правило, качество продукции охватывает не только потребительские, но и технологические свойства продукции, конструкторско-художественные особенности, надежность, долговечность, уровень стандартизации и унификации деталей и узлов в конструкции и т.п., поскольку от этих качеств зависит как потребление, так и себестоимость самой продукции и условий ее эксплуатации. При этом здесь, как и во многих других случаях, важнейшим параметром оказывается цель самого производства – удовлетворение реальной потребности или получение максимальной прибыли. Первая цель всегда будет вести к повышению потребительских свойств продукции

при стабилизации или снижении себестоимости, вторая может привести как к повышению, так и снижению потребительских свойств продукции, поскольку для получения прибыли важно снижение затрат на производство.

Свойства, составляющие качество продукции, характеризуются с помощью непрерывных или дискретных величин, называемых **показателями качества продукции**, которые должны иметь количественную характеристику. Они могут быть абсолютными, относительными или удельными. Принципиально все эти показатели должны быть измеряемыми с помощью объективных методов измерения. В тех случаях, когда это не удается сделать, приходится прибегать к экспертным оценкам (например, при дегустации вин или блюд). Показатели качества должны охватывать не только свойства продукции на момент создания, но и учитывать условия эксплуатации (потребления) продукции.

Показатель качества продукции, характеризующий одно ее свойство, называется единичным, два и более свойств – комплексным. Относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении ее с соответствующей совокупностью базовых показателей называется уровнем качества продукции.

Повышение качества продукции, связанное с повышением надежности или долголетия приводит к снижению потребного количества продукции, что во многих случаях оказывается важным, однако для целей получения прибыли это может войти в противоречие с интересами производителя, поэтому в капиталистическом производстве не всегда повышение качества, приводящее к снижению количества выпускаемой продукции, поощряется. В ряде случаев некоторые качества продукции – срок службы, срок гарантии и т.п. искусственно занижаются с тем, чтобы потребитель был вынужден вновь приобрести ту же продукцию. При социалистическом строе это исключено.

Обычно считается, что критерием оптимальности уровня качества продукции может служить комплексный интегральный показатель, отражающий соотношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации (потребления) продукции и суммарных затрат на ее создание и эксплуатацию (потребление). Считается, что наибольшее значение интегрального показателя соответствует наивысшему полезному эффекту. Однако это не всегда так. Во многих случаях для создания необходимого продукта приходится идти на дополнительные

затраты, которые не могут быть оправданы экономически с позиций экономического интегрального показателя. Примером является сельское хозяйство, которое во всех странах дотируется, а в условиях зон рискованного земледелия России (почвы, климат, транспортировка) может являться убыточным. Тем не менее, сельское хозяйство является необходимым, и его экономическая нерентабельность должна покрываться другими отраслями народного хозяйства. Чисто же капиталистический подход здесь оказывается разорительным. То же относится и к вооружениям и к некоторым другим областям (космос, наука и т. п.), которые не могут дать коммерческой выгоды в короткое время или вообще не могут дать прибыли, но зато обеспечивают развитие общества и его устойчивость.

Как уже упоминалось, в общественном производстве и научных экспериментах особое значение имеет определение номенклатуры (состава) параметров (свойств), определяющих саму сущность объекта производства или исследования. Однако после определения состава параметров, существенных для конкретного объекта, возникает необходимость их количественной оценки. Задачей квалиметрии как научной области, объединяющая методы количественной оценки качества продукции является: обоснование номенклатуры показателей качества продукции, разработка методов определения показателей качества продукции и их оптимизация, разработка принципов построения обобщенных показателей качества в задачах стандартизации и управления качеством.

Следует заметить, что любой объект как произведенный, так и исследуемый, обладает бесчисленным множеством сторон и качеств, и поэтому даже простое перечисление всех их невозможно принципиально. Это значит, что из всей совокупности свойств и качеств, которыми обладает объект, должны быть в каждом конкретном случае выделены те, которые являются существенными для конкретного случая и которые должны подлежать контролю. Следовательно, возникает проблема принципов отбора контролируемых параметров. Но сами эти принципы диктуются теми целями, которые ставятся производством или исследованием. А это значит, что применительно к каждому конкретному случаю — производства объекта или исследования должна быть сначала сформулирована цель производства или цель исследования.

Применительно к производству материальных ценностей принципиально могут быть выделены две главные исходные цели – либо удовлетворение естественных потребностей людей, тогда на первый план выходит потребительская стоимость предметов; либо обеспечение прибыли производителя товаров, тогда на первый план выходит норма прибыли – отношение прибыли к произведенным затратам.

Соответственно реально существуют две системы управления качеством, первая, имеющая целью повышение потребительской стоимости, вторая, имеющая целью повышение нормы прибыли. Первая цель характерна для плановой экономики, в которой отсутствует конкуренция между производителями, вторая – для рыночной экономики, в которой главной целью является высокий уровень доходов, а это требует конкурентной борьбы на выживание. Сигналом управления в первом случае являются действия по достижению необходимой потребительской стоимости в части качества выполнения функций объектом, его долговечности, а также ряда других параметров, являющихся составной частью потребительской стоимости. Сигналом управления во втором случае является разность между нормой прибыли владельца предприятия и нормами прибыли конкурирующих предприятий. Поскольку норма прибыли – это отношение прибыли к затратам, то и прибыль можно увеличивать, а затраты можно уменьшать совсем не обязательно за счет повышения потребительской стоимости. Проще всего это делать именно за счет сокращения затрат – применения некачественных материалов, фальшивых этикеток, сокращения срока службы и т. п. мероприятий, снижающих уровень потребительской стоимости, а не повышающих ее. При этом банкротство далеко не всегда грозит предприятию-бракоделу, особенно в России, стране с неустановившейся рыночной экономикой, бесконтрольным производством, фактическим отсутствием контроля за качеством товаров и сиюминутными интересами производителей товаров.

Необходимо также отметить, что в России, стране с достаточно суровым климатом, затраты на производство единицы практически любой продукции всегда в 2–3 раза выше, чем в европейских странах и в 4–5 раз выше, чем в южных странах, что делает ее продукцию на мировом рынке принципиально не конкурентоспособной, к этому добавляются политические меры, применяемые европейскими

странами и США для защиты своих рынков от нашествия российской продукции в случае даже потенциальной возможности конкуренции [2].

Оценка качества объекта производится по совокупной оценке его существенных, т. е. определенных целью его назначения величин. Существенных величин (характеристик) относительно немного, поэтому их оценка технически возможна. Оценка каждой из величин возможна лишь в том случае, если определено требуемое значение величины и с ним сравнивается реальное значение, то же самое и с отклонением от требуемого значения, которое необходимо сравнивать с допустимым отклонением, после чего только, и может быть определено соответствие параметру заданному значению. Это касается как статических, так и динамических параметров, т. е. величин, изменяющихся во времени, например скорости отработки, качества переходных процессов, динамических погрешностей и т.п.

Таким образом, для оценки качеств объекта, необходимо определить:

1) перечень функций, которые должен выполнять объект в соответствии со своим назначением:

- перечень величин, существенно определяющих каждую функцию, включая статические и динамические значения;
- требуемые значения (численное значение, диапазон изменения и т.п.) каждой величины;
- допустимое отклонение от требуемого значения (допуск);

2) перечень величин, характеризующих объект как материальное образование:

- требуемые значения величин;
- допустимые отклонения величин от требуемого значения;

3) перечень внешних воздействий, влияющих на качество выполнения функций;

- допустимые значения внешних воздействий;
- допустимые отклонения значений внешних воздействий от требуемых (при испытаниях объекта на влияние внешних воздействий)

4) перечень требований к условиям эксплуатации объекта;

- допустимые значения условий эксплуатации;
- допустимые отклонения условий эксплуатации от оптимальных;

5) реальное значение всех величин и определение их соответствия значениям, указанным в предыдущих пунктах, после чего

только и может быть сделано заключение о соответствии качества объекта заданным требованиям.

Первые четыре пункта относятся к требованиям, предъявляемым к объекту, они вытекают из назначения объекта и условий его эксплуатации. Эти требования должны быть сформулированы в виде определенного нормативного документа – технического задания, технических условий, руководящего материала, отраслевого или государственного стандарта или иного документа, имеющего для исполнителя обязательный характер.

Последний пятый пункт относится к его фактическому состоянию, которое определяется путем измерения фактического значения каждого из параметров, упомянутых в первых четырех пунктах, эта часть связана с метрологией. Здесь также должны существовать нормативные документы на методологию испытаний объекта, включая как собственно методы испытаний, так и необходимую для их проведения оснастку – аппаратуру, инструменты, стенды, камеры создания внешних воздействий и т.п.

По результатам проведения испытаний должны быть выработаны мероприятия по устранению выявленных несоответствий фактических результатов требованиям, в этом суть управления технологиями. Управление технологиями – это принятие необходимых мер по достижению соответствия фактических характеристик объекта требуемым путем изменения самих технологий, используемых материалов и т.п. Однако в случае затруднения выполнения некоторых требований, предъявляемых к объекту, возможна также их коррекция в направлении смягчения.

3.2. Категории и задачи измерения в научном эксперименте, технологии и технике

В любом научном эксперименте, в технологиях и в технике оценка количественных (численных) значений свойств объектов или процессов производится с помощью измерений.

Измерение есть операция, посредством которой определяется отношение одной (измеряемой) величины к другой однородной величине, принимаемой за единицу; число, выражающее такое отношение, называется численным значением измеряемой величины.

Законченное измерение включает следующие элементы:

- **объект измерения**;
- **свойство** объекта, которое характеризуется измеряемой величиной;
- **единицу измерения**;
- технические **средства измерения**, проградуированные в выбранных единицах измерения;
- **наблюдателя** или **регистрирующее** (или преобразующее) устройство;
- окончательный **результат** измерения.

Измерения бывают прямыми и косвенными. К прямым измерениям относят те виды измерений, результат которых получается непосредственно из измеряемой величины, например, измерение длины объекта с помощью линейки. Однако в большинстве случаев и, особенно, в связи с развитием автоматических технологий большое значение приобрели косвенные измерения, основанные на известной зависимости между искомой величиной и непосредственно измеряемыми величинами.

Всякое измерение связано с ограниченным диапазоном изменения измеряемой величины, ее изменениями во времени (динамикой) и неизбежными статическими и динамическими погрешностями.

Измерение имеет смысл или тогда, когда известно требуемое или желаемое значение измеряемой величины или когда требуется определить параметры объекта для его будущего применения.

Измерения в метрологии подразделяются на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямыми называются измерения, при которых мера или прибор применяются непосредственно для измерения данной величины (например, измерение массы на циферблатных или рычажных весах, измерение температуры термометром).

Косвенными называются измерения, результаты которых находятся на основании известной зависимости между искомой величиной и непосредственно измеряемыми величинами (например, измерение плотности тела по его массе и геометрическим размерам).

Совокупными называются измерения нескольких одноименных величин, значения которых находят решением системы уравнений, получаемых в результате прямых измерений различных сочетаний этих величин (например, калибровка набора гирь, когда значения масс гирь

находят на основании прямого измерения массы одной из них и сравнения масс различных сочетаний гирь).

Совместными называются измерения одновременно двух или нескольких разноименных величин с целью нахождения зависимости между ними (например, нахождение зависимости удлинения тела от температуры).

Различают также **абсолютные и относительные измерения**. К первым относят косвенные измерения, основанные на измерении одной или нескольких основных величин (например, длины, массы, времени) и использовании значений фундаментальных физических постоянных, через которые измеряемая физическая величина может быть вычислена. Под вторыми понимают измерения либо отношения величины к одноименной величине, играющей роль произвольной единицы, либо изменения величины относительно другой, принимаемой за единицу.

Найденное в результате измерений значение измеряемой величины представляет собой произведение отвлеченного числа (числового значения) на единицу данной величины.

Результаты измерений из-за погрешностей всегда несколько отличаются от истинного значения измеряемой величины, поэтому результаты измерений обычно сопровождаются указанием оценки погрешности.

Измерения производятся с помощью измерительных устройств.

Измерительное устройство – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, преобразования и (или) использования в автоматических системах управления. Это категория средств, охватывающих измерительные приборы, измерительные преобразователи и измерительные усилители.

Измерительные приборы – средства измерений, дающие возможность отсчитывать значения измеряемой величины. В аналоговых измерительных приборах отсчитывание производится по шкале, в цифровых – по цифровому отсчетному устройству. Показывающие измерительные приборы предназначены для визуального отсчитывания показаний, регистрирующие снабжены устройством для их фиксации, чаще всего на бумаге. Это могут быть самопишущие, позволяющие получать запись в виде диаграммы, и печатающие, обеспечивающие печатание показаний в цифровой форме.

В измерительных приборах **прямого действия** (например, манометре, амперметре) осуществляется одно или несколько преобразований измеряемой величины, и значение ее находится без сравнения с известной одноименной величиной. В преобразователях **сравнения** измеряемая величина сравнивается с одноименной величиной, воспроизводимой мерой (например, равноплечие весы, электроизмерительный потенциометр и т.п.). К разновидностям измерительных преобразователей относятся интегрирующие преобразователи, в которых подводимая величина подвергается интегрированию во времени (например, электрические и газовые счетчики) и суммирующие преобразователи, дающие значения суммы нескольких величин, подводимым по разным каналам (например, ваттметр, суммирующий мощности нескольких электрических генераторов).

Измерительный преобразователь – средство измерения, преобразующее измеряемую физическую величину в сигнал для последующей передачи, обработки или регистрации. В отличие от измерительного прибора, сигнал на выходе измерительного преобразователя (выходная величина) не поддается непосредственному восприятию наблюдателя. Обязательное условие измерительного преобразователя – сохранение в выходной величине информации о количественном значении измеряемой величины. Измерительное преобразование одного и того же вида, например, температуры или механического перемещения, может осуществляться различными преобразователями, основанными на самых разных физических принципах: для температуры с помощью ртутного термометра, биметаллического элемента, термопарой и т.п., для механического перемещения с помощью тензометра, потенциометра, индуктивных, емкостных, оптических и т.п. датчиков и т.д.

Принцип действия измерительных преобразователей может быть основан на использовании практически любых физических явлений. Начиная с 40–70-х, господствующей тенденцией стало преобразование любых измеряемых величин в электрические сигналы. По виду преобразуемых величин различают измерительные преобразователи электрических величин в электрические, неэлектрических величин в электрические, электрических величин в неэлектрические и неэлектрических величин в неэлектрические.

Измерительный усилитель – устройство, предназначенное для повышения мощности электрических сигналов. Измерительные усилители позволяют повысить чувствительность и точность при измерении электрических и неэлектрических величин. Основное требование, предъявляемое к ним – постоянство коэффициента усиления, обычно достигаемое посредством глубокой обратной связи – обратного воздействия результатов процесса на его протекание, которая обеспечивается путем подачи части выходного сигнала на вход усилителя (замкнутая система).

Для калибровки измерительных устройств разработана система мер – средств измерения, предназначенных для воспроизведения физических величин. Наряду с простейшими мерами, такими, как меры массы (гири) или меры вместимости (мерные стаканы, цилиндры и т.п.), к мерам относятся и более сложные устройства, например, нормальные элементы (меры электродвижущей силы), катушки электрических сопротивлений, светоизмерительные лампы и пр.

Меры подразделяются на однозначные (воспроизводящие физическую величину одного размера) и многозначные (обеспечивающие воспроизведение ряда величин различного размера, например, нескольких длин). Примеры первых – гиря, измерительная колба, катушка индуктивности; примеры вторых – линейка со шкалой, конденсатор переменной емкости, вариометр индуктивности. Из мер могут составляться наборы (гирь, концевых мер длины и т.п.) для ступенчатого воспроизведения одноименных величин в определенном диапазоне значений. Наборы мер электрических величин иногда снабжаются переключателями и образуют магазины.

Образцовые меры получают значения от эталонов и применяются для поверки **рабочих мер**.

Точность меры и измерительного прибора – степень близости значений меры или показаний измерительного прибора к истинному значению величины, воспроизводимой мерой или измеряемой при помощи прибора. Точные меры или измерительные приборы имеют малые погрешности как систематические, так и случайные.

Для мер установлены классы точности.

В области метрологии следует выделить тенденцию перехода от эталонов, изготовленных человеком, к естественным эталонам, основанных на волновых и дискретных свойствах материи. Так, единица длины воспроизводится с помощью длины световой волны, а

единица времени – с помощью периода колебаний естественного излучателя, единица электрического заряда – через заряд электрона, единица массы может быть установлена через массу какой-либо элементарной частицы, например, протона. Однако это не всегда удобно, поэтому единицы измерения сохраняют свои традиционные названия (метр, килограмм, секунда), которые определяются через упомянутые эталонные величины. Кроме того, следует учесть, что абсолютно стабильных физических величин – длины световой волны или периода колебаний атома – вообще не существует и существовать в природе не может. Поэтому выбор того или иного эталона всегда должен определяться конкретной целью измерений, которая в свою очередь зависит от конкретной цели всего устройства, частью которого является измерительный преобразователь.

3.3. Виды погрешностей измерений

Важнейшей характеристикой измерений является **погрешность измерений** – отклонение результатов измерения от истинного значения измеряемой величины.

Точностью в измерении является характеристика измерений, отражающая степень близости его результатов к истинному значению его величины. Часто в качестве точности указывают величину погрешности, однако погрешность является понятием, противоположным понятию точности. На самом деле **точность есть величина, обратная предельной относительной погрешности**, т. е. если имеется предельная погрешность измерения $\pm \Delta$, то точность составит:

$$T = 1/\Delta,$$

при этом степень точности есть десятичный логарифм от точности:

$$S = \lg T.$$

Так, если погрешность измерения составляет $\pm 10^{-5}$, то точность равна 10^5 , а степень точности равна 5.

Погрешности измерений классифицируются по разным признакам:

– по источнику погрешности: *методические*, зависящие от выбранного метода измерений, и *инструментальные*, присущие самому измерительному инструменту;

– по физическому содержанию: *абсолютные*, т.е. выраженные в размерностях измеряемой величины, и *относительные*, т.е. выраженные либо в долях диапазона измерения физической величины, либо в долях текущего значения измеряемой величины.

– по виду функции: *аддитивные*, т.е. независимые от значения измеряемой величины, и *мультипликативные*, т.е. пропорциональные измеряемой величине;

– по признаку повторяемости: *систематические* (повторяющиеся), *случайные*, обусловленные влиянием неконтролируемых факторов и *промахи*, вызванные, как правило, неисправностью аппаратуры, ошибками считывания, или резким изменением условий измерения.

Необходимость подобной классификации связана с тем, что учет происхождения и особенностей погрешностей позволяет принимать необходимые решения как по предъявляемым к ним требованиям, так и по реализации этих требований.

Так, наличие минимальной инструментальной погрешности прибора никак не может повлиять на методическую ошибку измерений, которая может быть во много раз больше. Примером является измерение барометрической высоты самолета: на высоте в 9-10 тыс. метров предельная инструментальная погрешность составляет 50 м, а методическая может достигать до величин, больших 1000 м. При этом наличие такой большой ошибки на этой высоте никак не сказывается на погрешностях эшелонирования, для которого, собственно, и измеряется высота. Это связано с тем, что методическая погрешность измерения высоты у двух самолетов, находящихся в общей зоне, одинаковы, в то время как инструментальные погрешности разные.

Факт аддитивности или мультипликативности ошибок может оказать существенное влияние на выбор метода измерений, а факт систематичности или случайности – на выбор метода обработки результатов измерений.

Понятия как систематических, так и случайных погрешностей применимы к групповым измерениям, когда производится многократное измерение одной и той же величины. Эти понятия – статистические.

Систематическими считаются погрешности, повторяющиеся во всей совокупности измерений. Природа систематических ошибок – несовершенство использованного метода измерений, неточная градуировка, неправильная начальная установка измерительного прибора и т.п. Эти погрешности устраняются введением поправок, полученных в результате обработки результатов большого количества измерений.

Случайными считаются погрешности, связанные с влиянием внешних неконтролируемых факторов – неучтенных изменений температуры, механических воздействий, электромагнитных наводок и т.п. Эти погрешности не компенсируются, а оцениваются методами математической статистики.

Систематические ошибки определяются при обработке результатов измерений как математическое ожидание, т.е. среднее значение всей совокупности измеренных значений величины.

Следует отметить условность приведенного деления, хотя оно и является общепринятым.

Как отмечено выше, любое физическое явление имеет в своей основе некоторый физический механизм. То же относится и к ошибкам измерения любых величин. Любая ошибка имеет в своей основе некоторую физическую причину, учет которой может, в принципе, эту ошибку исключить. Однако далеко не всегда удастся выявить причину появления ошибок, а при выявлении причин не всегда есть возможность создать соответствующие условия ее учета: это может оказаться чрезмерно сложным или дорогим. Приходится на чем-то останавливаться, и это и есть причина деления всех ошибок на систематические, которые можно учесть при обработке результатов измерений, и случайные, которые учесть нельзя. Таким образом, случайность здесь, как и во всех случаях, не есть принцип устройства природы, а степень нашего незнания или дороговизны.

Повышение точности измерения может быть осуществлено в первую очередь путем учета и компенсации систематических погрешностей, т.е. тех погрешностей, причина которых известна или может стать известной. В этом случае это производится либо при обработке результатов измерений, либо путем ввода в измерительный тракт соответствующих компенсаторов физических или математических. При этом обычно считается, что случайные ошибки

могут быть учтены только в результате их статистической оценки, но уменьшены быть не могут. Это неверно.

Само понятие случайности есть всего лишь степень нашего незнания о причинах того или иного явления, так как ни одно физическое явление, включая и появление ошибок, не может происходить беспричинно. В качестве примера можно привести влияние изменения температуры в кабине самолета на показания барометрического высотомера.

Изменение температуры влияет на механизм высотомера так, что изменяется упругость мембраны и длина рычагов кривошипно-шатунного механизма. В результате появляется погрешность начального положения стрелки указателя высоты и погрешность, пропорциональная самому текущему значению высоты. Эти ошибки могут считаться случайными, поскольку само изменение температуры в кабине самолета неизвестно, а измеренное термометром не может быть использовано простым способом. На первой стадии использования барометрических высотомеров все эти ошибки присутствовали и относились к случайным погрешностям.

Однако в дальнейшем выяснилась возможность автоматической компенсации температурных ошибок высотомера с помощью биметаллических пластин, изгибающихся при изменении температуры. Одну из таких пластин поместили непосредственно на anerоидную коробку (биметалл первого рода), вторую на ось кривошипно-шатунного механизма (биметалл второго рода). Первая пластина компенсировала начальное смещение стрелки, второе – пропорциональную ошибку. Точность достигалась путем регулировки угла поворота первой пластины и изменения длины плеча кривошипа второй. Произошла компенсация температурной погрешности высотомера, как в начальной стадии, так и во всем диапазоне изменения высоты.

Таким образом, здесь случайность выступила сначала как не познанная, а затем не использованная неопределенность. Так же случайность выступает везде, вовсе не являясь принципом устройства природы.

Следует обратить внимание на то, что ввод компенсации влияния ранее не учтенных внешних факторов усложняет и удорожает устройство. Так же удорожает устройство и поиск самих влияющих факторов, и нахождение закономерностей их влияния на значение

измеряемой величины. Поэтому всегда существует предел, выше которого точность повышать нет смысла. Этот предел зависит от цели измерения, и этот предел не всегда реально достижим с помощью имеющихся средств. Тем не менее, принципиального предела точности измерений, обусловленных устройством природы, не существует.

В тех случаях, когда повышение точности инструментальными способами оказывается слишком дорогим, сохраняется возможность произвести оценку остаточной погрешности статистическими методами. Здесь также целесообразно учитывать то обстоятельство, что для каждой конкретной физической величины при повторяющемся режиме отношение между предельной и среднеквадратичной погрешности сохраняется неизменным и независимым от абсолютной величины диапазона изменения самой величины и абсолютной величины самих ошибок. Из изложенного вытекает принципиальная возможность беспредельного повышения точности измерений, если таковая необходимость имеет место.

3.4. Влияние измерительного процесса на измеряемую величину

Измерение любой величины требует затраты энергии от самой этой величины. Примером является измерение электрического напряжения в сети. Подключение любой нагрузки к сети приводит к дополнительному падению напряжения на проводах, и в точке подключения нагрузки напряжение уменьшается. Если этой нагрузкой является высокоомный вольтметр, то затраты энергии со стороны сети на процесс измерения относительно невелики, уменьшение напряжения незначительно и в большинстве случаев им можно пренебречь. Однако заранее это неизвестно, и в случае точных измерений всегда должно оцениваться.

Принципиально, влияние измерительного устройства на измеряемую величину есть всегда даже в случае применения компенсационных методов, при которых в установившемся измерении энергия уже не потребляется, зато она потребляется в процессе установления окончательной величины. Поэтому искажения, вносимые в измеряемую величину измерительным устройством всегда должны оцениваться и при необходимости учитываться.

В физике установилось представление о том, что в микромире знать точные значения физических величин нельзя в принципе, поскольку измерительное устройство вносит искажения, пренебречь которыми нельзя. Именно это положение лежит в основе так называемого «принципа неопределенности» Гейзенберга. Согласно этому принципу нельзя одновременно определить точно положение электрона и его импульс: если погрешность в определении координаты отсутствует, то погрешность в определении импульса (произведения скорости на массу) возрастает до бесконечности и наоборот. При этом предполагается, что измерительным сигналом, с помощью которого производится операция измерения, есть свет, то есть электромагнитный квант. К этому добавляется положение, что любое явление существует постольку, поскольку его можно измерить, и если такое измерение произвести нельзя, то считать, что объект существует в природе тоже нельзя. Принципиально это последнее положение есть чистый солипсизм, т.е. представление о том, что природные явления существуют постольку, поскольку существует познающий их субъект.

Философия материализма утверждает объективность протекания процессов независимо от нашего сознания. Это значит, что производятся измерения, позволяющие наблюдать и оценивать объект или процесс, или не производятся, объект или процесс существуют независимо от этого. Но, учитывая, что всякое измерение требует энергетических затрат от измеряемого объекта или процесса, в технике при использовании измерительных устройств всегда должно соблюдаться правило, что искажения, вносимые измерительным устройством в измеряемую величину, должны быть пренебрежимо малы, и это должно оцениваться до проведения любых измерений. Критерием малости может являться положение, например, о том, что погрешность, вносимая в измеряемую величину измерительным устройством, должна быть на порядок меньше допустимой для данного измерения погрешности. Это значит, что принципиально всегда можно подобрать измерительный инструмент, вносящий в измеряемую величину пренебрежимо малую погрешность, т. е. погрешность, значением которой можно пренебречь для данной цели. Это значит, что во всех случаях сначала нужно определить допустимое значение вносимой погрешности, а затем только подбирать или создавать соответствующий измерительный инструмент.

3.5. Определение требований, предъявляемых к измеряемым величинам

3.5.1. Определение требований, предъявляемых к статическим погрешностям

Практически все материальные объекты, выполняющие те или иные функции, можно условно разделить на две группы – готовые изделия, которые потребителем не дорабатываются, и вновь создаваемые изделия. Параметры готовых изделий оговариваются в соответствующих справочниках или технических условиях. Для вновь создаваемых изделий разрабатываются технические задания (ТЗ).

Если готовых изделий одного назначения требуется много, перечень существенных параметров носит вполне определенный характер, а разброс параметров относительно велик, всегда целесообразно назначать ряды значений по каждому из параметров. Необходимые количества создаваемых изделий в соответствии с этими рядами могут быть определены на основе статистических оценок потребления их в прошлом. К таким изделиям относятся, например, радиокомпоненты – резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, разъемы, реле и т. д., бытовые изделия – одежда, обувь, мебель и т. п., боеприпасы, а также и многие другие изделия, потребляемые в массовом порядке. Многие из этих изделий не подлежат ремонту, и в случае выхода их из строя выбрасываются, особенно в случаях, когда ремонт обходится дороже, чем замена изделия на новое.

В таких случаях целесообразно назначать ряды значений параметров, чаще всего, опираясь на логарифмический закон с округлением цифр до ближайших целых или десятых долей значащей цифры. В качестве примера может быть приведен ряд относительных значений сопротивлений или емкостей конденсаторов:

1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,6; 1,8; 2,1; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1.

Как видно, отношение между двумя соседними величинами колеблется вокруг величины 1,1 в пределах от 1,08 до 1,11. Широкая практика подтвердила целесообразность использования этих рядов.

Относительная допустимая погрешность также регламентируется рядом, одним и тем же для всех номинальных значений величин: 1, 2, 5 и в процентном отношении представляется в виде:

0,01%, 0,02%, 0,05%, 0,1%, 0,2%, 0,5%, 1%, 2%, 5%, 10%, 20%, 50%,

причем в сторону меньших относительных погрешностей ряд может быть продолжен сколь угодно далеко.

Для резисторов имеется также ряд допустимых мощностей, определяющих площадь их поверхности, следовательно, и размеров:

0,1Вт, 0,25 Вт, 0,5 Вт, 1 Вт, 2 Вт, 5 Вт, 10 Вт, 20 Вт, 50 Вт,

здесь ряд может быть продолжен в обе стороны. Аналогично существует ряд для рабочих напряжений конденсаторов.

В бытовых предметах также существуют ряды, прежде всего перечень назначений – бытовое повседневное, производственное разных направлений и т.п., а кроме того, для одежды – рост, полнота и пр., для обуви – размер, полнота и т. д. Что касается фасонов, то здесь возможен полный произвол, который определяется вкусами, модой, престижем и другими не производственными показателями.

Наличие рядов величин, из которых потребитель может выбирать нужные ему значения, не только не усложняет, но и облегчает использование и применение изделий, а для изготовителей продукции создает возможность их массового выпуска.

Для вновь проектируемых устройств может быть рекомендован один из трех видов допустимой погрешности:

- **предельная величина**, т. е. такая величина допустимой погрешности, более которой не должно быть ни при одном случае измерений;
- **среднеквадратичная величина**, т.е. величина, больше которой не может быть среднеквадратичная величина всех случаев измерения;
- **допустимая погрешность для вероятности $p = 0,95$** , т. е. для 95% случаев измерений.

Нашло практическое применение задание допустимой погрешности в виде 2σ , т. е. удвоенная среднеквадратичная погрешность, предполагающая ту же вероятностную оценку при 95% случаев. Однако это неверно в принципе, поскольку 95% случаев при 2σ

справедливо только для нормального распределения погрешностей измерений. На самом деле нормального распределения в реальных задачах никогда не бывает, но возможны распределения ошибок, у которых предельное значение меньше, чем 2σ , т.е. удвоенное значение среднеквадратичной ошибки, например, равномерное распределение ($\Delta = \sqrt{3}\sigma$), арксинусоидальное распределение ($\Delta = \sqrt{2}\sigma$). Поэтому задание 2σ в общем случае неграмотно, нужно непосредственно задавать величину $p = 0,95$ (в американских нормативных документах укоренилась именно такая практика). Это будет означать, что разработчик аппаратуры имеет право отбросить 5% самых плохих значений из общего количества измерений, остальные значения должны быть меньше указанной для $p = 0,95$ величины.

В сложных комплексах, состоящих из множества звеньев, чаще всего для выходных параметров приходится задавать предельное значение погрешности. Но это значение ошибки выходной величины складывается из частных ошибок звеньев комплекса. Каждому звену тоже нужно задавать предельное значение погрешности. Возникает задача распределения ошибок между звеньями.

Погрешность выходной величины связана с погрешностями входных величин через ряд Тейлора. Если выходная величина y есть функция нескольких входных величин $x_1, x_2, \dots, x_n$, т.е.

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

то, раскладывая функцию y в ряд Тейлора, получаем:

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n + \frac{\partial^2 y}{2 \partial x_1^2} dx_1^2 + \dots$$

В тех случаях, когда все исходные (входные) параметры принимают случайные значения, принято считать дисперсию погрешности (квадрат среднеквадратичной ошибки) суммой дисперсий ошибок всех входных параметров с учетом их веса. Вес определяется в соответствии с рядом Тейлора как квадрат значения первой производной (производными высшего порядка пренебрегается). Тогда

$$D(y) = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 D(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 D(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 D(x_n)$$

или

$$\sigma^2(y) = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \sigma^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \sigma^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \sigma^2(x_n)$$

где σ - среднеквадратичные ошибки соответствующих параметров.

Полагая, что в первом приближении допустимо иметь для всех составляющих ошибки равные значения, имеем:

$$\sigma^2(y) = n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i}\right)^2 \sigma^2(x_i),$$

откуда получаем допустимое значение для среднеквадратичной погрешности i -го параметра:

$$\sigma(x_i) = \frac{\sigma(y)}{\sqrt{n} \partial y / \partial x_i}.$$

Таким образом, чем меньше вес входного параметра в выходной величине, тем больше может быть для него установлена допустимая среднеквадратичная погрешность.

Между измеряемой величиной и значением сигнала всегда имеется строгая зависимость, иначе сигналы нельзя было бы использовать для передачи измерительной информации, точно так же погрешности имеют четкую причинную связь с величиной сигнала и внешними условиями. При этом во многих случаях основная доля погрешности однозначно связана с величиной измеряемого сигнала. Эта зависимость строго детерминирована и повторяется в данном приборе с высокой точностью от измерения к измерению при повторении значения самой измеряемой величины. Повторение совокупности внешних условий при достаточно

высокой стабильности приборов гарантирует повторение величины выходного сигнала и тем самым повторение погрешности.

Детерминированность сигналов измерительных и преобразующих устройств дает возможность применения различного рода компенсаторов погрешностей, учета различного рода составляющих на основе изучения причинных зависимостей, выбора предпочтительных участков измерения с наименьшими ошибками или, наоборот, особо тщательного регулирования приборов на выбранных участках диапазонов и т.д. Таким образом, факт причинности и, как следствие, детерминированности сигналов и их погрешностей открывает широкие возможности для совершенствования информационных и измерительных устройств. К сожалению, наличие принципиальной возможности далеко не всегда означает наличие практической возможности и целесообразности.

В измерительной практике широко используется так называемое нормальное распределение, в свое время предложенное Гауссом (рис. 3.1):

$$p(\Delta x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(\Delta x - \Delta x_0)^2}{2\sigma^2}}$$

Здесь Δx_0 – математическое ожидание погрешности (среднее математическое значение погрешности); Δx – значение погрешности; σ – среднеквадратичное значение отклонения погрешности от математического ожидания.

Несмотря на то, что нормальное распределение нашло широкое применение во всевозможных вероятностных расчетах, выяснилось, что оно имеет существенные недостатки. Все они связаны с исходной моделью, положенной в основу вывода нормального распределения.

1. Нормальное распределение выведено из предположения наличия в измерительной цепи бесконечно большого числа одинаковых звеньев, каждое из которых имеет некоторый вектор, все эти вектора в пространстве расположены хаотически по равномерному закону; суммируются их проекции на общую ось. На самом деле ни одно измерительное устройство, включая и их комплекс, не имеют бесконечного числа звеньев, их число ограничено, и среди них преобладает одно звено,

иногда два, распределение погрешностей в которых и определяет распределение погрешностей всей измерительной цепи.

2. Хаотическое суммирование погрешностей бесконечного числа звеньев приводит к редким, но большим значениям погрешностей измерительной цепи, вплоть до их бесконечно большого значения, это так называемые «хвосты» нормального распределения. На самом деле, этого никогда не бывает, и расчеты «хвостов», выполненные этим способом, приводят к неверным решениям (например, при расчете эшелонирования самолетов были выданы рекомендации по сокращению погрешностей высотомеров вместо того, чтобы дать рекомендации по применению физически разнородных методов контроля за соблюдением эшелонов).

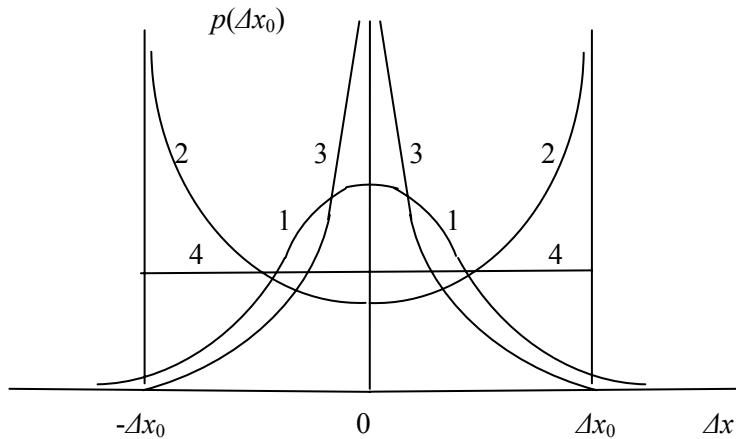


Рис. 3.1. Различные виды распределений плотности вероятности погрешностей: 1 – нормальное распределение; 2 – арксинусоидальное распределение; 3 – логарифмическое распределение 1-й степени; 4 – равномерное распределение (логарифмическое распределение нулевой степени).

В принципе, такими недостатками обладают любые непредельные распределения. Поэтому имеет смысл рассмотреть другой класс

распределений – предельных, т.е. имеющих определенные пределы и не имеющих «хвостов». В первую очередь, это арксинусоидальное распределение, логарифмические распределения различных степеней и равномерное распределение (логарифмическое распределение нулевой степени) (рис. 3.1).

Для ряда классов приборов, таких, например, как СКТ – синусно-косинусные трансформаторы, форма зависимости погрешности от величины измеряемого параметра, в данном случае – угла поворота вала СКТ, более или менее постоянна и представляет собой синусоиду – вторую геометрическую гармонику (рис. 3.2), для сельсинов с трехлучевой обмоткой – первую. Амплитуда же этой синусоиды может существенно различаться для различных СКТ, но плотность вероятности распределения погрешности и, соответственно отношение предельной погрешности к среднеквадратичному ее значению сохраняется неизменным.

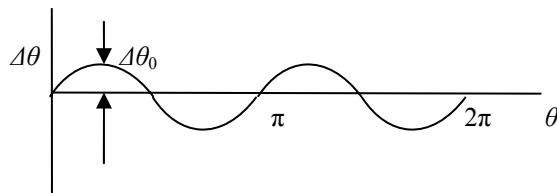


Рис. 3.2. Синусоидальная погрешность СКТ (2-я геометрическая гармоника); θ – угол поворота вала СКТ; $\Delta\theta_0$ – предельное значение погрешности.

Если значение самого угла равновероятно, как, например, в курсовых системах, то распределение погрешности по диапазону описывается арксинусоидальным распределением

$$p(\Delta x) = \frac{1}{\Delta x_0 \pi \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta x}{\Delta x_0}\right)^2}}$$

Здесь Δx_0 – величина амплитуды синусоиды погрешности.

Для некоторых других классов приборов, главным образом, регулируемых во многих точках диапазона, характерно наличие большого числа небольших погрешностей и малого числа больших погрешностей (рис. 3.3):

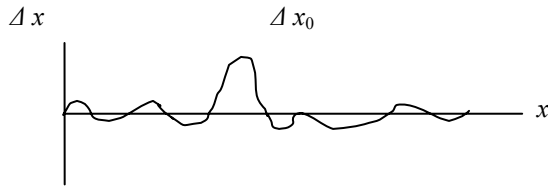


Рис. 3.3. Распределение погрешности регулируемых приборов по диапазону измерения

Их распределение описывается логарифмическим распределением той или иной степени:

$$p(\Delta x) = \frac{1}{2n! \Delta x_0} \left(-\ln \left| \frac{\Delta x}{\Delta x_0} \right| \right)^n$$

здесь n – степень распределения.

Например, для такого прибора, как барометрический электромеханический высотомер с механическим корректором (лекалом), зависимость погрешности от значения высоты может быть охарактеризована лишь статистически. Эта зависимость представляет собой логарифмический закон первой степени

$$p(\Delta x) = \frac{1}{2 \Delta x_0} \left(-\ln \left| \frac{\Delta x}{\Delta x_0} \right| \right)$$

Для цифровых приборов характерна пилообразная функция погрешности (рис. 3.4).

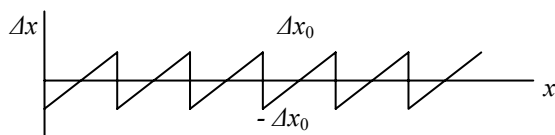


Рис. 3.4. Форма погрешности квантования в цифровых приборах

Такая погрешность в среднем распределена по диапазону равномерно, что соответствует равномерной плотности вероятности распределения погрешности по диапазону, или, что то же самое, к логарифмическому распределению нулевой степени:

$$p(\Delta x) = \frac{1}{2 \cdot 0! \Delta x_0} \left(-\ln \left| \frac{\Delta x}{\Delta x_0} \right| \right)^0 = \frac{1}{2 \Delta x_0}.$$

Для всего семейства логарифмических законов справедливо соотношение между предельной величиной Δx_0 и среднеквадратичной σ :

$$\Delta x_0 / \sigma = 3^{(n+1)/2}.$$

Если $n = 0$, имеем равномерное распределение

$$p(\Delta x) = \frac{1}{2\Delta x_0}, \quad \Delta x_0 / \sigma = 3^{1/2} = 1,73;$$

при $n = 1$ получим:

$$p(\Delta x) = \frac{1}{2\Delta x_0} \left(-\ln \left| \frac{\Delta x}{\Delta x_0} \right| \right); \quad \Delta x_0 / \sigma = 3;$$

при $n = 2$ получим:

$$p(\Delta x) = \frac{1}{4 \Delta x_0} \left(-\ln \left| \frac{\Delta x}{\Delta x_0} \right| \right)^2; \Delta x_0 / \sigma = 3^{3/2} = 5,2.$$

При этом показатель степени n вовсе не обязательно должен быть целым, поскольку $n!$ представляет собой плавную функцию от значений в пределах $(-1 \div +\infty)$

В большинстве случаев требования предъявляются к предельной величине допустимой ошибки. Тогда возникает вопрос о соотношении предельной и среднеквадратичной величин ошибки.

Как правило, для устройств, основанных на одинаковых физических принципах отношение предельной и среднеквадратичной ошибки сохраняется неизменным независимо от абсолютных значений самих погрешностей. Так, если в цифровых устройствах погрешность распределена равномерно (например, погрешность округления), то отношение предельной ошибки Δx к среднеквадратичной σx сохраняется неизменным:

$$k = \Delta x / \sigma x = \text{const.}$$

Поскольку это соотношение остается стабильным, то его можно определить на основании предыдущих выпусков изделий. Тогда величина предельной ошибки в каждом случае будет определяться через этот коэффициент и допустимую среднеквадратичную погрешность

$$\Delta x = k \sigma x.$$

Таким образом, последовательность определения допустимых погрешностей для первичных параметров следующая:

1) по значению предельной допустимой погрешности выходного параметра определяется допустимая среднеквадратичная погрешность выходного параметра;

2) определяются весовые коэффициенты входных параметров в выходной погрешности и с учетом их определяются на основе равновеликости допустимые среднеквадратичные погрешности каждой входной величины;

3) в случае чрезмерной жесткости допуска для некоторых параметров производится перераспределение погрешностей между всеми входными параметрами;

4) по заранее установленным коэффициентам определяются значения допустимых предельных погрешностей для каждого входного параметра.

3.5.2. Определение требований, предъявляемых к динамическим погрешностям

При измерении величин, изменяющихся во времени, наряду со статическими погрешностями всегда существуют дополнительные погрешности, связанные с запаздыванием процесса измерения, - динамические погрешности. Эти погрешности вызваны наличием инерционных звеньев в измерительном тракте, а также необходимостью затратить на процесс измерения некоторого времени - времени измерения.

Поскольку в процессе измерения выходная величина - результат измерения сопоставляется с входной величиной - истинным значением величины, а управление процессом измерения осуществляется разностью входной и выходной величин, то весь процесс измерения может рассматриваться с позиции теории автоматического регулирования (**рис. 2.5**).

В теории автоматического регулирования широко используется метод гармонического анализа, предполагающего спектральное разложение динамических параметров и оценку амплитудно-частотных характеристик системы, что и позволяет судить о ее динамических качествах и ее пригодности для регулирования или измерения того или иного процесса. Однако следует заметить, что не всякий динамический процесс можно разложить в частотный спектр, например процесс плавного нарастания величины. В этом плане более универсальным и в то же время более простым является метод разложения процесса в ряд Тэйлора по производным величинам, которые присутствуют в любом физическом процессе. В том же случае, когда имеется разрывная функция, имеет место переходной процесс, который может быть оценен обычным способом.

Оценка динамических свойств по качеству переходного процесса проще всего производится по единичному ступенчатому изменению входной величины.

В точке диапазона, в которой необходимо произвести оценку динамических свойств измерительного тракта, производится его отключение и входная величина изменяется на некоторое значение, считающееся единичным. Затем измерительный тракт подключается к входной величине, и он совершает определенный переходной процесс до полного завершения процесса измерения. В процессе переходного процесса имеют место погрешности, которые и являются динамическими. Основными из них являются:

- погрешность перерегулирования – относительное значение амплитуды перехода результата измерения за значение измеряемой величины;

- погрешность запаздывания, определяемая полным временем измерения от начала до завершения измерительного процесса.

Погрешность перерегулирования в явном виде сказывается на точности измерений в момент подключения измерительного тракта к процессу измерения. Если по условиям задачи нет возможности ожидать конца процесса измерения, то на ошибку перерегулирования необходимо наложить требование несоизмеримости со статической ошибкой измерительного тракта. Требование несоизмеримости определяется из условия несоизмерности дисперсий статической и динамической ошибок, т.е. дисперсия динамической погрешности должна быть на один порядок (в 10 раз) меньше дисперсии статической погрешности:

$$D_{\text{дин}} \leq 0,1 D_{\text{стат}}$$

или

$$\sigma_{\text{дин}}^2 \leq 0,1 \sigma_{\text{стат}}^2$$

откуда и определяется требование к среднеквадратичной ошибке перерегулирования:

$$\sigma_{\text{дин}} \leq (0,3 \div 0,35) \sigma_{\text{стат}}$$

Тем не менее, всегда целесообразно стремиться к полному завершению переходного процесса, что определится допустимым временем запаздывания. Для определения допустимой величины времени запаздывания (быстродействия) измерительного тракта необходимо знать статистику динамики измеряемой величины – статистические характеристики ее скоростей и ускорений. В большинстве случаев плотность распределения скоростей и ускорений реальных физических величин описывается логарифмическим законом:

$$\text{для скоростей} - p(x) = \frac{1}{2 n! v_0} \left(-\ln \left| \frac{v}{v_0} \right| \right)^n; \quad 2 \leq n \leq 2,5;$$

$$\text{для ускорений} - p(x) = \frac{1}{2 n! a_0} \left(-\ln \left| \frac{a}{a_0} \right| \right)^n; \quad 2,5 \leq n \leq 3,5.$$

Здесь v и v_0 – соответственно текущая и максимально возможная скорости изменения измеряемой величины при нормальных условиях эксплуатации; a и a_0 – то же для ускорений (для угловых скоростей и ускорений выражения те же с соответствующим изменением обозначений).

3.5.3. Понятие одновременности измерения величин в сложных комплексах

В сложных комплексах оборудования выходная величина y является функцией нескольких входных величин x_i :

$$y = f(x_1, x_2, \dots)$$

Любое текущее значение выходной величины может быть определено только в том случае, если измерение значений входных величин произведено в один и тот же момент времени. Поскольку на самом деле все входные величины измеряются в разные моменты времени, возникает вопрос о том, насколько эти моменты времени

могут различаться, чтобы не влиять существенным образом на точность выходной величины.

Всякая плавно меняющаяся функция может быть разложена в ряд Тэйлора:

$$y(t) = y(t_0) + \frac{\partial y}{\partial t_1} \Delta t_1 + \frac{\partial y}{\partial t_2} \Delta t_2 + \dots,$$

и, следовательно,

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial t_i} \Delta t_i.$$

С учетом общего числа параметров и случайности отсчетов допустимое время запаздывания измерения для каждого параметра относительно базового составит:

$$\Delta t_i = \frac{\Delta y}{\sqrt{n} \partial y / \partial t_i}.$$

Таким образом, чем меньше скорость изменения измеряемой величины, тем больше допустимый интервал запаздывания или тем ниже может быть частота измерения и передачи ее значения в комплексный вычислитель, в котором формируется значение выходной величины.

Задавая значение допустимой погрешности запаздывания как некоторую долю от общей допустимой погрешности, например, как 1/3 или 1/4 от общей допустимой погрешности, получим условие одновременности измерения в виде допустимого запаздывания для каждой входной величины, при которой погрешность выходной величины окажется в допустимых пределах. Для минимизации всей погрешности целесообразно устанавливать в многоканальных измерительных преобразователях определенную последовательность преобразования измеряемых величин, располагая их в порядке увеличения допустимого запаздывания.

3.6. Виды погрешностей и процесс измерения

3.6.1. Методические погрешности и выбор метода измерения

Выбор метода измерений определяется тем, какие ошибки этого метода – методические погрешности – допустимы для тех или иных конкретных целей, для которых проводятся измерения физических величин. Как правило, это касается косвенных измерений, поскольку косвенные измерения требуют наличия определенной функциональной зависимости между искомой величиной и непосредственно измеряемыми величинами. Выбор той или иной функциональной зависимости и определяет методическую ошибку измерений, которая есть разность между действительной величиной и величиной, полученной на основе данного косвенного измерения при отсутствии других видов ошибок.

Методические погрешности при необходимости могут быть скомпенсированы, поскольку функциональные зависимости между искомой величиной и непосредственно измеряемыми параметрами известны. Но способ компенсации существенным образом зависит от цели измерений.

Существенность методических погрешностей зависит от сущности задач, в целях которых производится измерение величин. Одни и те же методические погрешности могут быть существенными для одних задач и не иметь практического значения для других. В качестве примера можно привести измерение высоты полета самолета.

Знание высоты полета самолета необходимо при решении следующих четырех задач:

- 1) взлета самолета с аэродрома вылета;
- 2) предупреждения столкновения самолетов, занимающих разные высотные эшелоны на пересекающихся трассах;
- 3) приземлении самолета на аэродром посадки;
- 4) предупреждения столкновения самолетов с земной поверхностью и с наземными предметами.

Для решения этих задач используются разные способы измерения высоты, наиболее распространенными из которых являются барометрический и радиотехнический способы

Барометрический способ удобен тем, что в отличие от радиотехнического (радиолокационного) метода дает плавные показания и позволяет всем самолетам, находящимся вблизи друг друга, иметь одинаковую систему отсчета. Его недостатком является то, что он показывает не истинную высоту полета над пролетаемой местностью, как это делает радиовысотомер, а некоторую условную высоту относительно некоторой условной уровневой поверхности океана, отсутствующего в зоне полета. Радиотехнический способ показывает истинную высоту полета над подстилающей поверхностью, но поскольку сама эта поверхность неровная, то показания радиовысотомера непрерывно меняются, что не позволяет использовать его для определения высоты полета, поэтому его используют только вблизи аэродромов при полете над относительно ровной подстилающей поверхностью, практически только для контроля показаний барометрического высотомера.

Сама зависимость барометрического давления от высоты в первом приближении есть зависимость логарифмическая (на каждые 5 км изменения высоты давление уменьшается примерно в 2,2 раза). В настоящее время узаконена так называемая «Международная стандартная атмосфера» (МСА), в которой приведены значения давления атмосферы для всех высот в диапазоне от 0 м до 30 км. По этой шкале градуируются все барометрические высотомеры всех летательных аппаратов во всем мире.

Барометрический способ измерения высоты осуществляется с помощью барометрического высотомера, схема одного из его вариантов – механического – приведена на рис. 3.5.

Принцип измерения высоты полета самолета с помощью барометрического высотомера основан на зависимости барометрического давления атмосферы Земли от высоты над уровнем океана. Давление атмосферы воспринимается приемниками воздушного давления и по трубам передается в корпус высотомера, в котором расположена anerоидная коробка, состоящая из двух круглых спаянных между собой упругих мембран. Из anerоидной коробки выкачан воздух, поэтому внешним давлением ее мембраны прогнуты. По мере повышения высоты давление атмосферы уменьшается, и мембраны начинают распрямляться, перемещая кривошипно-шатунный механизм, поворачивающий сектор шестерни, который в свою очередь приводит в

движение повышающий редуктор со стрелкой. Стрелка перемещается по шкале, проградуированной в метрах высоты.

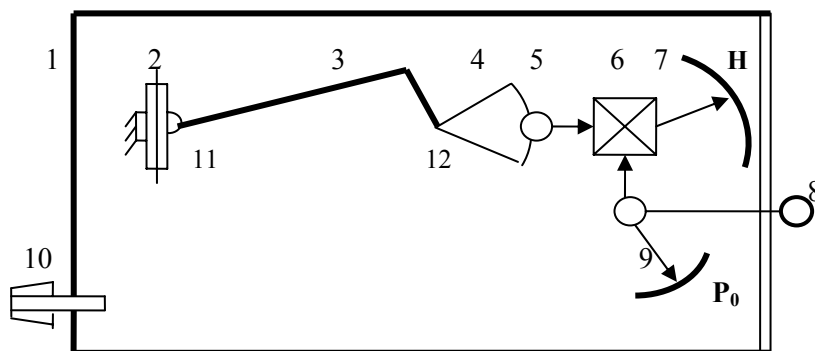


Рис. 3.5. Схема барометрического высотомера: 1 – корпус; 2 – анероидная коробка; 3 – кривошипно-шатунный механизм; 4 – зубчатый сектор; 5 – трибка; 6 – дифференциал; 7 – шкала барометрической высоты; 8 – кремальера для ввода давления на аэродроме; 9 – шкала давления дня; 10 – штуцер для подвода внешнего статического давления; 11 – точка крепления биметалла для компенсации начального прогиба анероида; 12 – точка крепления биметалла для компенсации пропорциональной высоте погрешности.

Однако следует заметить, что в основу расчетов МСА положены условия: за давление на нулевой высоте принято давление на среднем уровне моря при $t = 15^{\circ}\text{C}$, равное 760 мм рт. ст. На самом деле высота аэродрома вылета никогда не находится на уровне моря, температура на аэродроме не бывает равной 15°C , и давление отличается от 760 мм рт. ст. Методические ошибки зимой на высоте 9000 м могут составить до 1500 м, а на аэродроме могут составлять до 500 м, если изменяется давление и аэродром находится на уровне моря, и до 2500 м, если аэродром находится в горах приняты необходимые меры. При этом допустимая погрешность измерения высоты составляет всего 10 м. Поэтому для устранения этого вида ошибки в самом высотомере приняты необходимые меры: в него введен специальный механизм – дифференциал с кремальерой и дополнительной шкалой, показывающей давление дня на аэродроме взлета.

Перед взлетом летчик специальной ручкой (кремальерой) устанавливает стрелку высотомера на нулевую отметку. С этого момента и до окончания режима взлета летчик будет видеть на шкале значение высоты уже не над уровнем моря, а над аэродромом взлета. На дополнительной же шкале, помещенной в отдельном окошечке в нижней части прибора появляется значение давления дня аэродрома в миллиметрах ртутного столба.

Поскольку после взлета самолет вошел в общее воздушное пространство, где могут быть и другие самолеты, летчик обязан той же кремальерой выставить по специальной шкале давление 760 мм рт. ст., привязавшись тем самым к общей системе отсчета, связанной с условной средней уровневой поверхностью моря. И хотя теперь его высота не будет соответствовать реальной высоте над аэродромом взлета и, тем более, геометрической высоте над пролетаемой местностью, самолет будет гарантирован от столкновения с другими самолетами, поскольку высоты всех самолетов выставлены одинаково, методическая ошибка у них одна и та же, все они взаимно скомпенсированы и самолеты по высоте занимают разные эшелоны, предписанные им заранее наземной службой или определенные диспетчером.

3.6.2. Инструментальные погрешности способа измерений и выбор измерительной схемы

Для реализации одного и того же метода измерений могут быть использованы разные измерительные устройства, каждое из которых использует определенную схему измерений.

Любому измерительному устройству присущи инструментальные погрешности, величина которых определяется, во-первых, возможностями выбранной схемы измерения, во-вторых, техническими возможностями ее инструментальной реализации.

Способы измерения, положенные в основу измерительных устройств, могут быть весьма разнообразными – линейными (измерение длины, площади, объема), механическими (измерения силы, давления и пр.), электрическими (измерение напряжений, токов, мощности, сдвига фаз, электрических характеристик среды и пр.) и т.д. Соответственно меняется и характер инструментальных погрешностей.

Однако у всех измерений, независимо от использованного физического способа инструментальные погрешности могут быть следующими.

Погрешности способа измерения, связанные с погрешностями способа измерения, положенного в основу работы измерительного инструмента. Примерами являются погрешности, вызванные изменениями питания в разомкнутых схемах измерения при отсутствии таковых в замкнутых мостовых схемах измерения, погрешности квантования, характерные для цифровых измерительных преобразователей при отсутствии таковых в чисто аналоговых устройствах, погрешности трения в механических устройствах при отсутствии таковых в электронных устройствах, погрешности, связанные с не учетом внешних воздействий, например, температурные погрешности прибора, вызванные влиянием изменений температуры на его элементы при отсутствии таковых в дифференциальных системах и т.п.

Функциональные погрешности, вызванные отклонением результата измерений от заданной функции. Примерами являются погрешности кривошипно-шатунного механизма барометрического высотомера (кинематические погрешности), а также геометрические гармоники инструментальных погрешностей сельсинов или СКТ – синусно-косинусных трансформаторов.

Погрешности нечувствительности по входной величине – значение отклонения входной величины, при которой выходная величина не изменяется, То же по выходной величине – значение разброса выходной величины, при котором не изменяется входная величина. Суммарная нечувствительность может быть определена по **гистерезису** – отклонению показаний прибора при плавном подводе к требуемому значению измеряемой величина сначала от меньшего значения, а затем от большего; в разных точках диапазона измеряемой величины гистерезис будет разным.

Как упоминалось выше, методическая, так и инструментальная погрешности могут быть выражены в абсолютном и относительном выражениях. Абсолютная погрешность выражается в той же системе единиц, что и сама измеряемая величина. Относительная погрешность есть отношение абсолютной погрешности либо к диапазону ее изменения, либо к текущему значению. Отношение к диапазону целесообразно использовать тогда, когда принцип действия измерительного устройства таков, что его погрешность аддитивна, то есть не зависит от значения измеряемой величины. Второй вариант

целесообразно использовать тогда, когда погрешность измерительного устройства мультипликативна, то есть пропорциональна значению измеряемой величины, соответственно и допустимая погрешность должна задаваться как мультипликативная величина.

Во многих случаях итоговая погрешность является смешанной, включающей в себя и аддитивную, и мультипликативную составляющие. Первая часть чаще всего есть погрешность начальной выставки измерительного устройства (установка нуля), вторая часть обусловлена самим устройством прибора и характерна для большинства аналоговых измерительных устройств и аналого-цифровых преобразователей (см. рис. 2.3).

Для современного состояния техники характерно возрастание роли автоматизированных процессов измерения, сопровождающиеся увеличением количества измеряемых параметров, повышением требований к точности и стабильности измерительных устройств и расширением диапазонов измерения.

Удовлетворение подобных требований представляет собой одну из важнейших задач для всех отраслей современной техники. Решение этой задачи в свою очередь требует совершенствования элементов измерительных устройств и дистанционных передач.

Во многих случаях дистанционные передачи являются одним из элементов измерительной схемы, существенно определяющих как точность измерения, так и возможность инструментовки функциональных зависимостей, положенных в основу измерения различного рода физических величин.

Как известно, один из применяемых в метрологии процессов измерения основан на сравнении измеряемой величины с эталонной. В большинстве случаев невозможно воспроизвести единицу измерения и непосредственно сравнить измеряемую величину с эталоном – осуществить прямое измерение. В связи с этим приходится изыскивать закономерности, связывающие измеряемую величину с такими параметрами, которые могут непосредственно воздействовать на чувствительный элемент, и по степени этого воздействия косвенно определять значение искомой величины – выполнять косвенное измерение.

Результат измерения может быть представлен в виде цифр, в виде перемещения стрелки по шкале или в виде кода, поступающего в

вычислительное устройство для дальнейшей обработки и использования.

Любой процесс автоматизированного измерения предполагает совместное осуществление двух видов преобразования – физического, энергетического и информационного. Целью физического преобразования является преобразование сигнала из одного физического вида, в котором представлена непосредственно измеряемая величина, в вид, удобный для дальнейшего использования, например, для передачи по линиям связи. Цель энергетического преобразования является увеличение энергии, выделяемой при изменении измеряемой величины, используемой для воздействия на чувствительный элемент, до значения, достаточного для дальнейшего использования. Целью информационного преобразования является функциональное преобразование измеренной величины, т.е. преобразование функциональной, как правило, нелинейной зависимости выходного сигнала чувствительного элемента от его входного воздействия в другую функциональную зависимость, соответствующую общей задаче, поставленной перед всей системой.

Во многих случаях перечисленные преобразования осуществляются в одном измерительном устройстве, но во многих случаях они осуществляются разными устройствами в общем измерительном тракте.

Каждое из перечисленных преобразований сопровождается погрешностями.

Прежде чем выбирать схему измерения необходимо сформулировать требования, предъявляемые к ней. Эти требования касаются:

- диапазона изменения выходной величины и соответственно диапазона измерения непосредственно измеряемой физической величины;
- допустимых погрешностей выходной величины измерительного устройства – методической, определяемой целью использования выходной величины, и инструментальной, т.е. допустимой инструментальной погрешности на разных участках диапазона измерения;
- физического преобразования сигнала – из физического вида измеряемой величины в физический вид измеренной величины,

пригодный для дальнейшего использования; от этого зависит выбор чувствительного элемента и способ измерения;

- энергетического преобразования сигнала – усиления энергии сигнала, полученного чувствительным элементом от измеряемой величины, до значения энергии сигнала, способного быть переданным далее по линии связи приемнику и быть им воспринятым без недопустимых искажений;

- информационного преобразования – определения функциональной зависимости выходного сигнала от входной величины; от этого зависит определение звена измерительного тракта, в котором будет производиться это преобразование;

- энергетического обеспечения измерительной схемы; от этого зависят параметры источника питания измерительной схемы.

Сами измерительные схемы могут быть разбиты на два больших класса – разомкнутые и замкнутые.

К разомкнутым измерительным схемам могут быть отнесены все те устройства, которые на своем выходе имеют сигнал, один из параметров которого пропорционален измеряемой величине.

В качестве примера может быть приведена схема измерения напряжений в твердом теле с помощью тензометрических датчиков.

Тензометрический датчик представляет собой тонкую металлическую проволоку или фольгу, зигзагом расположенную на специальной подложке, которую наклеивают на деформируемую конструкцию так, чтобы при деформации могла меняться длина проволоки. При деформации проволока растягивается, и сопротивление ее увеличивается. При сжатии проволока сжимается, и сопротивление ее уменьшается. Таким образом, по величине сопротивления тензодатчика можно судить о величине деформации конструкции.

Самой простой схемой измерения является схема, приведенная на рис. 3.6а-б. Датчик запитывается постоянным напряжением и о величине его сопротивления судят по величине тока. Достоинством такой схемы является простота, недостатком – необходимость стабилизации питающего напряжения. Если напряжение не стабилизировано, то изменения тока, вызванные изменением питающего напряжения, будут приниматься за деформацию конструкции. То же относится и к температурным изменениям сопротивления тензодатчика.

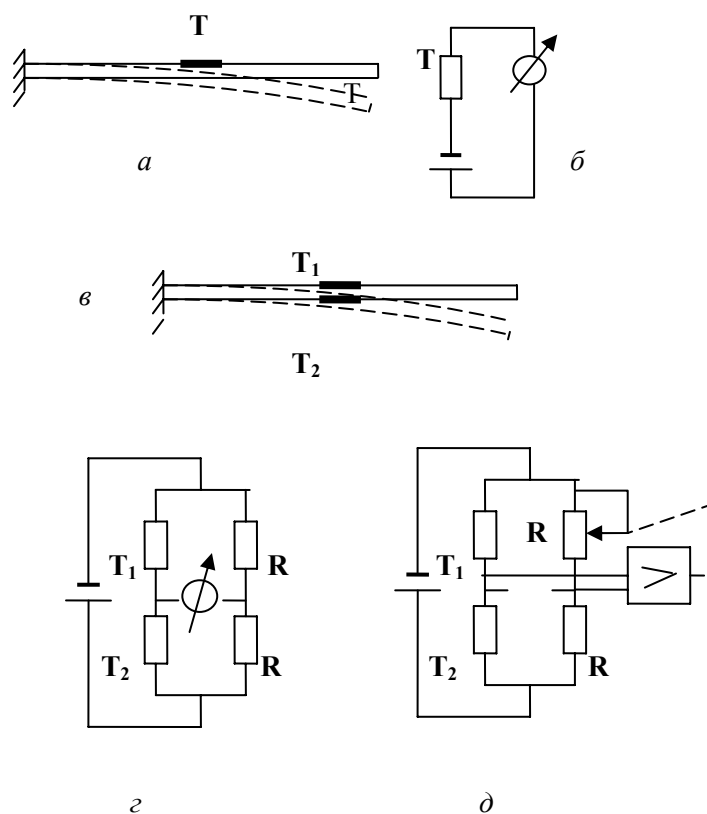


Рис. 3.6. Измерение растяжений балки с помощью тензометров: а – установка одного тензометра на балке; б – схема включения тензометра в измерительную цепь; в – установка двух тензометров на балке; г – включение двух тензометров в мостовую разомкнутую схему; д – включение двух тензометров в замкнутую мостовую схему

Для компенсации температурных изменений в некоторых случаях, например, в биметаллах, используют два тензодатчика – один, измеряющий растяжение конструкции, другой – ее же сжатие (рис. 3.3 в-д). Оба датчика включают в общую мостовую схему, в которой

температурные изменения сопротивлений тензодатчиков уже не будут сказываться. Но проблема стабилизации питания остается.

Другим примером разомкнутой схемы является схем преобразования угла поворота вала в код с помощью фазовращателей типа СКТ – синусно-косинусного трансформатора (рис. 3. 7).

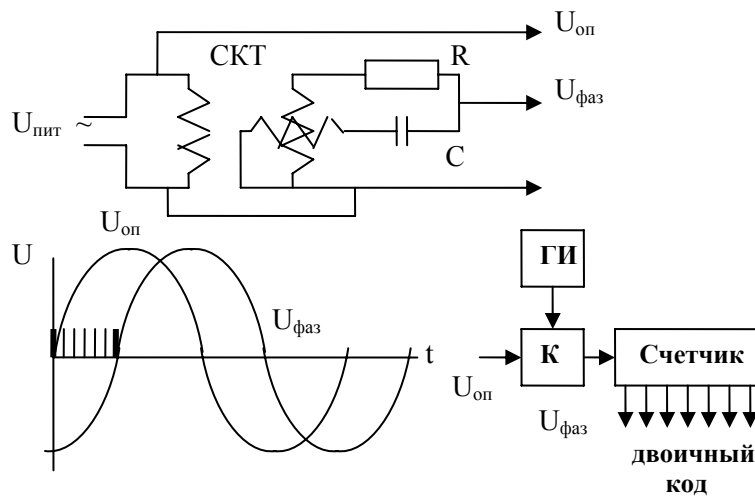


Рис. 3.7. Преобразование угла в код с помощью СКТ в режиме фазовращателя: $U_{оп}$ – опорное напряжение; $U_{фаз}$ – фазовое напряжение; ГИ – генератор импульсов; К – ключ.

Здесь угол поворота ротора СКТ приводит к изменению фазы выходного напряжения. Измерение фазы, пропорциональное углу поворота вала, производится с помощью заполнения промежутка между опорным напряжением и выходным напряжением калиброванными импульсами, число которых будет пропорционально углу поворота вала. Достоинством такой схемы является ее простота, недостатком – зависимость от температуры и относительно низкая точность, которая определяется параметрами схемы больше, чем инструментальной погрешностью СКТ. Здесь существенными являются зависимости выходного сигнала не только от температуры, которая приводит к изменением параметров всех элементов, входящих в схему,

но и от состава высших гармоник питающего напряжения, что представляет собой отдельную проблему, а также от стабильности частоты питающего напряжения. Все это привело в авиационном оборудовании к отказу от применения подобных схем.

В замкнутых (мостовых) схемах изменение параметров чувствительного элемента, например, сопротивления тензодатчика, уравнивается изменением параметров другого элемента, входящего в измерительную схему. При этом выходным сигналом является не выходное напряжение схемы, которое всегда устанавливается равным нулю, а сам этот параметр. В схеме с тензометром таким элементом является сопротивление плеча моста, уравнивающего сопротивление тензометра. Достоинством такой схемы является независимость показаний от изменений питающего напряжения.

Для того чтобы исключить в указанной схеме зависимость от изменений температуры, желательно иметь в ней два тензометра по типу схемы рис. 8. , а уравнивание схемы производить с помощью изменения других сопротивлений, включенных в мостовую схему.

В схеме рис. 3.6. угол поворота ротора СКТ приводит к изменению фазы выходного напряжения. Измерение фазы, пропорциональное углу поворота вала, производится с помощью заполнения промежутка между опорным напряжением и выходным напряжением калиброванными импульсами, число которых будет пропорционально углу поворота вала.

Другим примером является применение СКТ для преобразования угла поворота вала в код в схеме активного моста (рис. 3.8). Поворот вала СКТ приводит к изменениям выходных напряжений одного по синусоидальному, второго по косинусоидальному законам. Отношение этих напряжений соответствует тангенсу углу поворота и не зависит от величины и формы питающего напряжения.

Для преобразования угла поворота вала в код здесь используется всего лишь один полупериод питающего напряжения, при этом весь угол поворота в 360^0 разбивается на 8 октантов по 45^0 , что позволяет в одном отсчете иметь до 13 и более разрядов кода. Содержание гармоник в питающем напряжении может быть любым, вплоть до питания СКТ прямоугольным импульсом, что и реализовано на практике в некоторых устройствах, включающих в себя несколько сотен СКТ: все СКТ этих устройств поочередно запутываются

прямоугольным импульсом от общего аккумулятора. При питании же ротора СКТ обычным бортовым напряжением оказалось возможным один и тот же датчик использовать в системе измерений угла, включающей в себя не только преобразование угла в код, но и дистанционную передачу угла, и преобразование угла поворота вала в напряжение с помощью фазовых детекторов.

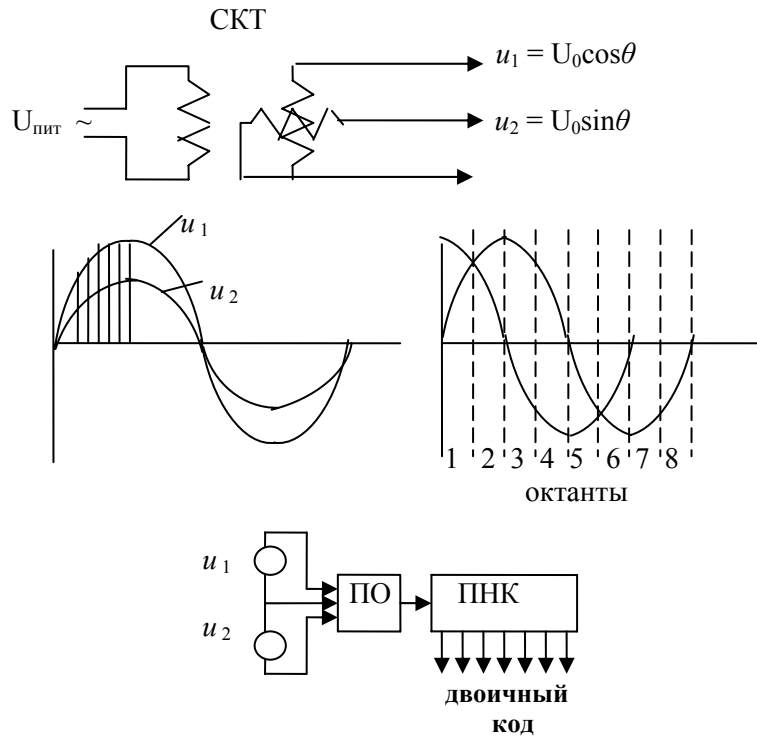


Рис. 3.8. Преобразование угла поворота вала в код с помощью СКТ по принципу амплитудного уравнивания: СКТ – синусно-косинусный трансформатор; ПО – переключатель октантов; ПНК – преобразователь напряжение-код

Возможность СКТ-датчика обеспечить в такой схеме до 20 потребителей разного назначения при их разбросанности по всему самолету привела к широкому применению этой схемы в авиации. Погрешность преобразования здесь определяется погрешностями изготовления СКТ-датчика.

Таким образом, среди многочисленных вариантов измерительных схем не все реально пригодны для применения, поэтому всегда целесообразен предварительный анализ и сопоставление требований, предъявляемых к измерению параметров, с возможностями измерительных схем с учетом, с одной стороны, необходимой точности измерения и, с другой стороны, сложностью схемы.

При построении измерительной схемы могут существенное ухудшение точности измерений внести соединительные провода, поэтому всегда желательно все элементы измерительной схемы располагать вблизи друг друга. Если же это невозможно, то необходимо оценивать дополнительные погрешности, вносимые проводами в процесс измерения.

Для того чтобы уменьшить погрешности, вносимые внешними помехами в измерительную схему при невозможности расположения ее элементов вблизи друг друга, целесообразно применять бифилярные или трифилярные линии связи, скручивая провода один жгут с тем, чтобы наводимые со стороны помех паразитные наводки были одинаковы и в приемнике могли компенсировать друг друга (применение дифференциальных схем). Следует напомнить, что бифилярными и трифилярными линиями связи являются не просто скрученные два и три провода, а такие, в которых сумма всех пропускаемых по проводам токов в любой момент времени равна нулю.

3.6.3. Повышение точности измерения при мультипликативном распределении погрешностей.

В ряде случаев весьма эффективным способом сокращения погрешностей может явиться учет особенностей распределения параметра и особенностей распределения погрешностей измерительного устройства. В качестве примера можно привести применение СКТ – синусно-косинусного вращающегося трансформатора для преобразования значений крена и тангажа самолета в электрический сигнал.

Если задача, в которой используется данная величина, носит интегральный характер и если в качестве измерительного элемента для этих величин используется устройство с мультипликативными погрешностями (погрешность пропорциональна значению самой величины), то следует, обратив особое внимание на выставку измерительного устройства, установить его так, чтобы на наиболее частое значение параметра приходилось нулевое значение погрешности измерительного устройства. Это достигается с помощью соответствующей методики начальной выставки измерительного устройства. Тогда итоговая среднеквадратичная величина может оказаться в десятки раз меньше, чем погрешность самого измерительного устройства (рис. 3.9), и следовательно, допустимая погрешность на измерение параметра, а значит, и на само измерительное устройство может быть значительно расширена без какого бы то ни было увеличения погрешности выходной величины.

Как уже указывалось, плотность распределения параметров крена и тангажа подчиняется логарифмическим законам распределения. Погрешности СКТ подчиняются синусоидальному закону, жестко привязаны к углу поворота ротора СКТ, а на участке рабочих изменений крена и тангажа в пределах порядка $\pm 30^\circ$ имеют четко мультипликативный характер. Совмещение нулевого положения роторов СКТ с нулевыми значениями крена и тангажа приводит к тому, что при этих значениях наиболее частым значениям крена и тангажа (нулевым) соответствует минимальная погрешность СКТ, это достигается специальной методикой, приведенной в инструкции начальной выставки. Наибольшей ошибке СКТ в диапазоне изменения крена и тангажа соответствуют наиболее редкие случаи (рис. 2.8.). В совокупности это приводит к сокращению среднеквадратичной ошибки измерения крена и тангажа в 10-20 раз. В свое время это обстоятельство позволило отказаться в инерциальных системах от установки вторых СКТ точного отсчета, т.к. оказалось, что одного СКТ грубого отсчета вполне достаточно. В свою очередь это привело к облегчению и упрощению инерциальных систем.

Так, для пассажирских самолетов плотность вероятности распределения угла крена аппроксимируется логарифмическим распределением первой степени, а тангажа – степенью 2,5. В первом случае отношение предельной ошибки к среднеквадратичной составляет 3, во втором случае – 7. Распределение же скоростей изменения крена и тангажа соответствует логарифмической

зависимости 2-й степени, а курса – степени 2,5. Это означает, что отношение предельной скорости к среднеквадратичной скорости изменения параметров крена и тангажа составляет 5,2, а для курса – 7. Также распределяются и их статические и динамические погрешности.

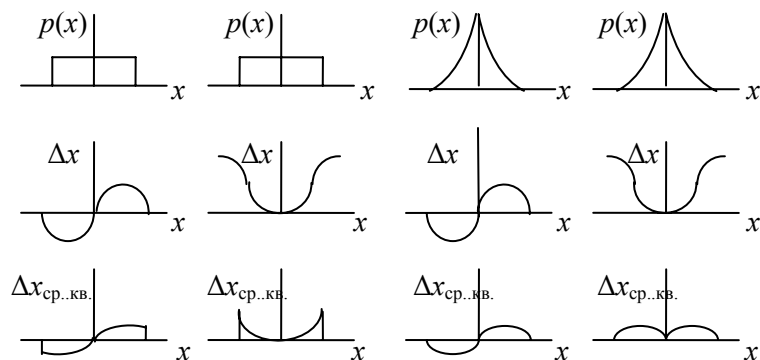


Рис. 3.9. Сокращение интегральной погрешности при мультипликативной погрешности измерителя и неравномерном распределении значений параметра во времени

Поэтому, определив однажды значение предельной статической и динамической ошибок, можно по этим значениям найти их среднеквадратичные значения, которые и используются в основных расчетах. При задании динамических параметров измерительных систем это может иметь важное значение, т. к. ориентация не на предельные, а на среднеквадратичные скорости позволяет в ряде случаев значительно упростить требования к динамическим параметрам некоторых измерительных устройств.

3.7. Обработка результатов измерений

Использованию результатов измерений предшествует их обработка, которую можно разделить на три этапа – предварительную, первичную и вторичную обработки.

Задачей предварительной обработки материалов является выбраковка изначально непригодного для использования материала. В фотограмметрических измерениях, например, необходимо отбраковать фотопленки по качеству изображения и по условиям съемки, в которых важную роль играют углы крена и тангажа: при превышении их значений больше предельно допустимого (обычно пределом является 5 градусов) снимки отбрасываются. В других случаях при автоматическом измерении автоматически отбрасываются так называемые «выбросы», обусловленные проникновением в измерительный тракт внешних помех – электромагнитных, механических и т.п., для этого существует система входного контроля.

Задачей первичной обработки является функциональная обработка результатов измерений так, чтобы они отражали процесс в натуральном масштабе времени. Например, при траекторных измерениях полета самолета результатом первичной обработки являются его координаты, которые могут быть получены различными способами, в том числе и на основе косвенных измерений многих величин.

Задачей вторичной обработки является представление материала в удобном для использования виде, например, в виде среднеквадратичных ошибок всего комплекса измерений. Обычно вторичная обработка требует определенной статистики, и это статистическая обработка материалов. При этом возникает проблема систематических и случайных ошибок.

Выводы

1. **Квалиметрия** – научная дисциплина, объединяющая методы оценки качества объектов и процессов. **Качество** есть совокупность свойств объекта (процесса), благодаря которой он является именно этим, а не иным объектом (процессом). Свойства объекта (процесса) состоят в том, чтобы производить в других объектах (процессах) те или иные действия.

Качество продукции есть совокупность свойств продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Свойства, составляющие качество продукции, характеризуются с помощью величин, называемых **показателями качества продукции**, которые должны иметь количественную характеристику.

Любой предмет представляет собой единство качества и количества.

2. **Измерение** есть операция, посредством которой определяется отношение одной (измеряемой) величины к другой однородной величине, принимаемой за единицу; число, выражающее такое отношение, называется численным значением измеряемой величины.

Законченное измерение включает:

- объект измерения;
- свойство объекта, которое характеризуется измеряемой величиной;
- единицу измерения;
- технические средства измерения, градуированные в выбранных единицах измерения;
- наблюдателя или регистрирующее (или преобразующее) устройство;
- окончательный результат измерения.

Измерения в метрологии подразделяются на прямые, косвенные, совокупные и совместные. Различают также абсолютные и относительные измерения.

Измерения производятся с помощью измерительных устройств – средств измерений, предназначенных для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, преобразования и (или) использования в автоматических системах управления. Это категория средств, охватывающих измерительные приборы, измерительные преобразователи и измерительные усилители.

3. Измерение любой величины требует затраты энергии от самой этой величины, что искажает саму измеряемую величину. Поэтому искажения, вносимые в измеряемую величину измерительным устройством всегда должны оцениваться и при необходимости учитываться.

Критерием допустимости вносимой погрешности может являться положение о том, что погрешность, вносимая в измеряемую величину измерительным устройством, должна быть на порядок меньше допустимой для данного измерения общей погрешности.

4. Материальные объекты можно условно разделить на две группы – готовые изделия и вновь создаваемые изделия. Параметры готовых

изделий оговариваются в соответствующих справочниках или технических условиях. Для вновь создаваемых изделий разрабатываются технические задания (ТЗ).

Для готовых изделий целесообразно назначать ряды значений параметров и ряды (классы) допустимых погрешностей.

Для вновь проектируемых устройств необходимо устанавливать один из трех видов допустимой погрешности: предельную величину, среднеквадратичную величину или допустимую погрешность для $p = 0,95$, т.е. для 95 % случаев измерений.

Определение допустимых статических величин погрешностей для сложных комплексов целесообразно определять через среднеквадратичные погрешности с пересчетом затем их для каждого звена комплекса в предельные допустимые погрешности. Определение допустимых динамических погрешностей (перерегулирования или запаздывания) могут определяться из условия несоизмеримой малости по отношению к статическим погрешностям.

5. Погрешности измерений классифицируются по разным признакам:

- по источнику погрешности: методические и инструментальные;
- по физическому содержанию: абсолютные и относительные
- по виду функции: аддитивные и мультипликативные;
- по признаку повторяемости: систематические и случайные.

6. Выбор метода измерений определяется тем, какие ошибки этого метода – методические погрешности – допустимы для тех или иных конкретных целей, для которых проводятся измерения физических величин. Методические погрешности при необходимости могут быть скомпенсированы, поскольку функциональные зависимости между искомой величиной и непосредственно измеряемыми параметрами известны. Но способ компенсации существенным образом зависит от цели измерений.

7. Инструментальные погрешности имеют ряд составляющих:

- **методические инструментальные погрешности**, связанные с погрешностями метода измерения, положенного в основу работы измерительного инструмента;
- **функциональные инструментальные погрешности**, вызванные отклонением результата измерений от заданной функции;
- **погрешности нечувствительности**;
- **погрешности изготовления и сборки**.

Все эти составляющие могут носить как аддитивный, так и мультипликативный характер. В ряде случаев целесообразно учитывать характер погрешностей для повышения общей точности измерений.

8. Выбор схемы измерения определяется требованиями, предъявляемые к ней. Эти требования касаются:

- диапазона изменения выходной величины и соответственно диапазона измерения непосредственно измеряемой физической величины;
- допустимых погрешностей выходной величины измерительного устройства – методической и инструментальной;
- физического преобразования сигнала;
- энергетического преобразования сигнала;
- информационного преобразования;
- энергетического обеспечения измерительной схемы.

9. Использованию результатов измерений предшествует их обработка, которую можно разделить на три этапа – предварительную (выбраковка изначально непригодного для использования материала), первичную (функциональная обработка результатов измерений с целью представления материала в натуральном масштабе времени) и вторичную обработки (представление материала в удобном для использования виде).

10. Разделение погрешностей на систематические и случайные условно и отражает всего лишь степень незнания источников погрешностей или дороговизну их учета или компенсации, а не принцип устройства природы. Принципиально точность измерения может быть доведена до любой наперед заданной величины.

Глава 4. Технический синтез каналов связей

4.1. Категории и задача синтеза каналов связи

Взаимодействие различных устройств комплексов оборудования обусловлено обменом между ними **информацией** (от лат. informatio – разъяснение, изложение) – сведениями о значениях некоторых физических величин, необходимых для выполнения заданных функциональных задач. При этом это лишь новые сведения, передаваемые от

одного объекта – **датчика** (источника) **информации** – другому объекту – **приемнику информации**. Если эти сведения уже имеются в приемнике, то, в принципе, такие сведения информацией не являются.

Информация всегда передается с помощью **сигнала** (от лат. signum – знак) – физического носителя информации, одна из характеристик которого имеет однозначную связь с передаваемыми сведениями. Значение выбранной характеристики приводится в соответствие со значением информации, т. е. производится **кодирование** сигнала в определенном масштабе.

Строго говоря, информация и сигнал всегда соответствуют друг другу. Любая информация всегда выражается в виде какого-либо физического сигнала. Свойства любого физического сигнала могут быть охарактеризованы количественно и, следовательно, содержат в себе информацию. При этом общее число количественных показателей, которыми может быть охарактеризован сигнал, как и любое явление, вообще говоря, бесконечно велико. Однако сигнал необходим и полезен лишь постольку, поскольку он содержит сведения о величинах, интересующих потребителя информации. Из всех же показателей, характеризующих сигнал, только весьма ограниченное их число, обычно лишь один показатель, отражают эти сведения и являются, следовательно, существенными. Таким образом, как качество, так и количество информации, содержащиеся в сигнале, зависят как от источника, так и от потребителя информации.

Передача сигнала из одного устройства в другое сопровождается **трансляцией** сигнала – переносом сигнала в пространстве с помощью промежуточной среды, связывающей источник информации с приемником информации, – **линии связи**. В комплексах оборудования линии связи, как правило, выполняются с помощью электрических проводов.

Совокупность линии связи, обеспечивающей трансляцию сигнала, а также входного и выходного по отношению к линии связи преобразователей вида сигнала, обеспечивающих сопряжение линии связи с устройствами, входящими в состав датчика и приемника информации, является **каналом связи** (рис. 4.1).

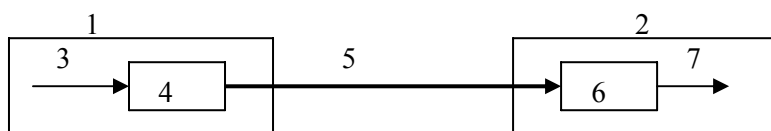


Рис. 4.1. Типовая структура канала связи: 1 – источник информации; 2 – приемник информации; 3 – сигнал, поступающий в канал связи; 4 – входной (по отношению к линии связи) преобразователь вида сигнала в источнике; 5 – линия связи; 6 – выходной (по отношению к линии связи) преобразователь вида сигнала в приемнике; 7 – сигнал, поступающий из канала связи в приемник.

Важным элементом канала связи является входной и выходной по отношению к линии связи **преобразователи вида сигнала**.

Задача первого заключается в преобразовании сигнала из вида, полученного в результате измерения физического параметра, в вид, удобный для передачи сигнала по линии связи. Задача второго – в преобразовании вида сигнала, поступившего из линии связи, в вид, пригодный для использования дальнейшим потребителем – вычислительным или исполнительным устройством.

Совокупность всех каналов связи в комплексе оборудования есть **система связей**. Совокупность чувствительного элемента измерительного устройства, непосредственно воспринимающего первичную физическую величину, канала связи и воспринимающих устройств, реализующих полученную информацию, есть **информационный тракт**.

Задачей синтеза системы связей, составляющей неотъемлемую часть всего комплекса оборудования, является такое ее построение, при котором обеспечивается надежная, высокоточная и помехоустойчивая трансляция всей необходимой информации между всеми датчиками и приемниками информации, составляющих комплекс оборудования при наименьших затратах аппаратуры на передачу и преобразование сигналов, несущих информацию.

Информация и сигнал в процессе передачи и использования преобразуются. В большинстве случаев преобразователи сигналов конструктивно размещаются непосредственно в датчиках и приемниках информации и являются соответственно их выходными и входными устройствами.

Возможны два вида преобразования.

Преобразование сигнала с изменением его физического вида при сохранении информационного содержания. В качестве преобразователей сигналов используются различные, главным образом, электрические устройства – преобразователи перемещения в напряжение, преобразова-

тели «напряжение-код» и «код-напряжение» и т.д. Но могут быть и механические, пневматические и т. п. преобразователи, например, типа анероидной коробки, преобразующей давление в перемещение.

Необходимость преобразования сигналов из одного вида в другой (физическое преобразование) вызвана, прежде всего, разнородностью воспринимаемых измерительными устройствами физических величин – углов положения, радиосигналов, магнитного и гравитационного полей, ускорений, давлений и т. п. При этом большинство измеряемых величин не электрические. Устройства же обработки сигналов, обеспечивающие информационные преобразования сигналов, обычно являются электрическими, приспособленными для работы с электрическими сигналами. В тех же случаях, когда измеряются электрические сигналы, такие, как напряжение, сила тока, электрическая мощность, сдвиг фаз и т. п., диапазоны измеряемых величин и их вид зачастую не соответствуют диапазонам измерения и виду сигналов, пригодных для потребителя информации.

Таким образом, необходимость физического преобразования сигналов из одного вида представления в другой, так же как и необходимость информационного преобразования является типичной для комплексов оборудования.

Преобразование информации – это изменение вида информации при сохранении вида сигнала. Преобразование информации производится с помощью информационных преобразователей, в качестве которых используются как простые механические устройства типа, например, плоских механизмов – кривошипно-шатунных, куличных и т. п., так и сложные типа цифровых вычислительных машин.

Как правило, изменение информации в сигнале всегда сопровождается преобразованиями вида сигнала, а изменение физического вида сигнала связано с информационными потерями. Таким образом, любое устройство выступает в роли и информационного преобразователя, и преобразователя вида сигнала. Тем не менее, один из процессов всегда является главным, а второй второстепенным применительно к конкретным целям.

Необходимость преобразования информации из одного вида в другой связана с тем, что вид информации, необходимый потребителю, как правило, не совпадает с видом информации, получаемой от первичных измерительных устройств. Например, для получения координат в инерциальных системах применяются акселерометры –

измерители ускорений. Здесь ускорения являются первичной информацией, но для получения координат требуются вычислители – преобразователи информации.

Требования передачи информации с помощью канала связи (тезис) ограничиваются возможностями создания сигнала датчиком информации, передачи сигнала по линиям связи и возможностями восприятия сигнала приемником информации (антитезис), что заставляет изыскивать методы, как изменения видов сигнала, так и выбора принципиальных и схемных решений устройств передачи и преобразования сигнала (синтез). Особенностью синтеза канала связи является то, что выбор тех или иных решений при разработке элементов каналов связи оказывает очень сильное влияние на физические и информационные характеристики, как самого датчика, так и приемника информации. Например, применение преобразователя перемещения контактного типа в гироскопических устройствах может, благодаря моменту трения в щетках преобразователя, привести к недопустимо большим искажениям показаний гироскопа, хотя канал связи с высокой точностью передаст эти искаженные показания.

Поэтому проведение синтеза канала связи должно сопровождаться непрерывным сопоставлением физических и информационных характеристик всех устройств, образующих информационный тракт.

При этом должны выполняться следующие требования:

- обеспечение **физического соответствия** датчиков и приемников информации при одновременной минимизации числа видов и уровней электрических сигналов связей с целью обеспечения минимизации оборудования, используемого каналами связей, при этом должны быть учтены требования высокой надежности и помехоустойчивости передачи и приема сигналов, предъявляемые к каналам связей;
- обеспечение **энергетического соответствия** датчиков информации приемникам информации и линиям связи с целью обеспечения наименьшего влияния линий связи и приемников информации на физические параметры сигналов, выдаваемых источниками информации;
- обеспечение **информационного соответствия** датчиков и приемников информации и каналов связей с целью минимизации погрешностей, вносимых устройствами сопряжения, входящими в состав каналов связей.

Физическое соответствие источников и приемников информации друг другу и в любых сочетаниях может быть обеспечено тогда, когда источники и приемники информации обмениваются сигналами одного и того же вида. Минимизация затрат на создание всей системы связей, охватывающей все каналы связей комплекса, будет обеспечена в том случае, если все каналы связей комплекса будут выполнены по единому принципу передачи и преобразования сигналов. Следовательно, при синтезе каждого из каналов связей необходимо использовать общие принципы и схемные решения построения каналов связей для передачи разнообразных параметров, имеющих в комплексах оборудования.

Такая унификация сигналов позволяет обеспечить независимое друг от друга изменение, развитие и совершенствование систем, что позволяет установить вновь разработанное устройство на место устаревшего, не меня остальных устройств, образующих комплекс.

Энергетическое соответствие источников информации приемникам информации и линиям связи может быть обеспечено в том случае, если в качестве носителя информации выбран такой параметр сигнала, который не изменяется при изменении длин линий связи, изменении общей конфигурации сети связей, изменении числа приемников информации в пределах максимально возможных для комплексов оборудования данного назначения изменений. Это означает необходимость такой нагрузочной способности выходного каскада источника информации, чтобы изменение разветвлений линий связи и числа подключенных к ним приемников информации не искажали передаваемую информацию, даже если при этом искажается сигнал, несущий информацию.

Информационное соответствие приемников информации и линий связи источнику информации может быть обеспечено тогда, когда используемый сигнал обладает способностью передать всю необходимую информацию за заданное время, внося при этом несоизмеримо малые по сравнению с уже внесенными источником информации погрешности. Это означает необходимость применения такого способа передачи и приема информации от нескольких источников информации, чтобы была обеспечена их эквивалентная одновременность.

Выполнение перечисленных требований позволяет обеспечить независимое друг от друга изменение отдельных систем и устройств

комплекса без изменения других систем и устройств, что весьма важно для обеспечения поэтапного развития всего комплекса.

4.2. Обеспечение физического и энергетического соответствия датчиков и приемников информации

Необходимость преобразования сигнала из одного вида в другой (физическое преобразование) вызвана, прежде всего, разнородностью воспринимаемых измерительными устройствами (датчиками) физических величин. При этом большинство измеряемых величин неэлектрические. Устройства же обработки сигналов, обеспечивающие информационные преобразования сигналов, обычно являются электрическими, приспособленными для работы с электрическими сигналами.

В тех же случаях, когда измеряются электрические сигналы, такие, как напряжение, сила тока электрическая мощность, сдвиг фаз и т.п., их вид и диапазоны измеряемых величин не соответствуют виду сигнала и диапазонам измерения приемника информации. Таким образом, физическое преобразование сигналов из одного вида в другой, является типичным для комплексов оборудования. При этом выбор тех или иных решений при разработке элементов каналов связи оказывает очень сильное влияние на физические и информационные характеристики, как самого источника, так и приемника информации. Например, применение преобразователя перемещения контактного типа в гироскопических устройствах может из-за наличия момента трения в щетках преобразователя привести к недопустимо большим искажениям показаний гироскопа, сам же канал с высокой точностью передаст эти искаженные показания. Поэтому проведение синтеза канала связи должно сопровождаться сопоставлением физических и информационных характеристик всех устройств, образующих информационный тракт – последовательную цепь чувствительного элемента, канала связи и воспринимающих (исполнительных) устройств, реализующих полученную информацию, а также учитывать конструктивную возможность размещения преобразователей сигналов в этих устройствах.

Поскольку сигнал есть физический носитель информации, он должен быть выражен в виде некоторой материальной физической

величины, иметь определенную структуру и энергию. Все это – сама физическая величина, ее структура, ее энергия завязаны в единый узел и друг без друга невозможны.

Среди всех физических характеристик датчиков и приемников информации решающее влияние на возможность их сопряжения оказывают:

- для датчика информации
 - вид выходного сигнала – вид представления физического носителя информации;
 - уровень выходного сигнала – величина, численно выражающая значение сигнала в единицах физического носителя информации;
 - мощность выходного сигнала (или характеристика, производная от мощности, например, допустимая нагрузка);
- для приемника информации
 - вид входного сигнала;
 - уровень входного сигнала;
 - потребляемая мощность (или характеристика, производная от мощности, соответствующая аналогичной характеристике датчика информации).

Унификация видов, уровней и энергетических характеристик выходных сигналов датчиков и соответствующих характеристик приемников информации позволяет обеспечить независимое друг от друга изменение, развитие и совершенствование, как датчиков, так и приемников, что имеет большое значение, так как часто оказывается необходимым установить вновь разработанную систему – датчик или приемник – на место устаревшей, не меняя остальных устройств, образующих комплекс оборудования. Несоответствие же этих характеристик приводит к необходимости введения дополнительных промежуточных устройств, что крайне нежелательно.

Сопоставление возможных характеристик выходных сигналов датчиков и входных сигналов приемников выявляет степень их несоответствия, которое может быть ликвидировано путем изменения их характеристик.

Несмотря на то, что носители исходной информации физически весьма разнообразны, всегда удастся преобразовать их либо в механические величины – углы, перемещения, частоты, либо в электрические – напряжения, токи, сдвиги фаз, последовательности импульсов (частоты, временные интервалы, коды и т. п.). Учитывая,

однако, что линии связи (провода) предназначены для передачи только электрических, а не механических величин, последние должны быть преобразованы в электрические сигналы с помощью электрических преобразователей перемещения.

Как известно, существует очень большое число видов электрических преобразователей перемещения. Однако далеко не любые из них можно использовать в конкретных устройствах. При обеспечении совместимости видов сигналов разработчик конструкции может столкнуться с весьма серьезными трудностями, связанными с необходимостью обеспечения конструктивной и эксплуатационной совместимости собственно преобразователя перемещения с датчиком информации. При этом следует учитывать:

- допустимые объем (габариты) и массу;
- необходимость сопряжения подвижных и неподвижных частей;
- количество проводов, необходимых для подсоединения преобразователя;
- внешние условия (температура, влажность, вибрации и т. п.).

Необходимость удовлетворения всех требований приводит к резкому ограничению возможностей выбора преобразователей.

Так, ограничение объема, который может быть использован для установки преобразователя, заставляет предпочитать реостатные, емкостные или индуктивные преобразователи, отказываясь от фотометрических, требующих применения громоздкой оптической системы. Минимизация числа проводов, вызванная, например, трудностями обеспечения большого числа подвижных контактных соединений, требует отказа от использования преобразователей «угол – код», вырабатывающих сигнал в виде параллельного двоичного кода. Высокие температуры заставляют отказаться от применения электронных транзисторных устройств в месте установки преобразователя и т. д. Следовательно, в результате анализа необходимо из всех возможных видов преобразователей выбрать такие, которые бы удовлетворяли всем жестким требованиям, предъявляемым к конкретному оборудованию.

На выбор того или иного вида преобразователя решающее влияние оказывает устройство приемников информации и состояние элементной базы. Например, одновременная передача информации об угле поворота вала цифровому вычислителю и аналоговому индикатору может быть решена несколькими путями:

- а) установкой на валу двух преобразователей – преобразователя «угол – код» для выдачи сигнала вычислителю и аналогового преобразователя углового перемещения (потенциометр, сельсин, синусно-косинусный трансформатор) для выдачи сигнала индикатору;
- б) установкой на валу только аналогового преобразователя типа СКТ (синусно-косинусного трансформатора) с последующим электронным преобразованием аналогового сигнала в код;
- в) установкой на валу только преобразователя «угол – код» с последующим электронным преобразованием кода в напряжение для индикатора или без него.

При использовании и вычислителем, и индикатором сигналов одного и того же вида, например, кода, схемы упрощаются: нужно устанавливать на валу датчика только преобразователь, обеспечивающий преобразование угла в код либо непосредственно, либо с промежуточным переходом через напряжение.

В первом случае требуется установка на общем выходном валу датчика информации двух преобразователей, что в большинстве случаев выполнить нельзя. Остальные варианты принципиально возможны, но установка преобразователя «угол-код» требует, как правило, большего числа соединений, чем в случае установки СКТ. Чрезмерное число соединений всегда неудобно, а в ряде случаев и недопустимо. Оставшиеся варианты, предусматривающие установку на валу аналогового преобразователя, достаточно удобны, и могут быть рекомендованы. Выбор того или иного решения определяется состоянием элементов, требованиями надежности и т. п. Использование в последнем случае СКТ с возбуждением его ротора одиночным импульсом позволяет существенно сократить размеры СКТ, однако делает его непригодным для использования в аналоговых дистанционных передачах. В случае же отсутствия необходимости в таких передачах этот вариант оказывается наиболее предпочтительным.

Для электрических сигналов соответствие видов важно не столько с точки зрения возможности передачи по линиям связи, что обычно всегда выполняется, сколько с точки зрения возможности использования сигнала приемником информации. В ряде случаев оказывается возможным один и тот же сигнал использовать различными способами. Так, два напряжения, снимаемые с синусной и косинусной обмоток СКТ, применяются в случае больших изменений угла в схеме, обеспечивающей измерение их отношений, например, в схеме сельсин-

трансформатор. Сигнал, снимаемый с одной лишь синусной обмотки, может быть использован для передачи информации об угле поворота вала на малом участке диапазона в пределах нескольких градусов. В этом случае приемное устройство может быть значительно упрощено. Следовательно, обеспечение физического соответствия видов сигналов датчиков и приемников информации подразумевает соответствие всех приемников данному датчику. Для всей системы связей это возможно выполнить, лишь ограничив номенклатуру сигналов.

Что касается выбора уровней напряжений, используемых для формирования сигналов, и их энергетического содержания, то здесь также существует несколько противоречащих друг другу соображений.

Для того чтобы сигнал был наиболее помехоустойчив, следует по возможности увеличивать его мощность, поднимая уровень сигнала и уменьшая внутреннее сопротивление источника сигнала и сопротивление нагрузки – сопротивление входа приемника информации. Для того же чтобы максимально увеличить пропускную способность линии связи, следует сопротивление нагрузки сделать строго равным волновому сопротивлению линии связи.

К сожалению, при существующих уровнях сигналов, используемых современной элементной базой и составляющих 2-5 В, это означает, что мощность сигнала должна составлять 0,05-0,5 Вт для неразветвленной линии связи и 0,5-5 Вт для разветвленной при 10 приемниках. Это потребовало бы применения в датчиках информации специальных мощных выходных каскадов, увеличивающих габариты и массу устройств, что не оправдано. Следовательно, необходимо определить возможность использования обычных не согласованных с нагрузкой проводных линий связи, обладающих достаточной полосой пропускания для удовлетворения комплексов оборудования, используемых в конкретных объектах, например, в самолетах.

Отказ от требования согласования нагрузки с линией связи позволяет применить в качестве линий связи обычные провода, существенно более легкие, чем коаксиальные кабели. При этом задача помехоустойчивости будет решена путем выбора соответствующего вида сигнала, например, импульсных посылок, путем использования дифференциальных видов сигналов, применения бифилярных экранированных проводов или другими способами. Это в свою очередь позволит использовать относительно маломощные сигналы, мощность которых составляет 0,01-0,1 Вт для разветвленных сетей. Для такой

мощности не требуется применять мощные выходные каскады в датчиках информации. Таким образом, задача передачи сигналов может быть решена и на основе обычной элементной базы.

4.3. Обеспечение информационного соответствия датчиков и приемников информации

4.3.1. Определение единицы информации

Каналы связи, пропуская сигналы и передавая с их помощью информацию от датчиков приемникам, должны обладать требуемой пропускной способностью, определяемой информационным содержанием сигналов, выдаваемых датчиками. Величина информационного содержания передаваемых сигналов оказывает решающее влияние на выбор вида сигналов и принципов построения каналов связи.

Для определения количества информации, передаваемой по каналу связи, нужно, прежде всего, определить величину единицы информации. Как известно [2], в качестве единицы информации в измерительной технике может быть принят эффективный интервал неопределенности – т.е. интервал измеряемой величины, эквивалентный по своим шумовым характеристикам кванту этой величины.

Исходя из распределения погрешности датчика и потребителя информации, может быть определена единица измерения информации как эффективный интервал неопределенности (квант), значение которого связано с распределением погрешности сигнала и который может быть найден из выражения [1, Новицкий]:

$$\Delta_{\text{э}} x = 2^{\frac{H(X/X_{\text{п}})}{2}} = 2^{-\int_{-\infty}^{\infty} p(\Delta x) \log_2 p(\Delta x) dx}$$

где $H(X/X_{\text{п}})$ – условная энтропия сигнала – энтропия погрешности, $p(\Delta x)$ – плотность вероятности распределения погрешности.

При равномерном распределении погрешности, что характерно для кодированных величин, эффективный интервал неопределенности совпадает с квантом – различимой градацией параметра. Во всех остальных случаях это значение должно вычисляться.

Для равномерного распределения плотности вероятности погрешности характерны следующие соотношения:

$$\Delta_x x = 2\Delta x_0; \Delta x_0 / \sigma = \sqrt{3} = 1,73,$$

где $\Delta_x x$ – значение кванта; Δx_0 – предельное значение погрешности; σ – ее среднеквадратичное значение.

При других видах распределения величина кванта иная. Например, при погрешности, имеющей синусоидальный характер (арксинусоидальное распределение) $\Delta_x x = 1,57\Delta x_0$; для погрешности, имеющей логарифмическое распределение первой степени $\Delta_x x = 1,372\Delta x_0$, второй степени $\Delta_x x = 0,742\Delta x_0$, третьей степени $\Delta_x x = 0,375\Delta x_0$. Для нормального распределения $\Delta_x x = 4,133 \sigma$.

Исходя из формы сигнала и его изменений во времени, а также исходя из уровня априорной информации, может быть определена информационная скорость изменения сигнала, что и составляет информационное содержание передаваемого параметра. В случае если приемник не в состоянии пропустить нужное количество информации, возможно применение способов передачи и прием сигналов, при которых объем передаваемой информации будет сокращен путем учета априорной информации, но за счет усложнения аппаратуры.

4.3.2. Определение информационного содержания физических величин

Принципиально информацией являются не любые сведения, а только новые, которые ранее не были сообщены источником информации приемнику: однажды переданные сведения в новой передаче уже не являются информацией, т. к. они могли быть запомнены приемником ранее. Таким образом, количество информации, пропускаемое через каналы связи, зависит, с одной стороны, от сложности задач, с другой стороны, – от степени неопределенности новых значений сигналов по сравнению с предыдущими значениями.

Учет информационного содержания сигналов, ранее принятых приемником от датчика информации, позволяет изменить способ передачи и передавать только ту информацию, которая является новой в значении параметра. При этом устройство приемника должно соответствовать способу передачи. Например, в ряде случаев возможно

передавать не целочисленные значения параметров, а лишь их приращения. В приемнике должны быть при этом установлены устройства, суммирующие эти приращения, в результате чего и получаются полные значения параметров. Невозможность использования сумматоров в приемнике заставляет отказаться от способа передачи приращений. Тогда от датчика информации должны передаваться целочисленные значения параметров, в результате чего информационное содержание параметров существенно возрастет.

Поскольку учет априорной информации требует усложнения и датчика и приемника, при разработке конкретных каналов связи необходимо учитывать информационные особенности сигналов и в каждом конкретном случае определять целесообразную степень усложнения аппаратуры.

С точки зрения использования априорных данных, основанных на учете информации, поступившей с предыдущими сигналами, решаемые информационными устройствами задачи могут быть разбиты на ряд классов (табл. 4.1).

Априорная информация может быть получена не только в результате накопления данных при непосредственном использовании данной аппаратуры, но и в результате опыта, накопленного при использовании аппаратуры аналогичного назначения. Поэтому в принципе объем априорной информации достаточно велик. Как правило, всегда известны ограничения, накладываемые на изменения сигналов, несложно получить вероятностные характеристики законов изменения сигналов. В ряде случаев известен класс законов поведения сигналов, а в некоторых случаях и сам закон. Поэтому весьма важной является оценка степени усложнения устройств и оценка получаемых преимуществ при сокращении информационного содержания сигналов за счет учета априорной информации.

Таблица 4.1

Класс	Априорно известные данные	Неопределенность
I	—	Полная неопределенность всех параметров сигналов
II	Ограничения на изменения сигналов (диапазоны, максимальные скорости и ускорения)	Вероятностные характеристики сигналов, класс законов поведения сигналов
III	Вероятностные характеристики	Класс законов, конкретный

	сигналов	закон поведения сигнала
IV	Класс законов поведения сигналов	Параметры законов
V	Полные сведения о сигналах	—

Количество информации, передаваемое сигналом в течение одной посылки, определяется, как известно, выражением

$$C = \log_2 \left(\frac{\Delta x}{\Delta_{\text{с}} x} + 1 \right), \text{ бит}$$

где

$$\Delta x = |x_{\text{факт}} - x_{\text{апр}}|.$$

Здесь $x_{\text{факт}}$ — фактическое значение параметра; $x_{\text{апр}}$ — априорно известная и учтенная величина параметра.

Количество информации, передаваемое по каналу связи за единицу времени, может быть определено различными способами, среди которых целесообразно выделить два основных для двух основных способов передачи информации.

1. При передаче целочисленного значения величины информационное содержание каждой посылки определится выражением:

$$c = \log_2 \left(\frac{x}{\Delta_{\text{с}} x} + 1 \right), \text{ бит/с},$$

где x — текущее значение передаваемой величины; $\Delta_{\text{с}} x$ — квант этой величины

Если все транслируемые посылки нормированы, т.е. имеют единый масштаб и сигнал стандартизирован, то информационное содержание каждой посылки составит

$$c = \log_2 \left(\frac{X}{\Delta_{\text{с}} x} + 1 \right), \text{ бит/с},$$

где X – диапазон изменения величины x .

Если такая передача происходит с частотой F , то для данного транслируемого параметра информационное содержание составит

$$c = F \log_2 \left(\frac{X}{\Delta_x} + 1 \right), \text{ бит/с,}$$

а для всей совокупности параметров общее содержание окажется равным

$$c = \sum_{i=1}^n \log_2 \left(\frac{X_i}{\Delta_x} + 1 \right), \text{ бит/с,}$$

Вычисленное по предыдущей формуле информационное содержание составляет информационное содержание одного параметра, представленного целочисленно. Это значение и есть минимальное требование к пропускной способности канала связи, передающего один параметр. Последняя же формула позволяет определить требование к пропускной способности канала связи при передаче по нему группы параметров или требования к пропускной способности всей системы связей.

2. При трансляции одних только изменений параметра, информационное содержание существенно уменьшится. В этом случае информационное содержание определится выражением

$$c = \frac{x'}{\Delta_x},$$

где x' – скорость изменения транслируемого параметра.

На основании этого выражения могут быть определены предельное и среднеквадратичное информационное содержание сигналов в зависимости от того, какая скорость изменения параметров указана в числителе выражений – предельная или среднеквадратичная.

Для группы параметров общее среднеквадратичное содержание составит

$$c_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{n \cdot x'_{\text{ср.кв.}}^2}{\sum_{i=1} \Delta_{\text{ср.кв.}}}},$$

а для предельной скорости

$$c_{\text{пр}} = \frac{n \cdot x'_{\text{пр.}}}{\sum_{i=1} \Delta_{\text{пр.}}},$$

Получающиеся значения, как правило, не менее чем на порядок меньше, чем при передаче целочисленных значений. Однако такой способ имеет ряд существенных недостатков – требует наличия в источнике информации дифференцирующего звена, вычитающего из нового значения сигнала его предыдущее значение, а в приемнике наличие памяти и суммирующего звена. Кроме того, в случае утраты в приемнике одного из значений параметра в результате сбоя восстановить это значение не представляется возможным. Первый же способ от этих недостатков свободен. Поэтому второй способ практически не нашел применение при построении комплексов оборудования. Однако этот способ удобен для определения первичного содержания информации в физических параметрах.

Расчет информационного содержания параметров пилотажно-навигационного комплекса магистрального пассажирского самолета показал, что при втором способе трансляции параметров их суммарное информационное содержание составляет всего 300 – 400 бит/с, по первому способу – 3 – 4 кбит/с.

4.4. Обеспечение информационной пропускной способности каналов связей.

4.4.1. Требования, предъявляемые к погрешностям, вносимым каналами связи

Как уже упоминалось, канал связи является частью информационного тракта, в простейшем случае состоящим из измерительного устройства (датчика), канала связи и исполнительного устройства, реализующего полученную информацию. Более сложный канал связи содержит не одно, а несколько измерительных устройств. В этом случае выходной параметр является функцией нескольких величин, воспринимаемых датчиками. Комплекс же оборудования представляет собой группу информационных трактов, в которой различные вычислительные, регистрирующие, исполнительные устройства, индикаторы и сигнализаторы получают информацию от одних и тех же датчиков.

В подобных сложных комплексах наиболее трудно реализуемыми звеньями являются датчики – измерительные устройства, от которых требуется высокоточное преобразование различных физических величин в сигналы, способные передаваться по каналам связи. Именно измерительными устройствами определяются точностные характеристики комплексов – наиболее важные из всех характеристик. Поэтому при построении каналов связи необходимо, чтобы вносимая ими дополнительная погрешность несущественно ухудшала общую погрешность информационного тракта.

Поскольку каждый комплекс оборудования должен обеспечивать решение функциональных задач с определенными допустимыми погрешностями, то, исходя из этих погрешностей, и определяется допустимая погрешность для каждой входной величины, а уже из них – допустимая погрешность для каждого канала связи. Последняя может быть определена из условия несоизмеримости с погрешностью измерения, под которой подразумевается для нормальной работы комплекса соотношение дисперсий канала связи $D_{\text{к.св.}}$ и измерительного устройства $D_{\text{изм}}$ как

$$D_{\text{к.св.}} / D_{\text{изм}} = 0,1$$

Или иначе

$$\sigma_{\text{к.св.}} / \sigma_{\text{изм}} = 1/3$$

где σ – среднеквадратичная погрешность.

Поскольку

$$\sigma_{\text{тракта}}^2 = \sigma_{\text{к.св.}}^2 + \sigma_{\text{изм.}}^2,$$

а

$$\sigma_{\text{к.св.}}^2 = 0,1 \sigma_{\text{изм.}}^2,$$

то

$$\sigma_{\text{тракта}}^2 = 1,1 \sigma_{\text{к.св.}}^2 = 11 \sigma_{\text{к.св.}}^2$$

откуда

$$\sigma_{\text{изм.}} = 0,95 \sigma_{\text{тракта}}; \quad \sigma_{\text{к.св.}} = 0,3 \sigma_{\text{тракта}}.$$

Задание среднеквадратичных значений неудобно ни для предъявления требований к измерительным устройствам и к каналам связи, ни для приемки устройств. Значительно удобнее оперировать предельными значениями погрешностей. Поскольку для каждого типа измерительных устройств и преобразователей сигналов, входящих в состав каналов связей, характерно свое распределение погрешностей, и отношение предельной погрешности к среднеквадратичной может быть выяснено в каждом конкретном случае. Это отношение сохраняется независимо от изменения абсолютных величин погрешностей. Поэтому, используя это отношение, можно перевести требования к среднеквадратичной погрешности в требования к предельной погрешности.

4.4.2. Информационная пропускная способность каналов связи.

Все элементы, образующие информационный тракт, должны обладать соответствующей информационной пропускной способностью. Недостаточная пропускная способность любого элемента тракта неизбежно приведет к необратимым потерям информации. Информационная пропускная способность элемента тракта может быть определена по величине искажения одного импульса, несущего в себе информацию об одном бите. При этом допустимой величиной искажения следует считать такое изменение амплитуды импульса, при котором может быть гарантировано

отсутствие ошибки значения информации – нуля или единицы, закодированного в нем. Такой величиной является значение искажения, равное $\frac{1}{4}$ его амплитуды, поскольку при таком значении гарантировано различие между нулевым и единичным значениями информации.

Передача сигналов от источников информации к приемникам осуществляется с помощью линий связи, являющихся неотъемлемой частью каналов связи в комплексах оборудования.

Подавляющее большинство сигналов в современных комплексах оборудования транслируется по линиям связи, выполненным в виде экранированных или неэкранированных проводов, и только для относительно небольшого числа сигналов, главным образом, высокочастотных, используются коаксиальные кабели и волноводы.

Появившиеся в последние десятилетия волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) в комплексах оборудования применения практически не нашли, так как наряду со своими достоинствами – высокой пропускной способностью неподверженности электромагнитным помехам и некоторым другим, ВОЛС обладают и рядом существенных недостатков – не технологичностью, недостаточной надежностью, подверженностью внешним воздействиям неэлектромагнитного происхождения, трудностью совместимости с электрической аппаратурой. Поскольку возможности проводных линий связи далеко не исчерпаны, а применение их не сталкивается с трудностями применения их в сложных комплексах оборудования, можно считать, что при выборе линий связи по-прежнему основное внимание должно уделяться электрическим проводным линиям связи.

В общем случае проводная линия связи представляет собой кабель, обладающий индуктивностью, емкостью и активными потерями. Кабели обычно характеризуются удельными значениями этих параметров, а также волновым сопротивлением и коэффициентом затухания, являющимися функциями первых. Точностной анализ волновых искажений в несогласованных с нагрузкой проводных линий связи заставил ввести еще одну характеристику кабелей – удельную пропускную способность, также являющуюся функцией распределенных параметров кабеля.

При отсутствии согласования кабеля с источником сигнала и приемником (нагрузкой) возникают волновые искажения сигнала (рис. 4.2).



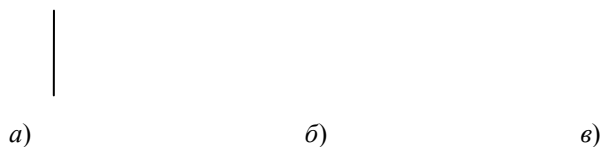


Рис. 4.2. Форма импульса с волновыми искажениями: *a* – при $z_{\text{н}} > z_{\text{в}}$; *б* – при $z_{\text{н}} < z_{\text{в}}$; *в* – при $z_{\text{н}} = z_{\text{в}}$.

При передаче сигнальной информации, особенно в случаях, когда передачу нужно вести с высокой точностью и на достаточно высоких частотах, необходимо определить допустимый предел этих искажений.

Как правило, требование строго согласования нагрузки с волновым сопротивлением линии нежелательно, так как элементы, выполняющие роль нагрузки, имеют разброс характеристик, а их индивидуальный подбор затруднен. Кроме того, следует помнить, что линии связи с многими ответвлениями строго согласовать с сопротивлением нагрузки вообще не представляется возможным. Проводные линии связи, в которых сопротивление нагрузки в приемниках равно их волновому сопротивлению, становятся низкоомными, требующими относительно большой мощности сигналов, что крайне нежелательно, так как препятствует миниатюризации аппаратуры. Таким образом, возникает необходимость учета волновых сопротивлений в несогласованных с нагрузкой линий связи и определения границ необходимости этого учета.

Как известно, волновое сопротивление линии связи определяется выражением:

$$z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{L}{C}}, \text{ Ом.}$$

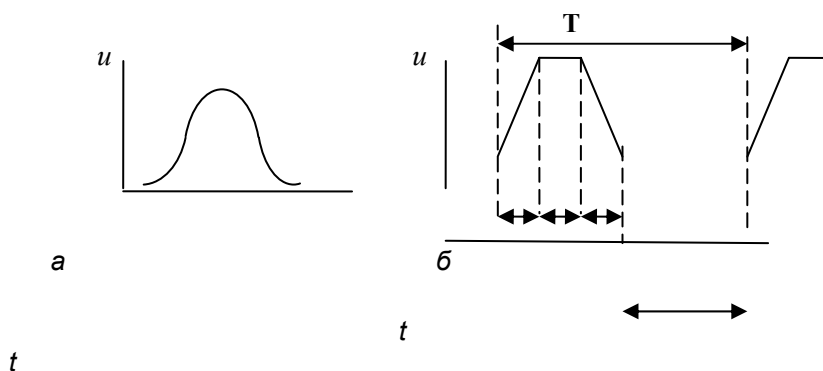
где L , Гн/м и C , Ф/м соответственно погонные значения распределенной индуктивности и емкости линии связи. Измерения показали, что значение волнового сопротивления обычных проводов лежит в пределах от 60 до 200 Ом.

Для неразветвленной линии связи существует три метода борьбы с волновыми искажениями сигнала:

первый – согласование линии с нагрузкой за счет подбора сопротивления нагрузки, недостатком метода является то, что линия связи становится низкоомной, требующей большой мощности сигнала;

второй – согласование линии с внутренним сопротивлением источника путем подбора сопротивления, устанавливаемого последовательно в линию связи не требует большой мощности сигнала, так как сама линия связи остается высокоомной; недостатком его является необходимость знания внутреннего сопротивления источника сигнала, которое само меняется в импульсных режимах;

третий – исключение по возможности высших гармоник в самом импульсе за счет соответствующего подбора формы – колоколообразной или трапецеидальной (рис. 4.3).



$T/6 \quad T/6 \quad T/6 \quad T/2$

Рис. 4.3. Форма импульсов для трансляции кодированной информации: а) колоколообразный; б) трапецеидальный

Для разветвленной линии связи строгое согласование нагрузки с ее волновым сопротивлением оказывается невозможным. Поэтому

возникает задача определения пропускной способности линии связи в условиях ее полного рассогласования с сопротивлением нагрузки.

Исходя из того, что амплитуда волновых искажений не должна превышать $\frac{1}{4}$ амплитуды кванта, получаем выражение для предельной частоты передачи информации:

$$f \leq 0,8 \frac{c_{N0}}{\sqrt{N_a}}; \quad c_{N0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

последняя величина есть удельная пропускная способность кабеля, бит.м. Здесь N_a – число квантов в амплитуде сигнала.

Проведенные измерения показали, что удельная пропускная способность обычных проводов как экранированных, так и неэкранированных составляет порядка 10^7 квант.м, бифилярных – порядка $3 \cdot 10^7$ квант.м. Пропускная способность проводной линии связи обратно пропорциональна ее длине. Следовательно, при длине проводной линии связи в 30 м и полном отсутствии согласования ее волнового сопротивления с нагрузкой ее пропускная способность составит порядка 10^6 квант.м.

В выражение для удельной пропускной способности кабеля входит произведение LC , которое меняется при изменении параметров кабеля незначительно: при уменьшении сечения жилы индуктивность увеличивается и практически также уменьшается емкость. Поэтому для всех типов одиночных проводов удельная пропускная способность составляет порядка 10^7 бит/с, для бифилярных, у которых индуктивность на единицу длины на порядок меньше $3 \cdot 10^7$ бит/с.

Приведенные соотношения справедливы для импульса, у которого фронты имеют нулевую длительность. При использовании импульсов колоколообразной (синусоидальной) формы пропускная способность кабеля значительно возрастает. Однако практически более применим трапецеидальный импульс (рис. 4.3б), в этом случае пропускная способность возрастает в 5-8 раз по сравнению с передачей импульсом с нулевыми длительностями фронтов. Такой пропускной способности обычно вполне достаточно для любых реальных комплексов.

Таким образом, основным требованием к пропускной способности линий связи является требование ее превышения над информационным содержанием сигналов. При превышении информационного содержания

сигнала информационной пропускной способности линии связи трансляция сигналов невозможна.

4.4.3. Информационная способность сигналов

Как видно, частота пропускания сигнала тем выше, чем меньше квантов содержится в амплитуде сигнала, т.е. чем ниже допустимая точность воспроизведения амплитуды сигнала. Это одно из важных обстоятельств предпочтения импульсного представления информации.

Если положить

$$f_0 \leq 0,8 \frac{c_{N0}}{l};$$

где l – длина линии связи, м, то общее число параметров, передаваемых в единицу времени по проводной линии связи составит:

для кодовой информации

$$F = \frac{f_0}{\log_2(N_a + 1)}; \quad N_a = 1$$

для аналоговой информации

$$F = \frac{f_0}{\sqrt{N_a}}; \quad N_a = N;$$

для числоимпульсной посылки

$$F = \frac{f_0}{N_a}; \quad N_a = 1.$$

В таблице 4.2 приведены сравнительные данные по количеству передаваемых каналом связи сигналов различного вида, условно

положено, что сигналы передаются с одинаковой погрешностью, составляющей $\pm 0,05\%$.

Таблица 4.2.

Вид сигнала	N_c	m	f , Гц	$c_{\text{инф}}$, бит/с	F , параметр/с
Напряжение абсолютное	1000	1	10	100	10
Напряжение относительное	100	1	800	8000	800
Частота	2	1000	800	500	50
Временной интервал	2	1000	50	500	50
Число импульсная посылка	2	1000	50	500	50
Код двоичный последовательный	2	10	50000	5000	5000
Код двоичный параллельный	2	14	50000	3500	3500

При расчете положено $N = 1000$, что соответствует предельной погрешности $\pm 0,05\%$. Величина N означает число квантов в амплитуде пропускаемого сигнала. Через m обозначено количество шагов или импульсов во времени. Как видно из таблицы, передачу наибольшего числа параметров и наибольшего объема информации можно обеспечить с помощью двоичного кода.

4.4.4. Коэффициент информационного использования канала связи

Оценку того, насколько эффективно используются те или иные элементы информационных трактов, целесообразно выполнить с помощью коэффициента информационного использования – отношения количества информации $c_{\text{инф}}$, реально пропускаемой через тракт, к его пропускной информационной способности c_N :

$$k_{\text{инф}} = \frac{c_{\text{инф}}}{c_N}.$$

C_N

Простой расчет показывает, что в случае пропускания информации в виде приращений коэффициент использования проводных линий связи оказывается чрезвычайно мал. Так, например, если всю пилотажно-навигационную информацию легкого самолета, составляющую порядка 400 бит/с пропустить через одну линию связи, то при длине линии связи в 5 м коэффициент информационного использования составит всего $5 \cdot 10^{-4}$. Учитывая, что число проводных линий связи на самолете составляет сотни, получается, что коэффициент информационного использования составляет десятитысячные доли процента. На тяжелом самолете средняя длина линий связи вдвое больше, количество информации тоже вдвое больше, и коэффициент информационного использования в 4 – 5 раз больше, но и это очень малая величина. При этом речь идет о линиях связи, не согласованных с нагрузкой.

Из изложенного непосредственно вытекает, что применять сложные решения, связанные с согласованием линий связи с нагрузкой не имеет смысла. Кроме того, большой запас в пропускной способности линий связи позволяет использовать передачу информации в целочисленном виде, что значительно повышает надежность трансляции информации. При этом появляется возможность циклической (периодической с заданным интервалом) передачи сигналов, что еще более повышает надежность и точность информации. Но даже при этом не вся пропускная способность линий связи используется.

Нужно заметить, что коэффициент информационного использования полезен не только для оценки загруженности линий связи, но и других элементов информационного тракта. Так, например, оценка отношения информации, содержащейся в выходном сигнале бортовых вычислителей, к их информационной способности, выраженной в объеме памяти или в быстродействии, показывает, что коэффициент информационного использования структуры или вычислений тоже чрезвычайно мал и составляет сотые доли процента или менее. Это означает, что у этой техники имеются большие неиспользованные резервы.

В ряде случаев коэффициент информационного использования позволяет определить принципиальную реализуемость выбранного технического решения.

Так для электромеханических преобразователей «угол-код», устанавливаемых на вращающийся вал, справедливо соотношение

$$\frac{M}{N_{\text{об}}} \leq \frac{k\chi P_{\text{дв}}}{v_{\text{макс}}},$$

где

$$k = 16 \frac{\text{Н}\cdot\text{см}\cdot\text{об}}{\text{Вт}\cdot\text{с}} - \text{коэффициент пропорциональности};$$

M – момент трения преобразователя, Н·см;

$N_{\text{об}}$ – число эффективных интервалов неопределенности (квантов), приходящихся на 1 оборот вала преобразователя, квант/об;

$P_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, Вт;

χ – доля мощности двигателя, затрачиваемая на поворот вала преобразователя;

$v_{\text{макс}}$ – максимальная информационная скорость изменения параметра, квант/с.

Опыт показывает, что далеко не все виды преобразователей оказываются реально пригодными для использования в аппаратуре. Оценка их по приведенному информационному критерию позволяет выбрать верное решение еще на стадии проектирования.

4.4.5. Выбор формата слова цифровой информации

Формат слова цифровой информации определяется, прежде всего, величиной значащей части, непосредственно передающей информацию. Эта величина зависит от относительной точности числа – отношения диапазона изменения закодированной величины к односторонней предельной погрешности.

Необходимое для кодирования число разрядов двоичного кода определится выражением

$$n = \log_2 \left(\frac{X}{\Delta_x} + 1 \right),$$

где X – полный диапазон изменения величины x ; Δ_x – значение кванта – эффективного интервала неопределенности, определяется исходя из выражения 1.17. В случае равномерного распределения погрешности величина Δ_x равна

$$\Delta_x = 2 \Delta x_{\text{пр}}$$

В таблице 4.3. Приведено число разрядов, необходимое для передачи сообщения при заданной относительной предельной погрешности.

Таблица 4.3

$\Delta x_{\text{пр}}/X$	$\pm 1\%$	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,001\%$	$\pm 0,0001\%$	$\pm 0,00001\%$
N	6	9	13	16	20

Передача в сообщениях лишь одной значащей части в сложных комплексах оборудования не может считаться оптимальной. Это связано, прежде всего, с неудобством выделения требуемой информации из общего массива транслируемых слов.

В самом деле, если по линии связи транслируется несколько слов, то при необходимости выделения каждого из них нужен признак такого выделения. И, если, кроме значащей части, слова не содержат в себе никаких дополнительных признаков, то не остается ничего иного, как производить отсчет слов от начала передачи и выделять требуемые слова по временному признаку или путем подсчета слов от начала сообщения. Однако оба эти способа не являются помехоустойчивыми. Достаточно в счете сбиться на одно слово, чтобы прием всей оставшейся части посылки был воспринят неверно. Кроме того, все приемники информации должны располагать сведениями о расположении слов во всех посылках. Последнее обстоятельство особенно неудобно при изменениях составов сообщений в связи с изменением состава комплекса, изменением состава задач и т.п.

Учитывая изложенное, во многих системах передачи данных к значащей части слова добавляют еще адресную часть (идентификатор) в составе 4, 6, 8 или 10 разрядов. Адресная часть в сообщении предшествует значащей части. При наличии паузы между словами наличие идентификатора позволяет в сообщении расставлять слова в любом порядке, при этом в приемнике вообще отпадает необходимость в знании последовательности слов в посылке, так как каждое слово идентифицируется совершенно независимо от других слов, содержащихся в посылках. Изменение программы выдачи информации в таком случае не сказывается на приеме, так как прием каждого слова осуществляется независимо от остальных слов. Состав же адресов согласовывается заранее между всеми разработчиками аппаратуры на определенный срок, как это сделано, например, в [8].

Во многих случаях оказывается весьма желательным к слову добавить так называемую «матрицу» из двух или трех разрядов. В этой матрице помещаются либо дополнительные сведения о значащей части слова, например, знак числа («+» или «-»), знак направления «налево», «направо», «вверх», «вниз», «север», «юг», «запад», «восток» и т.п., а также сведения об исправности источника информации или достоверности информации, выдаваемой источником.

Наконец, в целях обеспечения контроля помехоустойчивости сообщения слова полезно снабдить избыточными разрядами, позволяющими осуществить в приемниках входной контроль сообщений. С увеличением числа избыточных разрядов проверочная способность контроля возрастает, однако и общее число разрядов растет, что невыгодно. Поэтому в проводных линиях связи, обеспечивающих высокую помехозащищенность за счет применения амплитудных дифференциальных сигналов, компромиссным решением является добавление в код лишь одного дополнительного разряда, с помощью которого осуществляется проверка слов на «нечетность». В зависимости от общего числа «единиц» в слове в последнем разряде источником информации выдается «1» или «0» с тем, чтобы общее число «единиц» в слове всегда было нечетным, что и контролируется на входе приемника и является признаком достоверности принятого слова.

На рис. 4.4 приведен типовой формат слов, используемый в настоящее время в гражданской авиации, как в отечественной, так и в зарубежной для трансляции по линиям связи самых разнообразных физических величин. Этот формат может быть рекомендован

практически для любых сложных комплексов как бортовой, так и не бортовой аппаратуры.

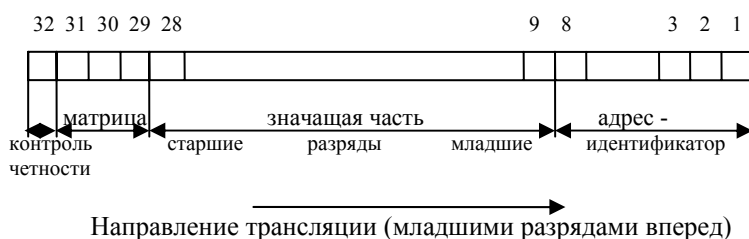


Рис. 4.4. Типовой формат слов, примененных в бортовой авиационной аппаратуре.

Общее число разрядов в коде установлено равным 32. Адресная часть, как правило, занимает 8 разрядов (с 1-го по 8-й). Однако в некоторых случаях для расширения адреса могут использоваться 9-й и 10-й разряды. Последний 32-й разряд слова используется как признак «нечетности»: при формировании слова датчик добавляет в 32-й разряд или не добавляет дополнительную единицу с тем, чтобы общее число единиц в слове стало нечетным. В приемнике слово бракуется, если общее число единиц в нем четное. Матрица, в которой помещаются различные признаки информации (знак, направление и т. п.), составляет два или три разряда. Остальные разряды составляет информационная часть.

Передача слов осуществляется младшими разрядами информационной части слова вперед, таким образом, первым передается адрес-идентификатор.

В случае если реальное число разрядов невелико, свободные разряды могут использоваться как резерв при повышении точности передачи, а в некоторых случаях для размещения в них вспомогательной информации типа «разовых команд».

Постоянство структуры слов независимо от конкретного их содержания и реальной точности транслируемой информации весьма удобно и для источников, и для приемников информации. Это позволяет упростить структуру устройств ввода-вывода информации, упростить программы обработки и т.п. Для всех однородных параметров появляется возможность установления одного масштаба, например, для

всех угловых параметров цена старшего разряда устанавливается равной $\pi/2$ (к угловым параметрам относятся как углы поворота валов, так и географические координаты).

Однако постоянство числа разрядов для всех слов независимо от точности транслируемой информации требует избыточного числа разрядов. Поскольку между словами необходимо устанавливать паузу, длительность которой должна составлять не менее $4\tau_0$, где τ_0 – время передачи одного разряда, то оказывается, что для 10-разрядной информации используется менее 30%, для 20-разрядной – менее 60% передаваемых разрядов. Тем не менее, с учетом реального содержания потоков информации и пропускной способности линий связи такое использование слов, как правило, допустимо. Получаемый выигрыш в проектировании, отработке и эксплуатации комплексов за счет стабильности длины слов столь существенен, что вполне оправдывает подобную избыточность.

Циклическую передачу цифровых слов удобно использовать в качестве признака исправности аппаратуры и достоверности информации.

Выводы

1. **Информация** есть сведения, передаваемые от одного объекта – источника информации – другому объекту – приемнику информации. Информация всегда передается с помощью **сигнала** – физического носителя информации. Для передачи информации производится **кодирование** сигнала в определенном масштабе. Передача сигнала всегда производится с помощью промежуточной среды, связывающей источник информации с приемником информации, – линии связи.

Информация и сигнал в процессе передачи и использования преобразуются. Возможны два типа преобразования – преобразование сигнала с изменением его физического вида при сохранении информационного содержания и преобразование информации – изменение ее вида и состава при сохранении вида сигнала.

Преобразователь вида сигнала источника информации, линия связи и преобразователь вида сигнала приемника информации образуют **канал связи**. Совокупность источника информации, канала связи и приемника информации есть **информационный тракт**.

2. При синтезе каналов связей в комплексах оборудования необходимо использовать общие принципы и схемные решения, при этом должно быть обеспечено выполнение требований *физического, энергетического и информационного соответствия* приемников информации и линий связи источнику и приемнику информации.

При построении комплексов оборудования должно быть уделено самое пристальное внимание оптимальной организации системы связей, поскольку от этого непосредственно зависит решение взаимозаменяемости и стандартизации аппаратуры, стыковки физически разнородных устройств, преемственности поколений аппаратуры, эксплуатации и многие другие.

3. В качестве единицы информации в измерительной технике принят квант – эффективный интервал неопределенности, т. е. интервал измеряемой величины, эквивалентный по своим шумовым характеристикам кванту этой величины.

Количество информации, передаваемое за единицу времени, может быть определено одним из двух основных способов – путем расчета приращений информации и путем расчета информации при трансляции целочисленных значений величин.

4. Основную погрешность в информационных трактах вносят измерительные датчики физических величин, допустимые погрешности остальных звеньев тракта должны определяться из условия их несоизмеримой малости по отношению к погрешностям датчиков. Допустимые динамически погрешности необходимо определять из условий их несоизмеримой малости по отношению к статическим погрешностям трактов.

5. Требования к пропускной способности информационных трактов должны определяться из условия ее превышения по отношению к информационному содержанию пропускаемых по тракту физических параметров. При этом следует учесть, что для различных видов сигналов, передающих одну и ту же информацию, эти требования могут существенно различаться. Наиболее информационно емким видом сигнала, предъявляющим минимальные требования к пропускной способности каналов связей, является двоичный код, выраженный импульсными посылками.

6. Для измерительных комплексов, работающих в натуральном масштабе времени в различных технологиях, как правило, информационная пропускная способность линий связи на несколько

порядков превышает требуемую. Это дает возможность в целях повышения надежности использовать периодически повторяемые передачи сигналов, в которых информация выражена в целочисленном виде.

7. При трансляции информации по линиям связи может быть использовано несколько способов обмена информацией между источниками и приемниками сигналов. Наиболее употребительными из них является циклический асинхронный способ, пригодный как для аналоговых, так и для кодовых сигналов, а также обмены «по запросу» и «по готовности».

8. В целях обеспечения помехоустойчивости трансляции информации в линиях связи следует использовать экранированные проводные бифилярные и трифилярные линии связи, при дифференциальном способе приема сигналов.

9. Формат передаваемых сообщений определяется, прежде всего, величиной значащей части посылки, непосредственно передающей информацию. Эта величина зависит от относительной точности числа – отношения диапазона изменения закодированной величины к односторонней предельной погрешности. Учитывая, что запас информационной пропускной способности линий связи обычно велик, следует для различных параметров устанавливать стандартный вид формата кода. Опыт показал, что наиболее удачным форматом для большинства параметров является 32-разрядный код с адресной 8-ми или 10-ти разрядной частью (идентификатором параметра) и 4-мя параметрами, отводимыми под защиту и вспомогательную матрицу.

Циклическую передачу цифровых слов удобно использовать в качестве признака исправности аппаратуры и достоверности информации.

10. Организация системы связей в комплексах оборудования предполагает использование общих принципов преобразования сигналов, и общих принципов организации всей структуры сети связей.

Наиболее распространенной и проверенной на практике является радиальная сеть связей, т.е. совокупность линий связи, каждая из которых несет в себе сигналы одного (для аналоговых) и всех (для цифровых) параметров одного источника информации.

Глава 5. Структурная организация технических комплексов

5.1. Категории и принципы структурной организации технических комплексов

Основными категориями структурной организации технических комплексов являются собственно их **структура** (от лат. structura – строение, расположение) – строение, взаиморасположение и определенная взаимосвязь составных **частей** комплекса как целого, а также **состав** и **связи** частей (звеньев) между собой. К структуре комплекса также необходимо отнести и связи комплекса с другими объектами.

Состав комплекса есть перечень основных его частей (звеньев), которыми являются различные **системы** и **устройства**, состоящие каждое из нескольких функциональных блоков. Отличие одной системы от другой или одного устройства от другого заключается в различии их функциональных назначений.

Каждая система и каждое устройство в свою очередь имеют состав и внутренние связи между своими частями, таким образом, в каждом комплексе имеет место **иерархия** составов и связей, т.е. иерархия структур, вплоть до **готовых изделий**, которыми считаются неразборные элементы.

Связи звеньев – частей комплекса между собой обеспечивают единство их совместного функционирования, обеспечивающее функционирование комплекса в соответствии с его предназначением. Проводные **линии связи**, выполняющие роль трансляции сигналов от одних систем и устройств комплекса к другим, являются принадлежностью комплекса и, в принципе, должны входить в перечень его состава, что делается далеко не всегда.

Всевозможные вспомогательные устройства типа кронштейнов, стеллажей и т. п. обычно в состав комплекса не входят и их разработка и изготовление являются задачей того объекта, для которого комплекс предназначен, что не всегда правильно.

Несмотря на то, что технические средства предназначены для обслуживания самых различных технологий, структурная организация этих средств во многом имеет общий характер. Это связано с тем, что системы и устройства, образующие в совокупности информационно-измерительный комплекс, независимо от конкретного назначения комплекса выполняют сходные задачи:

- измерение первичных физических параметров;
- преобразование сигналов из одного вида в другой;
- трансляцию сигналов по каналам связи от одних блоков к другим;
- преобразование информации из одного вида в другой;
- индикацию операторам (экипажу), необходимую для выполнения ручных операций и для контроля;
- автоматическое или ручное (по данным о ходе процесса) управление процессом;
- контроль за ходом процесса и принятие мер в случае недопустимых отклонений.

Соответственно любые комплексы имеют в своем составе:

- измерительные информационные системы (датчики);
- каналы связи;
- устройства, преобразующие сигналы от измерителей в вид, удобный для восприятия каналами связи и далее – вычислительными системами;
- вычислительные средства для обработки полученной от датчиков информации;
- индикаторы;
- сигнализаторы;
- пульты и органы управления;
- блоки питания (обычно встраиваемые в системы, которые они должны обслуживать);
- линии связи для передачи информационных сигналов между системами и блоками;
- энергетические провода для подвода электропитания ко всем системам и агрегатам.
- защитные устройства для отключения систем при возникновении в них аварийной ситуации.

Все эти устройства могут быть скомпонованы в блоки в разных сочетаниях в зависимости от конкретного назначения каждого из них, удобства расположения и обслуживания, при этом устройства ввода-

вывода сигналов в блоки (вычислители, индикаторы, сигнализаторы и т. д. обычно встраиваются непосредственно в конструкцию этих блоков.

Типовой структурой комплекса является структура, приведенная на рис. 5.1.

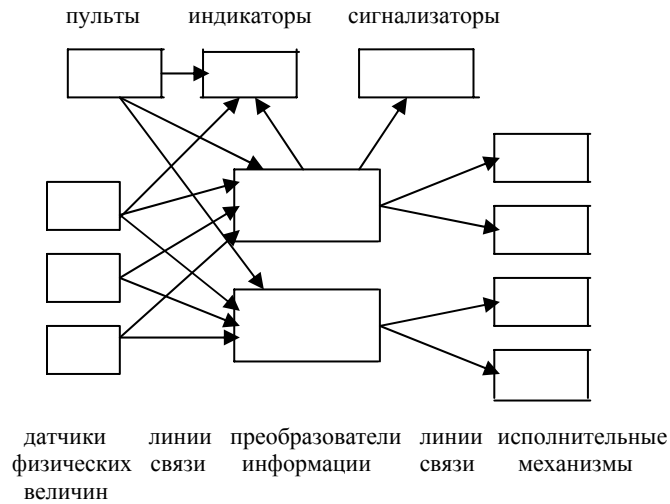


Рис. 5.1. Типовая структура информационно-измерительного комплекса

Структурно комплекс оборудования является частью старшего структурного объединения – объекта (например, самолета) и сам состоит из информационных систем, которые, в свою очередь, состоят из функциональных узлов (блоков, плат), те – из элементов, т.е. из неразборных устройств. При правильной структурной организации комплекса каждое нижнее звено входит в состав соответствующего верхнего звена и само состоит только из младших звеньев ближайшего иерархического уровня.

Все устройства, входящие в состав комплекса, могут быть расположены по следующим иерархическим уровням структурной организации (рис. 5.2):

- комплекс в целом;
- информационные системы (измерительные системы, вычислительно-программирующие системы, индикаторы и

сигнализаторы, исполнительные устройства) – системы, решающие группу задач общего физического плана;

- функциональные узлы (платы) – устройство, решающую узкую функциональную задачу;
- элементы (неразборные детали).

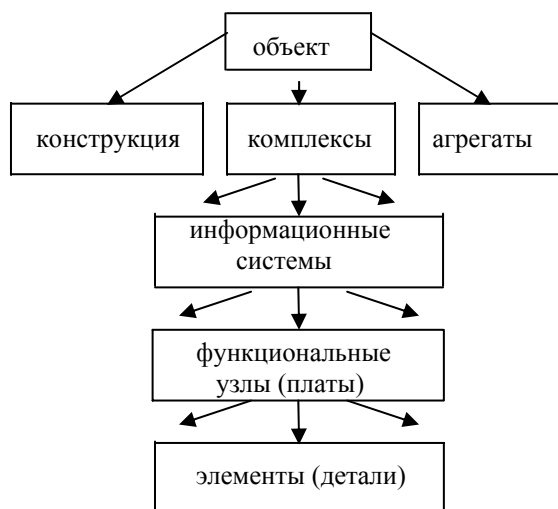


Рис. 5.2. Иерархические уровни сложных комплексов оборудования.

Все эти устройства связаны друг с другом информационными связями и получают электропитание либо от внешних источников (информационные системы), либо от встроенных в информационные системы блоки питания.

Важным этапом в создании сложных комплексов оборудования является этап их отладки. Этот этап связан обычно с участием в нем представителей многих предприятий, каждое из которых разработало какую-то часть комплекса. Минимизация времени и затрат на отработку комплекса существенным образом зависит от того, насколько правильно были распределены функции между ними. В этом случае существенную роль играет распределение задач между звеньями, которое обусловлено принципами организации структуры комплекса. Соблюдение этих

принципов обеспечивает такое распределение задач, при котором процесс отработки частных и общих функций существенно упрощается.

При создании и вводе в эксплуатацию сложных информационно-измерительных комплексов возникает серия проблем, связанных с отработкой функционирования комплексов. Часто оказывается, что длительность отработки существенно превышает длительность создания комплексов и растягивается на многие годы. Это связано, в первую очередь, с неправильной технической политикой еще на стадии раннего проектирования. Для того чтобы избежать этого, следует при проектировании сложных комплексов руководствоваться рядом структурных принципов, некоторые из которых изложены ниже.

Принцип однородности иерархического уровня. На одном иерархическом уровне не должны присутствовать устройства, принадлежащие другому иерархическому уровню. Например, в одном иерархическом уровне не должны сосуществовать системы, платы и элементы. Устройства младшего иерархического уровня должны быть размещены в устройствах соответствующего старшего уровня (элементы должны размещаться на платах, а платы в блоках информационных систем. Обеспечение этого принципа позволит четко определить функциональную принадлежность и ответственность за каждое устройство. Наличие в одном иерархическом уровне устройств, не соответствующих этому уровню, говорит о неправильности структурных или технических решений.

В качестве примера неправильного построения комплекса может быть приведено применение в комплексе согласованных с нагрузкой разветвленных линий связи. Такие линии требуют использования дополнительных резисторов для согласования волнового сопротивления линии связи с нагрузкой. Этот резистор оказывается на одном иерархическом уровне с измерительными и вычислительными системами и требует особой заботы от комплекса по его размещению и обслуживанию, что всегда крайне неудобно. А, кроме того, разветвленные линии связи не могут быть согласованы в отношении волнового сопротивления, так что сама эта мера бессмысленна.

Принцип максимальной функциональной замкнутости. Этот критерий предполагает создание такой иерархической структуры, при которой любое более крупное (старшее) объединение делится на более мелкие (младшие) объединения по функциональному признаку. Такое деление наиболее естественно позволяет, что чрезвычайно важно,

обеспечить четкую организационную ответственность за правильность выполнения соответствующих задач каждой группой аппаратуры. В каждом конкретном случае на любом уровне деления и объединения аппаратуры это позволяет обеспечить отработку и ввод в строй групп устройств, осуществляющих решения части всех задач, при этом постепенно наращивается число решаемых задач и не требуется, чтобы вся совокупность задач была отработана одновременно.

Принцип максимальной функциональной замкнутости предполагает, что каждое структурное объединение способно функционировать без привлечения каких-либо структур, размещенных в других структурных объединениях. Если же такое привлечение оказывается вынужденным, то это должно делаться, по крайней мере, сознательно, с учетом всех положительных и отрицательных последствий.

Необходимость обеспечения максимальной функциональной замкнутости выдвигает следующих два правила отнесения младших структурных объединений к старшим:

1. Каждое старшее структурное объединение должно включать в свой состав те младшие структуры, функционирование которых при невозможности их полной автономии обеспечивается другими младшими структурными объединениями, принадлежащими этому старшему структурному объединению;

2. Каждое старшее структурное объединение должно включать в свой состав те младшие структурные объединения, которые обеспечивают функционирование этого старшего объединения.

Принцип минимизации старших иерархических информационных связей. Отработка всякой системы тем сложнее и тем длительнее, чем больше устройств нужно сопрячь для совместной работы. Представляет трудность отработка каждой функции, которая должна решаться несколькими устройствами совместно. Поскольку состав таких функций обычно прямо пропорционален объему информации, транслируемой по информационным связям между этими устройствами, то следует стремиться к сокращению этого объема, тем самым и сокращая число совместно решаемых функций.

Принцип наращиваемости аппаратуры. Это принцип заключается в возможности добавления или, наоборот, съема части аппаратуры объединения без каких-либо изменений в оставшейся части. Выполнение этого принципа оказывается крайне полезным как в условиях эксплуатации, так и при наращивании функций комплекса.

Принцип наращиваемости аппаратуры предполагает использование таких технических решений каналов связи, которые позволят изменять состав аппаратуры в большую или меньшую сторону без какого бы то ни было изменения любых звеньев комплекса, в том числе в их аппаратной или функциональной части. Это значит, что мощность источников сигналов в каналах связей должна быть достаточной для подключения максимального вероятного числа дополнительных нагрузок – приемников сигналов, что изменение числа нагрузок не потребует никакого изменения математического обеспечения ни в каком звене комплекса, что никакие информационные параметры самих сигналов не претерпят изменения и потребуют регулировки при изменении состава комплекса и т. д. Перечисленные требования могут наложить существенные ограничения на выбор, как линий связи, так и на выбор сигналов и способов передачи информации между звеньями комплекса.

Принцип физической однородности распределения функций. Опыт разработки авиационных бортовых комплексов аппаратуры показал, что непосредственно измеренная датчиками первичная информация о физических параметрах не пригодна для математической обработки совместно с другими параметрами. Первичная информация должна пройти предварительную первичную обработку – фильтрацию, усреднение, совместную математическую обработку с другими физически однородными параметрами и т.п. Развитие вычислительной техники и возможность применения малогабаритных вычислителей относительно небольшой мощности позволяет разделить всю математическую обработку на первичную и вторичную, разместив первичную обработку в вычислителях вблизи датчиков или во многих случаях конструктивно объединив с ними, а вторичную обработку разместив уже в центральных комплексных вычислителях. При этом индикаторы и пульты также могут иметь свои вычислители, занимающиеся подготовкой информации для индикации и сигнализации, и обрабатывая информацию, поступающую от элементов управления пультов для индикаторов и для комплексных вычислителей.

Обычным аргументом против такой распределенной системы вычислителей является их обилие. Однако не следует забывать, что излишняя централизация вычислительного процесса так же вредна, как и излишняя децентрализация, и это, в первую очередь, сказывается на процессе отладки алгоритмов, что часто не принимается во внимание.

Отладить малый объем алгоритмов во много раз проще и быстрее, чем большой объем. Кроме того, в распределенной системе разработчики алгоритмов вынуждены внимательно рассмотреть границы алгоритмов каждого вычислителя, что в общей массе алгоритмов, размещенных в общем вычислителе, делается далеко не всегда. Что же касается большого числа используемых вычислителей, то в связи с прогрессом элементной базы и, в частности, ее миниатюризацией реально эта проблема не является определяющей: микропроцессорная техника может уже в настоящее время применяться очень широко.

В связи с появлением цифровых вычислительных машин перечисленные принципы целесообразно распространить не только на аппаратную часть, но и на организацию функциональных алгоритмов. К сожалению, до сих пор это практически не сделано нигде, а это ведет к невозможности контроля заложенных функций. В некоторых случаях это может привести к тяжелым последствиям.

Целесообразность выполнения перечисленных выше принципов является достаточно общей не только для узких технических приложений, эти принципы могут рассматриваться как общие принципы структурной организации любых сложных систем.

Все системы комплекса и комплекс в целом должны быть оборудованы встроенным контролем, информирующим операторов (экипаж) о состоянии систем комплекса и позволяющим своевременно принять меры для недопущения нежелательных последствий.

Все системы комплекса должны получать электропитание от внешних источников электроэнергии, размещаться в определенных конструктивах, обеспечивать безотказную и бесшумную работу в условиях воздействий внешней среды (механические, климатические, электромагнитные и специальные воздействия).

5.2. Структурная организация звеньев сложных систем

Каждое звено, в котором реализуется часть перечисленных выше функций, имеет свою внутреннюю структуру. Так, датчики физических величин часто представляют собой сложное измерительное устройство, включающее в себя не только собственно датчик, непосредственно измеряющий конкретную физическую величину, но и преобразователи

физических сигналов, вычислительное устройство, обеспечивающее первичную обработку сигналов, а также необходимые для их работы блоки питания и т. п. (рис. 5.3).

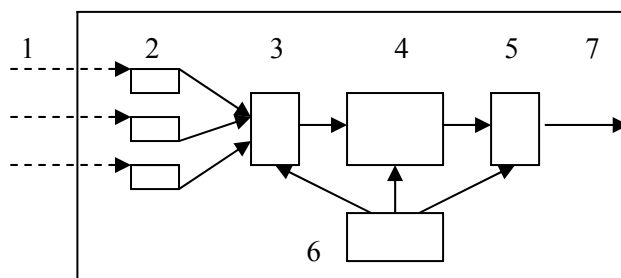


Рис. 5.3. Типовая структура измерительной системы: 1 – входные физические величины; 2 – первичные датчики физических величин; 3 – преобразователь сигнала датчика в код; 4 – вычислительное устройство; 5 – преобразователь кода вычислителя в код линии связи или в аналоговый сигнал; 6 – блок питания; 7 – выход системы

Комплексное вычислительное устройство тоже представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких узлов – входного и выходного преобразователей сигналов, арифметического устройства, различных видов памяти и блока питания (рис. 5.4).

Устройство хранения информации имеет различное назначение и может инструментально выполняться по-разному. ДЗУ – долговременное запоминающее устройство служит для хранения постоянных программ, ВЗУ – запоминающее устройства для хранения вводимых постоянных величин, необходимых для конкретного режима работы; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство для хранения промежуточных вычисленных величин; БЗУ – буферное запоминающее устройство для временного хранения данных, поступающих от датчиков. В связи с развитием техники некоторые из этих устройств могут быть конструктивно совмещены и даже быть общими. Например, роль буферной памяти могут исполнять специально выделенные ячейки ОЗУ – оперативной памяти. ОЗУ может исполнять также и функции

ДЗУ и ВЗУ, если требования к надежности хранения информации обеспечены.

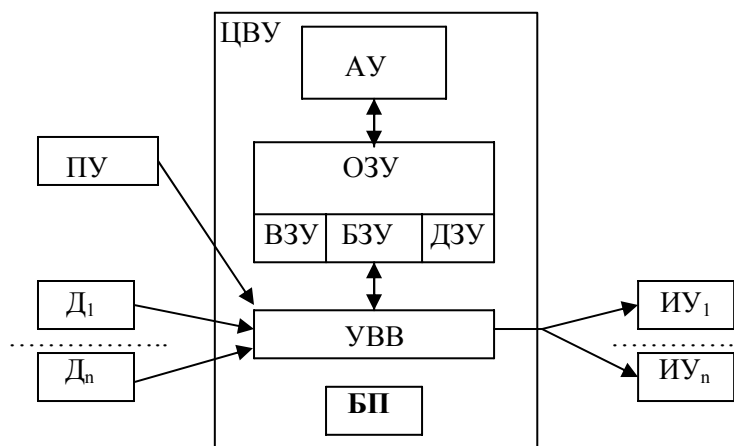


Рис. 5.4. Типовая структура комплексного цифрового вычислительного устройства (ЦВУ): УВВ – устройство ввода-вывода; ВЗУ – внешнее запоминающее устройство; БЗУ – буферное запоминающее устройство; ПЗУ – постоянное запоминающее устройство; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; АУ – арифметическое устройство; Д – датчик первичной физической величины; ПУ – пульт управления для ввода исходных данных; ИУ – исполнительное устройство; БП – блок питания.

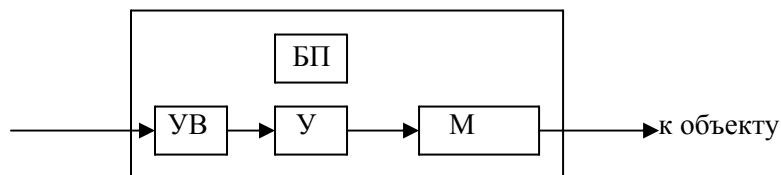


Рис. 5.5. Типовая структура исполнительного устройства: УВ – устройство ввода; У – усилитель мощности; М – исполнительный механизм; БП – блок питания.

Типовая структура исполнительного механизма приведена на рис. 5.5.

Все перечисленные выше принципы справедливы не только для структуры комплекса в целом, но и для структуры каждой системы, входящей в его состав и вообще для каждого звена любого уровня, включая элементы. Следование этим принципам обеспечивает повышение надежности, взаимозаменяемость устройств, упрощает отработку каждого функционального узла. Учитывая, например, что связи (пайки, разъемы, соединения) всегда существенным образом определяют надежность (интенсивность потока отказов) всегда целесообразно стремиться к их минимизации.

5.3. Организация взаимодействия звеньев сложных систем

5.3.1. Принципы организации каналов связей в комплексах оборудования

Передача информации без использования сигнала – физического носителя информации невозможна в принципе. Сам сигнал, имеющий определенный физический вид, требует определенной организации, допускающей его модуляцию передаваемой информацией. Для передачи сигнала в каналах связи требуется затратить определенную энергию, которая зависит от всех составляющих канала связи – источника сигнала, линии связи и приемника сигнала. Каждое из этих звеньев и внешние помехи, воздействующие на эти три элемента, искажают сигнал и, следовательно, могут исказить информацию, и все это должно учитываться при проектировании каждого из каналов связи и всей их совокупности – системы связей.

Важным элементом канала связи является входной и выходной по отношению к линии связи преобразователи вида сигнала (рис.5.6).

Задача первого заключается в преобразовании сигнала из вида, полученного в результате измерения физического параметра, в вид, удобный для передачи сигнала по линии связи, задача второго – в преобразовании вида сигнала, поступившего из линии связи, в вид,

пригодный для использования дальнейшим потребителем – вычислительным или исполнительным устройством.

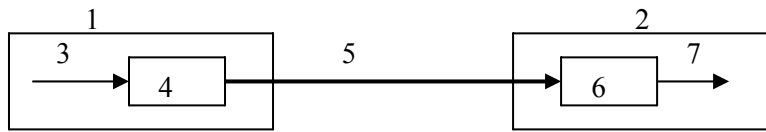


Рис. 5.6. Типовая структура канала связи: 1 – источник информации; 2 – приемник информации; 3 – сигнал, поступающий в канал связи; 4 – входной (по отношению к линии связи) преобразователь вида сигнала в источнике; 5 – линия связи; 6 – выходной (по отношению к линии связи) преобразователь вида сигнала в приемнике; 7 – сигнал, поступающий из канала связи в приемник.

Здесь проблема заключается в том, чтобы все элементы, участвующие в измерительном или информационном трактах, были согласованы между собой по энергетическим, точностным и надежностным характеристикам. В этом плане разработка и проектирование каждого из элементов каналов связи в отрыве от требований, предъявляемых ко всему измерительному и информационному тракту, приводит к созданию непригодного канала связи, в котором все звенья в отдельности работают правильно, а в целом канал связи оказывается полностью непригодным. Проблемы, которые нужно для этого решить, следующие:

- выбор вида сигнала, по-возможности, общего для всех систем и устройств, входящих в состав комплекса;
- выбор представления сигнала в линии связи в таком виде, чтобы искажения, создаваемые линией связи и наводимыми на линию связи внешними помехами не искажали содержащейся в сигнале информации;
- обеспечение такой нагрузочной способности преобразователя источника информации, чтобы изменение числа нагрузок в виде разветвленной линии связей и подключенных к ним приемников информации не искажали передаваемую информацию, даже если при этом искажается сам сигнал, несущий информацию;
- погрешности, вносимые каналом связи, включая входной и выходной по отношению к линии связи преобразователи, были бы несоизмеримо малы по сравнению с погрешностью, вносимыми

измерительным чувствительным элементов, находящимся на входе всего информационного тракта;

– выбор способа передачи и приема сигналов от нескольких источников информации, обеспечивающего их эквивалентную одновременность.

Проведенные в этом направлении работы применительно к бортовому авиационному оборудованию показали полную возможность создания систем проводных связей, полностью удовлетворяющих всем перечисленным требованиям.

Выбор вида сигнала. В первых комплексах бортового авиационного оборудования все разработки отдельных информационных систем – измерителей воздушной и путевой скорости, курсовые системы, вертикали, вычислители, индикаторы, пульта управления и т.п. выполнялись различными предприятиями независимо друг от друга, и их сопряжение на борту самолета требовало создания дополнительных промежуточных блоков. Это увеличивало сроки разработки, увеличивало вес аппаратуры, снижало надежность и точность. Унификация аналоговых сигналов на основе СКТ – синусно-косинусных вращающихся трансформаторов позволила исключить промежуточные блоки и повысить точность систем. Но обилие информационных связей между блоками потребовало провести анализ информационной способности отдельных сигналов. Выяснилось, что при одной и той же погрешности для передачи одного сигнала требуется совершенно разное время.

Так, при допустимой погрешности трансляции сигнала в 0,05% и при условной длительности передачи одного бита информации за отрезок времени в 10 мкс число передаваемых значений различными видами сигналов составит:

- напряжение абсолютное – 10;
- напряжение относительное (отношение амплитуд двух одинаковых по форме сигналов) – 800;
- частота – 50;
- временной интервал – 50;
- числоимпульсная посылка – 50;
- код двоично-десятичный – 3500;
- код двоичный последовательный – 5000.

Отсюда видно, что передачу наибольшего числа параметров и наибольшего объема информации можно обеспечить с помощью

последовательного двоичного кода. Применение параллельных кодов вне блоков в технологических системах рекомендовать было нельзя, так как параллельный код требует значительно большего числа проводов и принципиально значительно сложнее защищается от сбоев и помех.

В качестве основного вида сигнала для первых комплексов использовался вид сигнала «напряжение относительное», передаваемое по бифилярной или трифилярной линии связи. Большей частью это было связано с необходимостью передачи сигналов от СКТ – синусно-косинусных трансформаторов. Информация содержалась в отношении двух напряжений, снимаемых с выходных обмоток трансформатора – синусной и косинусной. Изменение напряжения питания трансформатора приводило к существенным искажениям напряжений, но значение отношения сохранялось.

В последующем, в связи с развитием техники преобразования аналоговых сигналов в коды в качестве основного сигнала был избран двоичный код, представленный в виде импульсных посылок, так называемый RZ-код («return to zero») (рис. 5.7)

Существенным преимуществом RZ-кода перед другими типами кодов является то, что каждый импульс отделен от другого импульса паузой, что дает возможность распознавать каждую двоичную цифру независимо от длительности импульса. Это позволяет применять самые разнообразные частоты передачи сигналов, выбирая те из них, которые позволяют обеспечить передачу информации с необходимой скоростью и точностью. Расшифровка значений единиц и нулей производится по знаку полярности импульса на дифференциальном входе приемника, дифференциальная передача по бифилярной паре проводов позволяет существенно повысить помехоустойчивость кода, так как наводимые на двух проводах помехи одинаковы и вычитаются на входе приемника.

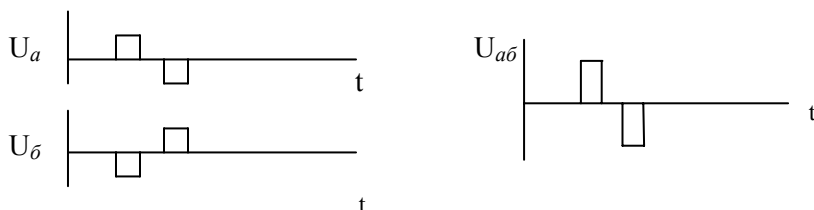


Рис. 5.7. Представление RZ – кода в бифилярной линии связи

Наряду с двоичным кодом вынужденно сохраняется вид сигнала «разовая команда», поскольку существуют разнообразные датчики разовых команд, например, всевозможные концевые выключатели. Но и здесь возможна трансляция сигнала по бифилярной линии связи, хотя это и усложняет связь, но позволяет избавиться от наводимой помехи. Учитывая большую надежность бесконтактных датчиков разовых команд целесообразно в перспективе использовать именно такой способ трансляции разовой информации.

Эти виды сигналов оказались приемлемыми для всех информационно-измерительных систем. Поскольку как электродинамические, так и электромагнитные наводки наводились в обоих проводах линии связи одинаково благодаря скручиванию проводов, то при дифференциальном способе создания сигнала и дифференциальном его приеме наводки взаимно компенсируются и не оказывают влияния на содержание информации. Одним из основных видов помех, воздействующих на сигналы в линиях связи, являются помехи, вызванные взаимосвязью проводников, по которым текут токи или находящихся под напряжением (энергетические провода), с проводами линий связи (информационным проводам). Такие мощные источники помех, как, например, электрические машины, контакторы и т. п. являются, по существу, набором проводников, что позволяет свести рассмотрение их влияния на информационные провода к рассмотрению влияния на эти провода обычных проводников, подключенных к источникам питания.

Помехи, создаваемые энергетическими связями в информационных проводниках, проникают либо через емкостные связи (электродинамические составляющие), либо через взаимную индукцию проводников (электромагнитные составляющие) (рис. 5.8).

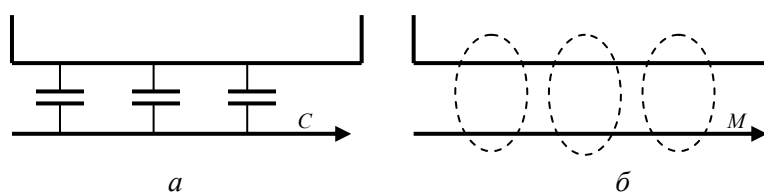


Рис. 5.8. Схема проникновения электродинамических (а) и электромагнитных (б) помех в линии связи.

Первые связаны с изменением напряжений в энергетических проводниках, вторые – с изменением токов. При этом, чем быстрее происходят эти изменения, тем больше уровень наводимых помех.

Уровень электродинамической наводки в информационном проводе определится выражениями:

для низких частот

$$U_n = 2\pi^2 U_3 f^2 L C l^2,$$

где U_3 – напряжение помехи в энергетическом проводе, f – ее эквивалентная частота, C – погонная емкость между энергетическим и информационным проводами, L – погонная индуктивность информационного провода, l – длина линии связи;

для высоких частот

$$U_c = U_3 \frac{C}{C + C_3},$$

где U_3 – уровень помехи в энергетическом проводе, C – погонная (на единицу длины) емкость между энергетическим и информационным проводами; C_3 – погонная емкость между информационным проводом и землей.

Уровень электромагнитной наводки определяется выражением

$$U_m = 2\pi M i_3 f l$$

где M – коэффициент взаимной индукции энергетического и информационного проводов, i_3 – сила тока помехи в энергетическом проводе, f – ее частота, l – длина участка, на котором соприкасаются энергетический и информационный провода.

Как видно, уровень помех в информационном проводе тем выше, чем выше частота помехи и чем длиннее участок совместного пролегания проводов. Поэтому наибольшую опасность для информационных сигналов представляют короткие мощные импульсы, создаваемые при отключении индуктивных нагрузок.

Мерами парирования наводок обычно являются шунтирование катушек контакторов и контактов искрогасящими цепями, например,

диодами, разнесение проводов и экранирование информационных проводов. Однако эти меры полезны, но не решают проблемы в целом.

Экранирование информационных проводов металлическими оплетками, заземленными во всех местах разрыва, несомненно, полезно, но обеспечивает экранирование лишь электродинамической составляющей. Электромагнитная наводка практически не устраняется. Поэтому для защиты информации следует применять бифилярную, т.е. состоящую из двух скрученных проводов линию связи при дифференциальном сигнале, т.е. сигнале, генерируемом в обоих проводах одинаковыми напряжениями противоположной полярности и при дифференциальном (разностном) приеме (рис. 5.9).

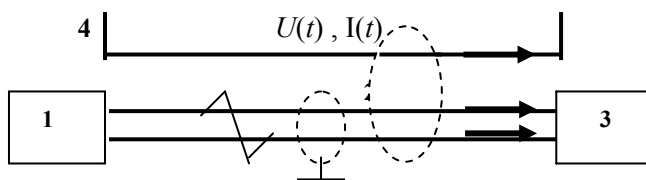
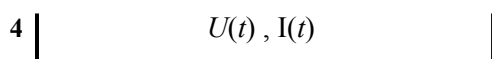


Рис. 5.9. Помехоустойчивая трансляция сигнала по бифилярной линии связи: 1 – источник сигнала; 2 – бифилярная перевитая и экранированная линия связи; 3 – дифференциальный приемник сигнала; 4 – энергетический провод – источник электродинамической и электромагнитной помехи

Поскольку наводки в обоих проводах в этом случае одинаковы, то при вычитании их во входных цепях приемников они исключаются. Шаг скрутки может быть произвольным, выбирается из условия технологической простоты и обеспечения симметрии наводимых помех и обычно составляет 2–5 см..

Для аналоговых дифференциальных сигналов (СКТ, сельсины, потенциометры) целесообразно применять трифилярные линии связи, т.е. скрученные вместе три провода (рис. 5.10).

Указанный метод показал исключительную эффективность и в авиации применяется повсеместно.



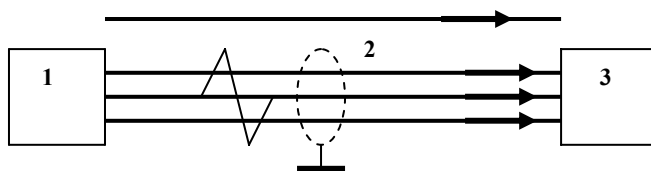


Рис. 5.10. Помехоустойчивая трансляция сигнала по трифилярной линии связи: 1 – источник сигнала; 2 – бифилярная перевитая и экранированная линия связи; 3 – дифференциальный приемник сигнала; 4 – энергетический провод – источник электродинамической и электромагнитной помехи

Что касается уровня напряжений сигналов, то они должны выбираться из условия удобства сопряжения выходных каскадов источников сигналов и необходимого числа приемников. Фактически это определяется состоянием элементной базы. В настоящее время приняты уровни сигналов в пределах 5–10 В, что практически соответствует всем предъявляемым требованиям.

Обеспечение нагрузочной способности. В принципе, обеспечить высокую нагрузочную способность источника сигнала можно путем выбора соответствующего внутреннего сопротивления источника и входных сопротивлений приемников сигнала, однако при необходимости обеспечения высокой точности передачи сигнала это приводит к необходимости обеспечения высокой мощности источника сигнала, что не всегда целесообразно. Выходом для аналоговых сигналов здесь является все тот же дифференциальный способ передачи информации, когда нагрузка искажает величину сигнала, но не искажает информации, поскольку информацию несет не амплитуда напряжения, а отношение амплитуд двух напряжений, искажаемых одинаково пропорционально.

Выход для кодовых сигналов заключается в использовании наиболее низких частот передачи импульсов, при которых волновые искажения оказываются несущественно малыми, а сопротивление входов каскадов, принимающих коды, выполняется достаточно высоким. В настоящее время количество нагрузок может составлять более 100, что практически с избытком удовлетворяет самые сложные комплексы оборудования.

Здесь следует отметить целесообразность применения линий связи, не согласованных с нагрузкой, не имеющих соответствующих сопротивлений на своих концах и не имеющих промежуточных устройств типа, например, трансформаторов, которые делают всю линию связи низкоомной и поэтому требуют наличия источников сигналов повышенной мощности во всех системах, работающих в этой линии связи.

Опыт показывает, что связь между источниками помех и приемниками ни в коей мере не может быть снижена за счет снижения сопротивлений в линии связи. Заметное снижение помех начинается только с сопротивлений в единицы и даже доли Ома. Но отсутствие согласующих сопротивлений и промежуточных устройств делает всю линию связи высокоомной, не потребляющей излишней мощности от источников сигналов.

Несоизмеримость погрешностей, вносимых каналами связей, по сравнению с погрешностями измерительных элементов может быть обеспечена, в основном, за счет применения многозарядных преобразователей аналог-код и всей последующей трансляции информации в цифровом виде.

5.3.2. Организация сетей связи в комплексах оборудования

Сложные информационные комплексы состоят из многих десятков устройств – измерительных систем, вычислителей, индикаторов, пультов управления и исполнительных механизмов, расположенных на некоторых расстояниях друг от друга. Все эти устройства должны обмениваться сигналами, несущими информацию. Число параметров, передаваемых всеми каналами от одних устройств к другим, исчисляется сотнями, а иногда и тысячами, и от точности, помехоустойчивости и надежности их работы зависит качество работы всего комплекса. Это требует оптимального построения всей совокупности каналов связи – систем связи, обеспечивающих трансляцию сигналов, несущих информацию, от одних устройств к другим. В настоящее время особо актуальной стала проблема организации каналов связи, транслирующих цифровые данные.

В комплексах оборудования существенную роль играет структура системы связей, обеспечивающих трансляцию информации от одних информационных систем к другим. В недавнем прошлом от массы проводов информационных каналов связей существенным образом зависела масса всего комплекса, то же касалось и его надежности. Эта

проблема упрощается, если подходить к организации информационных связей как к единой системе связей.

Объединение всех каналов связей в единую систему предполагает использование общих принципов организации всей сети связей, т.е. ее структуры, а также общих принципов преобразования и трансляции сигналов.

Основными структурами сети связей являются радиальная и магистральная структуры.

Радиальной сетью связей является совокупность линий связи, каждая из которых получает сигналы от одного источника информации (рис.5.11).

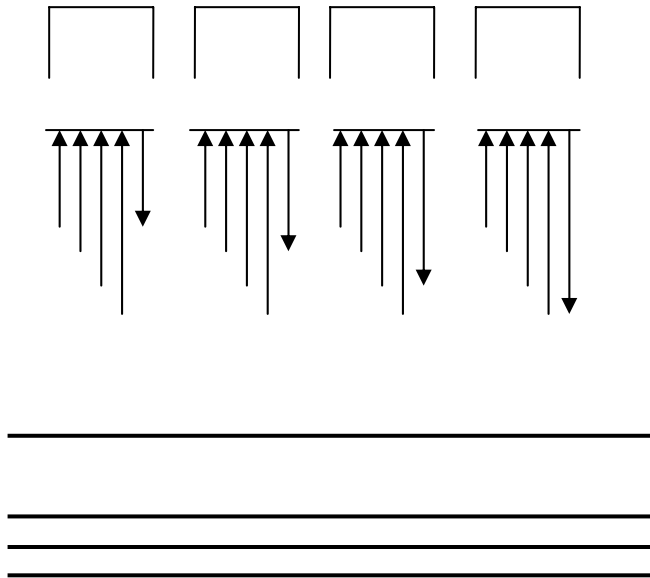


Рис. 5.11. Радиальная сеть связей

В случае аналоговых сигналов каждый сигнал выдается в отдельную линию связи, к которой подключены все приемники, нуждающиеся в этой информации. Поскольку количество потребителей информации

каждого датчика может быть различным в разных составах комплексах, а, кроме того, в процессе совершенствования состав комплекса может изменяться, возникает задача не искажения информации при изменении количества нагрузок обеспечения необходимой мощности источника сигнала при всех вариантах изменения количества нагрузок на источник сигнала. Первая задача связана с выбором вида сигнала. Если применены дифференциальные методы измерения и передачи сигналов, то задача существенно упрощается. Вторая задача связана с соотношением мощности источника и потребляемой мощности сигнала линией связи и приемником. Эта задача решается выбором амплитуд сигнала и сопротивлений нагрузки. Целесообразно учесть также, что сама линия связи искажает не столько амплитуды сигналов, сколько их фронты, поэтому в качестве носителей информации целесообразно использовать не фронты импульсов, а именно амплитуды.

В случае импульсных сигналов все перечисленные задачи сохраняются, но здесь появляется возможность использования одной линии связи для трансляции всех сигналов, исходящих из одного источника, если применен тот или вид цифрового кода с соответствующим выделением слов из общего массива. Количество линий связи в этом случае сокращается на порядок. В такой радиальной сети число линий связи равно числу источников информации, а число разветвлений каждой из них – числу приемников, подключенных к ней. Масса линий связи и интенсивность потока отказов в такой радиальной сети несоизмеримо малы по сравнению с массой и интенсивностью потоков отказов собственно аппаратуры (блоков).

Простота отработки комплексов с радиальными сетями связей, удобство обслуживания, малая масса сети связей, высокая надежность и живучесть привели к тому, что в настоящее время радиальные связи получили исключительно широкое распространение. Однако в сложных комплексах оборудования некоторые приемники информации, например, комплексные вычислители, системы индикации и т.п. оказываются связанными с несколькими десятками источников информации. Это приводит к большому числу входов таких систем и к усложнению их устройств ввода-вывода информации. Кроме того, при изменении состава комплексов или состава задач в отдельных устройствах возникает необходимость в прокладке новых проводов, что также не всегда удобно, хотя число новых проводов и невелико.

Поэтому в ряде случаев предпочтение может быть отдано не радиальным, а магистральным сетям связи (рис. 5.12).

В магистральных сетях связи к одной линии связи подключается более одного источника информации. Это дает определенную экономию в числе линий связи в сложных комплексах оборудования, значительно сокращает число входов в системах-приемниках, позволяет использовать каждым приемником всю информацию, не требует перестройки сети при подключении новых источников и приемников, но создает проблему упорядочения выдачи информации различными источниками в общую магистраль. Однако в магистральных сетях необходимо обеспечивать управление потоками информации во избежание наложения сигналов от разных источников друг на друга.

Управление потоками информации в магистралях может быть осуществлено как централизованным, так и децентрализованным способами.

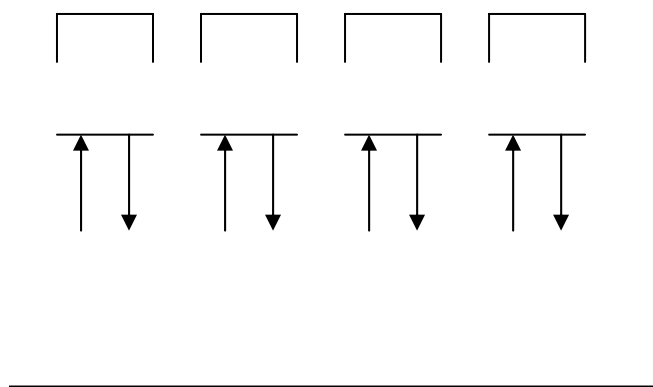


Рис. 5.12. Вариант построения магистральной сети связей

Централизованное управление потоками информации – регулирование поступления в магистраль информации от разных источников – осуществляется с помощью специального вычислителя-контроллера, в который закладывается специальная программа обмена информацией между источниками и приемниками информации. Такая программа неизбежно оказывается насыщенной большим количеством командных слов, на которые источники и приемники информации должны отзываться определенным образом. В результате математическое обеспечение оказывается чрезмерно громоздким. При этом каждое изменение состава комплекса или порядка выдачи информации приводят к необходимости изменения, как центральной программы, так и программ в источниках и приемниках. В целом такая система оказывается чрезмерно переусложненной и не гибкой.

В магистральной системе с децентрализованным управлением все управление сводится к простой синхронизации источников информации через ту же линию связи, через которую передается основная информация. Но здесь нужна или жесткая или программируемая циклограмма выдачи слов в магистраль. Расстановка слов упрощается, если частоты выхода их в магистраль и временное расположение каждого слова в циклограмме относительно слова синхронизации определяются выражениями

$$F = 2^m, \quad \tau_k = 2^{-m} + T_k.$$

где m – целое число,

Магистральные связи независимо от способа управления в них информационными потоками обладают существенным недостатком: выход магистрали из строя означает выход из строя значительного количества источников информации. Поэтому в магистральной сети связей целесообразно принимать меры по обеспечению надежности, например, за счет закольцовывания (рис. 5.13а) или за счет дублирования магистралей (рис. 5.13б). Закольцовывание защищает магистраль от одного обрыва, но не спасает от замыкания.

Возможны различные способы резервирования систем в комплексах оборудования. Наиболее удачным следует признать способ, при котором к одной магистрали подключается по одному источнику информации из каждой группы резервируемых источников. Тогда каждая магистраль становится коллективным источником не резервированной информации. Повышение надежности комплекса обеспечивается за счет резервирования магистралей вместе с подключенными к ним источниками информации (рис. 5.14). Приемники информации подключаются ко всем магистралям, что дает им возможность получения информации даже при выходе части магистралей из строя. Кроме того, появляется возможность осуществлять контроль информации путем сравнения однородных физических параметров, поступающих из разных магистралей.

Сопряжение функциональных комплексов оборудования между собой как при использовании радиальных связей внутри комплексов, так и при использовании внутри комплексов магистральных связей наиболее просто осуществляется по радиальной схеме. В этом случае соответствующая линия связи – радиальная или магистральная – подключается к тому потребителю информации, который в ней

нуждается. Подключение потребителя информации при достаточном запасе нагрузочной способности источников информации никак не может сказаться на работоспособности радиальных или магистральных линий связи. Сопряжение комплексов в этом случае осуществляется просто и сводится к механическому соединению приемников с линиями связи (рис. 5.15).

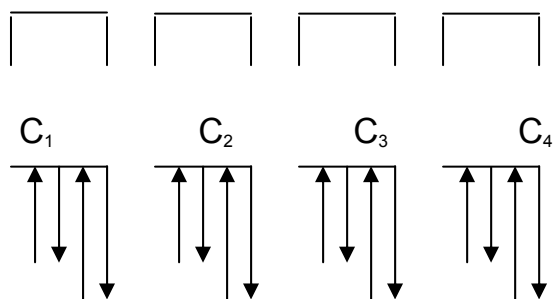
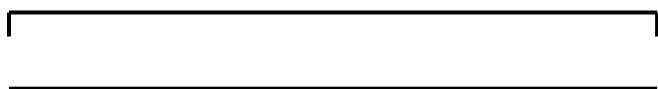
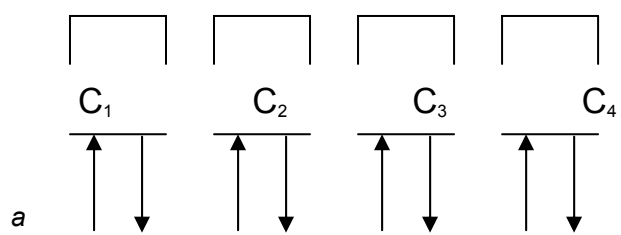
*b*

Рис. 5.13. Структуры магистральной сети повышенной надежности: а) закольцовывание магистралей; б) дублирование магистралей

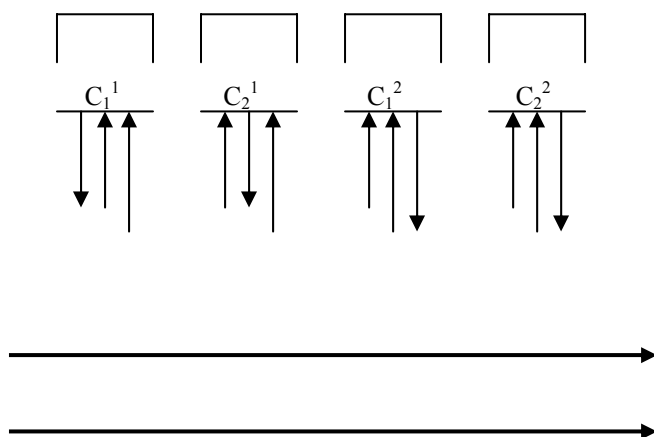


Рис. 5.14. Резервирование магистралей по принципу коллективного датчика информации

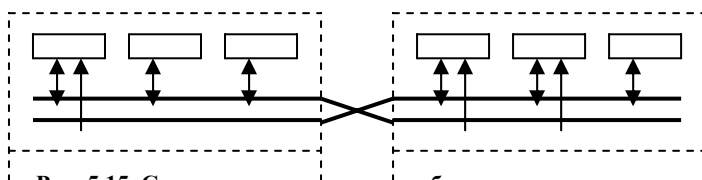
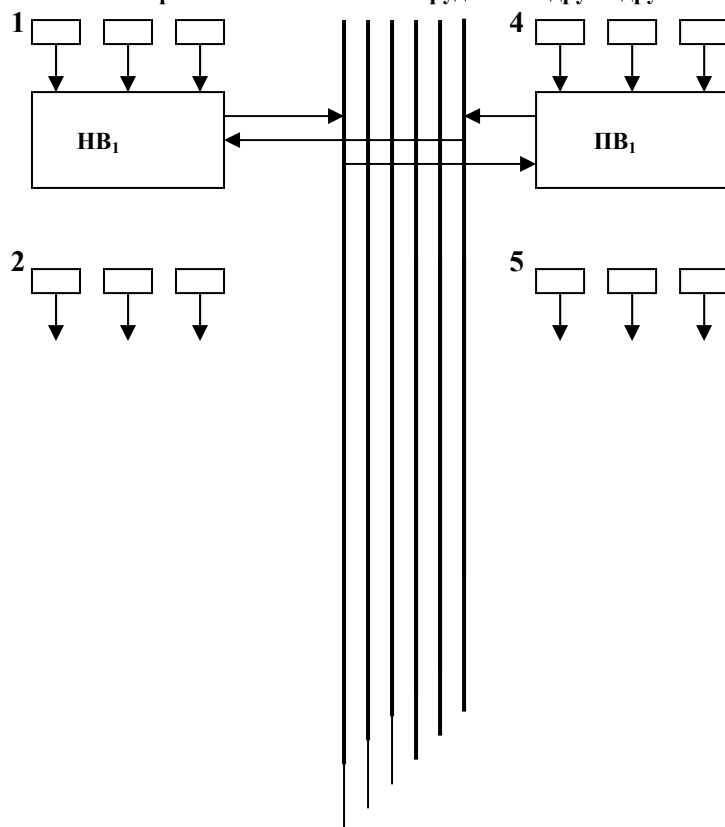


Рис. 5.15. Сопряжение комплексов оборудования друг с другом



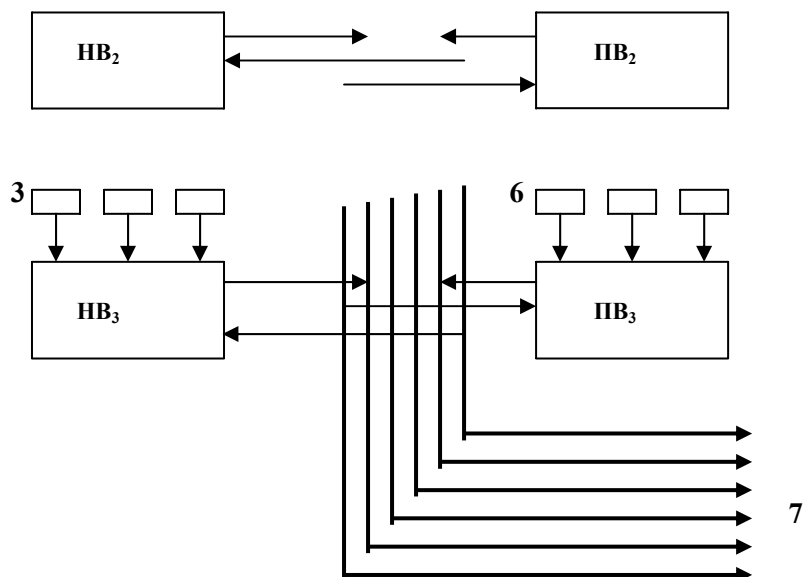


Рис. 5.16. Структура магистрально-радиальной сети связи с ретрансляцией вычислителями первичной информации для пилотажно-навигационного комплекса тяжелого самолета: 1, 2, 3 – комплекты навигационных датчиков; 4, 5, 6 – комплекты пилотажных датчиков; 7 – выход всей пилотажно-навигационной информации к другим потребителям – индикаторам, другим комплексам; NB_1 , NB_2 , NB_3 – комплексные навигационные вычислители; PB_1 , PB_2 , PB_3 – комплексные пилотажные вычислители

Другим вариантом построения магистралей является использование потребителей, получающих информацию от нескольких источников в качестве ретрансляторов информации (рис. 5.16).

Каждый такой потребитель становится источником нескольких параметров и далее используется другими потребителями информации как коллективный источник информации. Фактически это вариант радиальной связи, но обладающий достоинствами магистральных сетей. Однако здесь нужно, чтобы полученная источником информация от нескольких датчиков немедленно ретранслировалась на его выход.

В этой структуре роль ретрансляторов играют комплексные вычислители – в бортовом оборудовании соответственно

навигационные и пилотажные, каждый со своими датчиками – навигационными и пилотажными. Один комплект датчиков, непосредственно сопряженный по радиальной схеме с одним из вычислителей является для этого вычислителя основным. Информацию от других датчиков того же назначения этот вычислитель получает через магистральные линии связи, чем обеспечивается необходимое резервирование всей информации и тем самым надежность всего комплекса.

5.3.3. Выбор способа обмена информацией в комплексах оборудования

При трансляции информации по линиям связи может быть использовано несколько способов обмена информации между источниками и приемниками сигналов. **Выбор способа передачи информации от нескольких источников** общему приемнику влияет на факт одновременности поступления информации, что важно для минимизации ошибок при обработке информации в приемниках. Наиболее употребительные из них циклический асинхронный способ, пригодный как для аналоговых, так и для кодовых сигналов, а также «по запросу» и «по готовности».

Циклический асинхронный обмен – это способ обмена, при котором источник информации выдает в линию связи сигналы либо непрерывно, если сигналы аналоговые, либо циклически, т.е. с определенной заранее обусловленной частотой, если сигналы импульсные или кодированные. Информация выдается в линию независимо от того, является ли она новой или повторяющейся. Все приемники, подключенные к линии связи, на своих входах всегда имеют необходимую информацию, однако используют ее тогда, когда им это нужно.

Циклический асинхронный обмен весьма удобен для разработчиков комплексов аппаратуры, так как позволяет вести разработку и отладку всех составляющих комплекса практически независимо друг от друга, поэтому он нашел исключительно широкое применение в комплексах аппаратуры. Для комплексов оборудования, предназначенных для управления процессами в натуральном масштабе времени, измерительная информация должна непрерывно обновляться. Это означает, что эта информация должна непрерывно циркулировать в

линиях связи, что вполне сочетается с принципами циклического асинхронного обмена.

Циклический обмен существенно упрощает организацию контроля информации. Сбившаяся по каким-либо причинам информация уже в следующей посылке автоматически восстанавливается, а отсутствие сигналов в линиях связи сверх установленного периода означает выход из строя канала связи, что немедленно фиксируется.

Для упрощения процедуры обмена в приемниках информации целесообразно использовать буферную память, в которой для информации, необходимой этому приемнику, отводятся специальные ячейки. Поступающая на вход приемника информация через устройство ввода-вывода распределяется в соответствии с адресацией по ячейкам, так что в каждой ячейке находится значение определенной физической величины. Эта информация непрерывно обновляется по мере поступления свежей информации из линии связи. Цифровой вычислитель, установленный в этом приемнике, обращается в эту буферную память и по мере надобности использует поступившую в нее информацию.

В этом случае целесообразно, чтобы от всех источников информации на вход приемников информация поступала непрерывно с темпом, обусловленном скоростью изменения самих физических величин. Здесь целесообразен асинхронный способ поступления информации с записью величин в буферную память приемника, откуда информация затем берется для обработки внутренней программой приемника

Поскольку между поступлениями информации в линию связи и моментом ее непосредственного использования проходит определенное время, информация успевает устареть. Для того чтобы это устаревание не было чрезмерным, нужно, чтобы сигналы в линии связи повторялись с необходимой частотой. Поскольку во всех реальных информационных трактах имеется инерционное звено, находящееся, как правило, в конце тракта (например, в бортовом авиационном оборудовании таким звеном является сам самолет), то частота повторения должна определяться именно этим звеном. Например, в пилотажно-навигационных комплексах частоты повторения лежат в пределах от единиц до нескольких десятков герц.

Циклический синхронный обмен – это способ обмена, при котором каждый датчик должен выдавать информацию тоже циклически, как и в

предыдущем случае, однако моменты выдачи должны быть привязаны либо к определенным моментам времени, либо к некоторому синхронизирующему слову или команде. В этом случае возникает необходимость в расстановке информационных слов, поступающих от разных датчиков, во времени так, чтобы в общей линии связи, в которую поступает информация от многих источников, не произошло наложения слов друг на друга. Во всем остальном этот способ аналогичен предыдущему.

Обмен «по готовности». Это способ означает выдачу источником информации после того, как информация в нем будет подготовлена к выдаче, т.е. выполнены все необходимые преобразования сигналов, сформированы форматы файлов (массивов) или отдельных слов и т.п. Такой вид обмена отличается от циклического асинхронного тем, что предполагает не циклические, а разовые послы.

При обмене «по готовности» приемник информации должен быть всегда готов к ее приему, что не всегда удобно, поэтому этот вид обмена информацией применяется лишь в редких, но необходимых случаях, например, при приеме информации со спутников, хотя здесь возможны и другие виды обмена.

Обмен «по запросу». При использовании этого вида обмена источник информации выдает информацию по запросу из приемника. Этот вид обмена целесообразен тогда, когда передача информации осуществляется редко, но большими массивами. Примером такого обмена является передача в индикаторы картографической информации.

5.4. Обеспечение надежности работы аппаратуры

Одной из важнейших проблем современной техники является проблема обеспечения надежности и помехоустойчивости работы. Эта проблема особенно обострилась в связи с появлением сложных систем оборудования, состоящего из многих тысяч элементов, в которых отказ любого из них способен вывести из строя весь комплекс. Однако еще более важной задачей является задача своевременного обнаружения отказа того или иного устройства для того, чтобы не допустить вредных последствий от неправильной работы комплекса.

Существует ряд способов обеспечения надежной работы сложных комплексов и систем. Основным способом является повышение надежности всех элементов, образующих системы комплекса. На этом пути технологически получены высокие результаты, однако считать, что на этом пути получено все что нужно, нет оснований. Требования к надежности непрерывно растут, и было бы желательно, чтобы в управляющий комплекс не требовалось бы никакого вмешательства с целью замены вышедших из строя агрегатов за весь период эксплуатации данного технологического процесса. А это предъявляет весьма высокие требования к надежности всех систем, а, следовательно, и всех элементов.

Вторым способом повышения надежности является резервирование систем и устройств. Предполагается, что резервированные системы не выходят из строя одновременно, и поэтому они подстраховывают друг друга. В структурной схеме при этом необходимо соблюдать *принцип отсутствия общих точек*, то есть таких мест или соединений, отказ которых приводит к выходу из строя всего комплекса. Резервирование может производиться на любом иерархическом уровне – уровне элементов, уровне плат или функциональных узлов, уровне информационных систем. В авиации используется практически только резервирование на уровне систем, и опыт эксплуатации показал эффективность этого способа.

Однако ни повышение надежности за счет элементов, ни структурное резервирование не снимает необходимости контролировать работоспособность систем.

Целесообразно различать два вида контроля – контроль исправности аппаратуры и контроль достоверности информации. У этих двух видов контроля разные цели, а поэтому и разные способы реализации.

Контроль исправности аппаратуры, включая и контроль состояния сети связи, имеет целью фиксацию состояния аппаратуры с тем, чтобы при ближайшей возможности либо отремонтировать поврежденную часть, например, путем замены отказавших блоков, либо учесть наличие неисправностей при дальнейшей эксплуатации, если такой ремонт по каким-либо причинам невозможен.

Контроль достоверности информации имеет другую цель – недопущение недостоверной информации к использованию. При этом вовсе не обязательно относить факт недостоверной информации к отказу аппаратуры, для этого могут быть другие причины. Другое дело,

если недостоверность информации регулярна, тогда источником нерегулярности и в самом деле может явиться отказ аппаратуры, но это требует дополнительного анализа. Иначе может оказаться, что аппаратура заменена, а недостоверность информации остается, потому что ее причина иная.

Исправность аппаратуры проще всего устанавливается путем решения эталонной задачи с известным ответом. Результатом такого контроля должна быть выработка информации, подтверждающей работоспособность аппаратуры, т.е. «сигнал исправности». Если эталонная задача решена неверно, то отсутствие такого сигнала и есть признак выхода аппаратуры из строя. Ни в коем случае нельзя использовать сигнал «отказ аппаратуры», потому что вышедшая из строя аппаратура не способна сформировать такой сигнал. Информация о выходе из строя тех или иных блоков может быть сформирована только всем комплексом и фиксироваться в выходных звеньях информационных трактов – индикаторах, сигнализаторах, системах сбора и локализации отказов и т.п.

Однако следует отметить, что далеко не все информационные системы способны решать эталонные задачи, это могут сделать вычислители, электронные индикаторы, но не могут измерительные устройства и системы. Поэтому для контроля их исправности приходится использовать признак недостоверности информации, получаемый косвенным путем. Регулярное повторение этого признака может служить и косвенным признаком выхода аппаратуры из строя.

Существует значительное число разнообразных методов оценки достоверности информации. Однако многие из них сложны, а эффективность их невысока. Поэтому ниже перечислены лишь те из них, которые нашли реальное применение в сложных комплексах оборудования.

1. Контроль информации по факту поступления. Поскольку значительная часть информации имеет циклический характер, одним из эффективных методов контроля целостности информационного тракта, включая целостность линии связи, является этот вид контроля.

В приемниках информации оценивается факт исчезновения сигналов. Аналоговые сигналы оцениваются по факту наличия, здесь задача облегчается, если использован дифференциальный вид сигнала, в кодовых связях оценивается время не поступления очередной посылки,

из чего и делается вывод о нарушении целостности соответствующего тракта.

2. Контроль информации путем сопоставления однородных параметров, поступающих в приемник от разных источников. Этот вид контроля позволяет выявить канал, доставивший ложную информацию, и не допустить эту информацию к использованию. Сюда же относится и контроль сравнением взаимосвязанных параметров, т.е. параметров не однородных физически, а коррелированных между собой.

3. Контроль по допуску на приращение, т.е. на возможное изменение параметра за определенное время. Этот вид контроля целесообразен для выявления ложной информации в том случае, если информация ничем не дублирована. Такой вид контроля целесообразно вводить при наличии одного или даже двух источников однородной информации, т.к. выход одного из них уже не удастся установить путем простого сравнения.

Перечисленные виды контроля пригодны для контроля информации, представленной как в аналоговом, так и в цифровом (кодовом) виде. Ниже перечислены виды контроля, пригодные только для цифровой информации.

4. Контроль сообщений на нечетность. Этот вид контроля удобен для контроля последовательных кодов. Он осуществляется непосредственно на входе приемника путем подсчета числа единиц в слове. Но данный способ оценивает лишь «нечетные» сбои. Следует отметить, что за много лет эксплуатации многочисленной бортовой авиационной аппаратуры, использующей RZ-код, ни разу не был выявлен его сбой, хотя вид контроля на нечетность применен везде.

5. Контроль по матрице состояния, составляющей часть информационного слова. Сюда вносится информация о правильности решения эталонной задачи источниками информации.

Эффективность применения указанных видов контроля в бортовой авиационной аппаратуре подтверждена многолетней практикой ее эксплуатации.

Выводы

1. Все технические комплексы выполняют сходные физические задачи – измерение первичных физических параметров; преобразование сигналов из одного вида в другой; трансляцию сигналов по каналам связи от одних блоков к другим; преобразование информации из одного вида в другой; индикацию операторам (экипажу), необходимую для выполнения ручных операций и для контроля; автоматическое или ручное (по данным о ходе процесса) управление процессом; контроль за ходом процесса и принятие мер в случае недопустимых отклонений.

Соответственно любые технические комплексы имеют в своем составе измерительные информационные системы (датчики); каналы связи; устройства, преобразующие сигналы от измерителей в вид, удобный для восприятия каналами связи и далее вычислительными системами; вычислительные средства для обработки полученной от датчиков информации; индикаторы; сигнализаторы; пульты и органы управления; блоки питания (обычно встраиваемые в системы, которые они должны обслуживать); линии связи для передачи информационных сигналов между системами и блоками; энергетические провода для подвода электропитания ко всем системам и агрегатам; защитные устройства для отключения систем при возникновении в них аварийной ситуации.

Исходя из этой общности, имеется возможность определить общие оптимальные технические решения для всех видов комплексов независимо от их конкретного назначения.

2. Организация структуры сложных технических комплексов должна исходить из нескольких принципов, к которым относятся: принцип однородности иерархического уровня, принцип максимальной функциональной замкнутости, принцип минимизации старших иерархических информационных связей, принцип наращиваемости аппаратуры, принцип физической однородности распределения функций. Перечисленные принципы справедливы не только для структуры комплекса в целом, но и для структуры каждой системы, входящей в его состав и вообще для каждого звена любого уровня, включая элементы. Следование этим принципам обеспечивает повышение надежности, взаимозаменяемость устройств, упрощает отработку каждого функционального узла.

3. В комплексах оборудования существенную роль играет структура системы связей, обеспечивающих трансляцию информации от одних информационных систем к другим. Основными структурами сетей

связи являются радиальная и магистральная структуры. В радиальной структуре каждый источник информации подключен ко всем приемникам, потребляющим его информацию, по независимой сети, в магистральной сети к общей магистрали подключено несколько источников информации, выдающих сигналы в общую магистраль по специальному расписанию. Радиальная сеть проще в отработке, но требует большего числа проводов, чем магистральная. Обеспечение надежности сетей связи достигается, в основном, их резервированием.

4. Передача информации без использования сигнала – физического носителя информации невозможна в принципе. Проблемами выбора сигнала являются:

- определение общего для всех систем и устройств, входящих в состав комплекса помехоустойчивого вида сигнала;
- обеспечение необходимой нагрузочной способности преобразователя источника информации, обеспечивающей отсутствие искажений при изменении числа нагрузок;
- обеспечение несоизмеримости погрешностей, вносимых каналами связи, по сравнению с погрешностью, вносимыми измерительным чувствительным элементов, находящимся на входе всего информационного тракта;
- выбор способа передачи и приема сигналов от нескольких источников информации, обеспечивающего их эквивалентную одновременность.

5. Из всех видов сигнала наибольшей информационной емкостью и помехоустойчивостью обладает двоичный код. Для межблочных, межсистемных и межкамплексных связей может быть рекомендован RZ-код с представлением цифр в виде импульсов положительной или отрицательной полярности, разделенных паузой. Этот код должен передаваться бифилярной витой парой проводов и восприниматься приемниками дифференциальным способом. Применение биполярных импульсов и трансформаторов развязки не рекомендуется, поскольку это делает линию связи низкоомной и не обеспечивает необходимой нагрузочной способности источников сигналов.

6. Обеспечение надежности работы комплекса обеспечивается в первую очередь повышением надежности его элементной базы и резервированием информационных систем, в последнем случае необходимо обращать внимание на отсутствие «общих точек», т.е.

узлов, выход из строя которых способен привести к выходу из строя всего комплекса.

7. Контроль исправности систем, входящих в состав комплекса, обеспечивается приемником либо путем сравнения однородной информации, поступающей от разных источников, либо путем решения эталонных задач с известным ответом. Результат контроля отражается в факте передачи информационных слов и в матрице состояния каждого слова

Глава 6. Развитие сложных технических систем.

6.1. Сущность, цели и категории развития

Развитие есть необратимое, направленное, закономерное изменение материальных и идеальных объектов. Только одновременное наличие всех трех указанных свойств выделяет процессы развития среди других изменений: обратимость изменений характеризует процессы функционирования (циклическое воспроизведение постоянной системы функций); отсутствие закономерности характерно для случайных процессов; при отсутствии направленности изменения не могут накапливаться и поэтому процесс развития лишается единой внутренне взаимосвязанной линии.

О принципах развития технических средств приходится говорить в связи с тем, что каждое предприятие, занимающееся разработкой какого-либо изделия, специализируется на разработке изделий относительно узкой номенклатуры и занимается этим много лет, непрерывно совершенствуя, то есть, развивая это класс изделий. Однако это в большинстве случаев делается интуитивно, часто ссылаясь на зарубежный опыт, тем самым принципиально обрекая себя на отставание от зарубежных партнеров. Поэтому понимание общих принципов развития может принести определенную пользу и для конкретных приложений.

Развитие может быть *стихийным* и *управляемым*. При стихийном развитии развитие происходит не направлено и сопровождается многочисленными издержками, прогрессивное значение такого развития не очевидно.

Управляемое развитие всегда имеет *цель* развития, которая определяет направление развития и *критерии* развития - *конкретные параметры, характеризующие каждый одно из многих качеств объекта или процесса и имеющие численное выражение*. Поскольку каждый объект и процесс характеризуется многими параметрами, то все эти параметры могут, в принципе, являться такими критериями. Следует иметь в виду, что изменение в лучшую сторону одного из параметров за счет ухудшения другого не является признаком развития.

Так, в авиации несколько десятков лет выступал критерий массы: при всех одинаковых качествах – объему выполняемых функций, надежности (интенсивности потоков отказов), точности и т. п. та система считалась лучше, которая имела меньшую массу. Сокращение массы рассматривалось как определенная экономическая эффективность (величина, обратная массе). Однако если сокращение массы достигалось за счет ухудшения надежности, например, за счет сокращения резервирования звеньев, то считать такое изменение за развитие никак нельзя.

Отсутствие критериев, имеющих числовое выражение, приводит к нечеткости определения самого факта развития.

Стимулом к развитию является *противоречие* – различие между реальным значением параметра и его желательным значением.

Развитие по разным критериям происходит неравномерно. Поэтому в технических комплексах всегда необходимо определить консервативные параметры, которые не меняются в течение нескольких поколений техники, и критерии по которым нужно производить положительные изменения. Такая постановка приводит к необходимости обеспечения *преемственности* поколений техники, в соответствии с которой изменяющаяся часть комплекса, должна устанавливаться на место устаревшей части без каких-либо изменений в сохраняющейся части. В технических комплексах консервативными параметрами обычно являются параметры питания, внешние воздействия (по условиям применения), конструктивы (габаритно-присоединительные размеры), параметры электрических связей и некоторые другие. Наоборот, изменяющимися параметрами, определяющими развитие, являются функции устройств, их масса, параметры надежности и ряд других.

На развитие любого объекта всегда требуются дополнительные средства, поэтому всегда возникает вопрос о целесообразности внесения

изменений в уже имеющиеся решения. Поскольку любая система или комплекс используется не изолированно, а в составе других комплексов и агрегатов и является частью более старшего структурного объединения, то и оценку эффективности развития любого устройства нужно оценивать в сопоставлении с тем, насколько изменяется эффективность старшего объединения по тому же критерию в сопоставлении с теми затратами, которые нужно произвести для развития этой системы или агрегата, являющимся младшим структурным объединением. И здесь могут быть совсем иные результаты.

6.2. Основные принципы развития

6.2.1. Однокритериальное и многокритериальное развитие

Всякое развитие можно оценить лишь тогда, когда четко обозначен критерий развития. Например, в авиации традиционным критерием совершенства многих систем являлся критерий массы. Если два устройства выполняют одни и те же функции с одними и теми же характеристиками, но масса одной системы меньше, чем другой, то первая система считается лучшей. Для авиации этот критерий оправдан, поскольку большая масса оборудования означает необходимость сокращения массы полезного груза. В бортовом авиационном оборудовании критерий массы длительное время был одним из основных при оценке эффективности прогресса в этой области. Однако при этом упускалось из виду увеличение массы самого самолета со временем. Это было связано с тем, что перед самолетами, как военными, так и пассажирскими ставились все более сложные задачи, масса полезного груза росла, и это не зависело от массы бортовой аппаратуры. На этом фоне сокращение массы аппаратуры до нескольких процентов от массы летательного аппарата еще имело смысл, но стремление к дальнейшему сокращению массы при необходимости вкладывать в новые разработки новые и все большие средства, уже теряло смысл. Поэтому всякое развитие по единственному критерию исчерпаемо.

Но для кораблей критерий массы не всегда является обязательным, поскольку в ряде случаев для устойчивости судна, наоборот, приходится его нагружать дополнительно балластом.

Критериями развития могут быть самыми разнообразными в зависимости от назначения системы, условий разработки (например, себестоимость), условий эксплуатации и ряда других. Однако при всем своем разнообразии развитие по конкретному критерию имеет некоторые общие закономерности, не учет которых может привести к существенным ошибкам в общей стратегии развития, неоправданным затратам и даже к тому, что созданные с большими усилиями системы оказываются не востребованными.

Функция наращиваемости эффективности развития системы по одному критерию представлена на рис. 6.1.

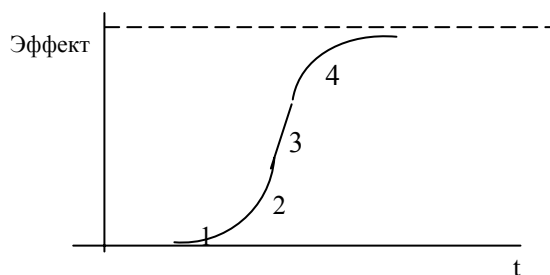


Рис. 6.1. S-образная кривая насыщаемости эффективности однокритериального развития

Всю функцию наращиваемости эффективности условно можно разделить на пять участков.

На первом участке данный критерий развития не играет большой роли, но он, тем не менее, начинает влиять на эффективность устройства. По мере развития (совершенствования) всей системы доля данного критерия в общей эффективности постепенно нарастает. На этом участке эффективность наращивается пропорционально ранее достигнутой эффективности и представляет собой геометрическую прогрессию или экспоненциальную функцию с положительным временным показателем, значение которого для разных устройств разное. Этот участок доходит до того значения эффективности, пока ускорение эффективности не станет равным некоторой предельной величине, при которой система окажется не в состоянии увеличивать свое ускорение. Обычно это происходит в связи с наличием такого

звена внутри системы, которое оказывается неспособным увеличивать свое ускорение развития по данному критерию.

Второй участок есть участок развития с постоянным ускорением, значение которого определяется указанным выше звеном. Эффективность нарастает до того значения, пока скорость изменения системы не достигнет некоторой предельной величины. Здесь, как и в предыдущем случае, внутри системы находится другое звено, которое оказывается неспособным развиваться со скоростью, превышающей некоторое критическое значение.

Третий участок – участок развития с постоянной скоростью, значение которой определяется указанным в предыдущем абзаце звеном. Это развитие длится до тех пор, пока эффективность критерия не начинает исчерпываться на фоне развития по такому же критерию старшего структурного объединения.

Четвертый участок – участок торможения развития, поскольку здесь становится ясной неэффективность дальнейшего наращивания качества по данному критерию. С этого момента начинается замедление развития с постоянным отрицательным ускорением.

На последнем пятом участке, когда эффективность критерия практически исчерпана, процесс развития по этому критерию продолжается, но уже по инерции, все более замедляясь, обычно это происходит по экспоненциальному закону с отрицательным показателем.

В качестве примера можно привести случай, когда развитие комплекса оборудования тяжелого самолета осуществлялось по критерию массы.

Некоторый конкретный самолет имел массу в 100 т., при этом масса бортового оборудования составила 8 т., что сразу же было признано недопустимо большим. Поэтому было назначено новое значение массы в 4 т. и отпущен срок – 8 лет. Через 8 лет масса бортового оборудования составила 4 т, и было, таким образом, сэкономлено 4 т, которые можно было использовать для увеличения полезной нагрузки. Однако и это оказалось недостаточным. На следующие 8 лет было дано задание сократить массу оборудования вдвое, что и было выполнено, но на этот раз экономия составила всего 2 т. В следующий раз за 8 лет было сэкономлено всего 1 т., а в следующий – всего 0,5 т. Учитывая, что затраты на каждый этап были одни и те же, получалось, что затраты на

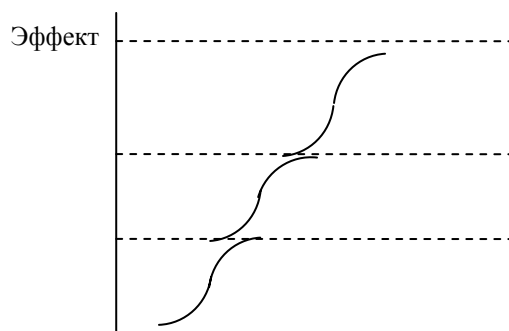
каждую сэкономленную единицу массы аппаратуры возрастают вдвое. Критерий массы, таким образом, себя исчерпал.

В комплексе, состоящем из многих физически и соответственно технологически разнородных звеньев, каждое звено имеет свою постоянную времени развития. Если какое-либо одно звено ускоряет свое развитие относительно других звеньев, то достаточно быстро выясняется, что такое развитие не только не эффективно, но и является помехой для развития других звеньев. Форма такой помехи может быть разнообразной, например, в виде неоправданного отсоса средств, в виде структурного перекося внутри всей системы и т.п.

Типичным примером является затоваривание рынка каким-либо продуктом при нехватке других продуктов. Избыточный продукт оказывается невостребованным, он устаревает морально и физически, затраченные средства оказываются выброшенными.

Другим примером является развитие звеньев на 1-м участке, если их развитие не скоординировано друг с другом. Поскольку развитие каждого звена определяется своим показателем, то пропорциональное от достигнутого уровня эффективности развитие приводит к тому, что однажды отставшее звено начнет в своем развитии отставать от других звеньев все больше и является тормозом в общем развитии системы, а однажды опередившее звено опережает другие звенья системы все больше, и теперь вся система начинает оказывать тормозящее влияние на его дальнейшее развитие, например, в виде не востребованности системой результатов развития этого звена, в виде структурных перекосов внутри системы и т.п. Поэтому во избежание структурных перекосов развитие по заданному критерию отдельных звеньев системы должно происходить с учетом развития по этому критерию всей системы и всех ее звеньев. Такое развитие и будет оптимальным.

В принципе, развитию предела нет. Но это означает, что по мере исчерпания одних критериев, в дело должны вступать другие критерии, причем все развитие реально должно идти до тех лишь пор, пока не будет определена насыщенность эффективности по всем существенным критериям (рис. 6.2).



t

Рис. 6.2. Чередование критериев развития при многокритериальном развитии

Насыщаемость эффективности по каждому критерию и по всей совокупности критериев может определяться по **принципу несоизмеримости эффективности**: если прирост эффективности (например, уменьшение массы) в развивающихся младших структурных объединениях оказывается несоизмеримо мал по сравнению с величиной того же критерия в старшем структурном объединении (массой самолета). Это значит, что развитие по данному критерию заканчивается и нужно искать иные критерии развития. Величина несоизмеримости определяется в каждом случае отдельно, но обычно она колеблется от долей процента до нескольких процентов. Новыми критериями развития должны быть те, которые оказываются препятствием на пути дальнейшего эффективного использования техники (старшего структурного объединения). Однако не следует забывать, что удовлетворение требований потребителя по всем основным критериям может принципиально поставить вопрос о том, что дальнейшее развитие, т. е. улучшение основных параметров объекта больше не требуется.

В качестве примера можно привести развитие бортового авиационного пилотажно-навигационного оборудования.

На первых самолетах число приборов было невелико (барометр-анероид в качестве барометрического высотомера, магнитный компас и вертушка-анемометр для измерения воздушной скорости). По мере выяснения недостаточности этих средств стали наращиваться требования к полноте (числу функций) и точности измерения пилотажных параметров. Критериями развития стали полнота пилотажных функций и точность их измерения. Затем, по мере роста высот и скоростей полета самолетов требования к пилотажным

приборам стали быстро наращиваться. Увеличение дальности полета привел к необходимости обратить внимание и на состояние навигации, и в послевоенное время наиболее критичными стали требования к навигационному обеспечению полетов. Именно они и заставили использовать различные физические методы измерения параметров полета, и именно они предъявили требования к наращиванию функций и обеспечению высокой точности измерения первичных параметров уже для целей навигации. К этому времени основные требования по пилотажным параметрам были удовлетворены, и развитие по этому критерию практически закончилось. Появившиеся пилотажные комплексы начали развиваться по новому критерию – критерию точности захода на посадку и категориям посадки по критериям горизонтальной видимости и высоты облачности, а навигационные – по критерию полноты функций и обеспечению необходимой точности.

Наращивание функций и точности измерения привели к появлению на самолетах громоздкой аппаратуры, и это выдвинуло на первое по значимости место критерий массы. Однако вскоре выяснилось, что сложность аппаратуры приводит к недопустимо большому числу отказов, и параллельно стал действовать критерий снижения интенсивности потока отказов (λ -характеристики).

В настоящее время и критерий сокращения массы, и критерий сокращения интенсивности потоков отказов можно считать в значительной степени исчерпанными. На очередь встала необходимость определения новых критериев развития бортового оборудования. Есть основания полагать, что такими критериями могут быть сокращение времени готовности к взлету и сокращение затрат на эксплуатацию и подготовку летательного аппарата к взлету. Использование этих критериев заставит разработчиков аппаратуры пересмотреть очередной раз всю техническую политику по бортовому оборудованию летательных аппаратов и найти новые решения. В перспективе может оказаться, что бортовое оборудование полностью удовлетворяет всем требованиям самолетовождения и его развитие далее не обязательно.

6.2.2. Этапность развития, принципы изоморфизма базовых основ и целесообразной избыточности

Развитие сложных комплексов предполагает совершенствование их отдельных составляющих. Но в комплексах, выполняющих сложные задачи, всегда участвуют физически разнородные устройства, развитие каждого из них имеет свою постоянную времени, отличающуюся от постоянных времени развития других устройств. Поэтому существенные изменения отдельных составляющих комплексов происходят в разные сроки. Кроме того, для многих изделий срок службы превышает сроки их возможной модернизации. Целесообразность замены в комплексах одних изделий на другие того же назначения, но более совершенные, может определяться разными соображениями. В одних случаях может оказаться, что используемое в настоящий момент изделие не полностью удовлетворяет по своим характеристикам требованиям эксплуатации из-за того, например, что сами эти требования изменились. В других случаях физический износ части изделий приводит к необходимости их замены, но так, чтобы другие элементы комплекса, не отслужившие свой срок, продолжали бы использоваться. Так или иначе, выясняется, что модернизация комплекса должна происходить по частям, и новые изделия, заменяющие старые, должны устанавливаться вместо них, сопрягаясь с другими, устаревающими частями комплекса. Поэтому в реальной ситуации приходится заменять не все составляющие комплекса, а только часть из них, постепенно и поэтапно заменяя и остальные составляющие по мере их созревания и готовности к включению в комплекс.

Таким образом, актуальной является задача частичной замены отдельных звеньев комплекса без изменения других звеньев. В этом и заключается проблема взаимозаменяемости звеньев.

Проблема взаимозаменяемости одних звеньев комплекса при неизменности других возможна лишь в том случае, если выполняется принцип изоморфизма базовых основ комплекса, т.е. тех параметров, которые существенно влияют на все виды интерфейсов – характеристик соединения звеньев с внешней средой. Элементами такой среды для каждого звена обычно являются:

- другие звенья комплекса, с которыми связано данное звено;
- параметры питания, общие для всех звеньев комплекса;
- конструктивные параметры;
- параметры внешних воздействий.

Преемственность поколений изделий может быть обеспечена, если на протяжении нескольких поколений изделий выполняется **принцип изоморфизма базовых основ**, при которых те параметры, от которых зависит возможность использования новых изделий взамен устаревших, сохраняются неизменными. Такими параметрами, как правило, являются:

- параметры связей – физические (физический интерфейс) и информационные (информационный интерфейс);
 - параметры электропитания (энергетический интерфейс);
 - конструктивные параметры (конструктивный интерфейс);
 - параметры внешних воздействий,
- а также некоторые другие.

Перечисленные интерфейсы, собственно, и определяют возможность взаимозаменяемости изделий, поэтому они должны являться в первую очередь объектами стандартизации. Техническая политика в этой области должна быть тщательно продуманной на несколько поколений вперед, а далее быть консервативной, распространяющаяся на несколько поколений и меняющаяся поэтапно лишь в той мере, в какой это оказывается жестко необходимым. Целесообразно всячески избегать в этих вопросах конъюнктурных соображений.

1. Замена какого-либо звена комплекса на другое, более совершенное звено с точки зрения сохранения работоспособности всего комплекса означает, что связи нового звена с остальными звеньями должны, как и заменяемое звено, обеспечивать физические, энергетические и информационные параметры каналов связей. Эти параметры – виды и уровни электрических сигналов связей должны сохраняться неизменными для применяемых сигналов, а их развитие должно всего лишь идти в направлении сокращения числа видов применяемых сигналов: для новых систем число разновидностей сигналов должно быть меньше, чем у предыдущих, это позволит сокращать разновидность применяемой элементной базы, что всегда выгодно для любого производства.

В 50-е –60-е годы прошлого столетия число видов сигналов сопряжения блоков в комплексах бортового оборудования самолетов было столь разнообразно, что составлялись специальные схемы, на которых для каждого канала связи оговаривались их параметры, без чего сопряжение звеньев в комплекс было невозможно. Однако постепенное сокращение номенклатуры видов сигналов позволило в

дальнейшем упростить этот процесс, который в настоящее время уже никакой трудности не представляет.

В физических параметрах связей стандартизуются виды и уровни электрических сигналов, при этом выбираются те из них, которые обеспечивают максимальную помехоустойчивость информации при искажениях самого сигнала. Обычно это дифференциальные сигналы, т.е. сигналы, передаваемые по бифилярным или трифилярным линиям связи. К этим сигналам предъявляются требования максимальной информационной емкости, т.е. способности за один и тот же период времени передать максимальный объем информации. Сюда же добавляются энергетические характеристики каналов связей, в которых отражаются нагрузочные способности выходных и входных элементов устройств, с тем чтобы гарантировалось необходимое количество потребителей информации, изменяющееся в процессе модернизации отдельных устройств.

В информационных параметрах необходимо стандартизовать способы обмена информацией, способ кодирования, способ передачи сигналов и т.п.

2. Практически все звенья комплекса получают питание от внешних источников, и это значит, что все они должны удовлетворять тем параметрам электропитания, которые этими источниками обеспечиваются. Здесь, конечно, процесс взаимный и идет в направлении ужесточения требований, как к источникам электропитания, так и к потребителям электроэнергии.

В параметрах электропитания необходимо стандартизовать перечень используемых номиналов питания, допустимые отклонения величин напряжений и частот от номинальных значений, допустимые величины перерывов питания и параметры переходных процессов при восстановлении питания и т.п.

3. Конструктивные параметры всех звеньев должны обеспечивать возможность их взаимозаменяемости, без какой бы то ни было переработки установочных и крепежных устройств. Это в первую очередь касается всевозможных электронных блоков, которые, как правило, устанавливаются на стеллажах или этажерках.

В те же 50-е и 60-е годы никакой унификации размеров блоков не было, что приводило к серьезным трудностям установки их на самолеты, но затем были введены ограничительные перечни размеров на электронные платы – 250, 319, 420 и 497 мм в длину и 88 и 194 мм в

ширину (в высоту блоков). Это также было неудобно, поскольку практически препятствовало установке блоков на общий стеллаж. Но затем были установлены один размер платы по длине – 319 мм и один по ширине – 194 мм (в блоках этот размер определяет их высоту), что сразу же решило проблему.

В конструктивных параметрах необходимо стандартизовать все габаритные параметры, посадочные места и места креплений и соединений, например, типы и расположение разъемов. При этом необходимо обеспечить максимальную плотность установки изделий, обеспечив в то же время доступ к каждому из них и возможность их замены без снятия других изделий и блоков. Для электронных блоков это достигается тем, что всем блокам устанавливаются один продольный и один вертикальный размеры при нескольких значениях поперечных размеров, это позволяет группу блоков устанавливать на общем стеллаже или этажерке.

4. Все звенья системы находятся под воздействием внешней среды. В параметрах внешних воздействий стандартизуются виды воздействий (механические, климатические, электромагнитные и т.п.) типы воздействий в каждом виде, а также параметры каждого из воздействий.

Соблюдение стабильности каждого из этих интерфейсов на протяжении нескольких поколений автоматически обеспечит взаимозаменяемость аппаратуры и преемственность поколений.

В процессе развития техники в пределах даже одного критерия целесообразно намечать этапы. ***При этом необходимо выбирать для каждого этапа такое решение, чтобы оно не просто продвигало к конечной цели всего процесса развития, но чтобы оно приносило пользу уже в процессе освоения каждого этапа.***

Принципиально каждый этап связывается с качественным изменением используемых средств – материалов, элементной базы, технологий. Особенно наглядно это проявилось в развитии электронной базы, которая сама претерпела ряд качественных изменений, связанных, разумеется, с достижениями в области естествознания, в первую очередь, в физике твердого тела.

Стоит напомнить, что в качестве первой элементной базы радиотехнических устройств использовались слюдяные и воздушные конденсаторы, проволочные катушки индуктивности, когерреры, представляющие собой настраиваемые искровые промежутки, и

кристаллические детекторы, на поверхности которых острием-щупом нужно было находить чувствительную точку.

Следующей элементной базой явились радиолампы так называемой стеклянной серии, которая просуществовала до начала сороковых годов. При этом конденсаторы и катушки индуктивности стали уменьшаться в размерах.

Радиолампы претерпели серию изменений в направлении повышения качества и уменьшения габаритов: после стеклянной серии появились так называемые пальчиковые лампы, затем лампы-дробин. Параллельно появились ферриты, позволившие существенно сократить размер катушек индуктивности и повысить их добротность, а также электролитические конденсаторы.

Разработки в области керамической технологии позволили существенно сократить объем высокочастотных конденсаторов, а разработки в области твердого тела привели к появлению полупроводников – электронных приборов, способных заменить радиолампы.

Дальнейшие разработки в области твердого тела последовательно позволили резко сократить объем аппаратуры, что было крайне необходимо для наращивания мощности цифровых вычислительных машин, прогресс в которых особенно ярко проявился во второй половине XX столетия. Полупроводниковая технология последовательно прошла этапы создания микросборок, БИС (больших интегральных схем), ГИС («гигантских» интегральных схем). Это позволило создать малогабаритные электронные устройства почти во всей гамме их применения. При этом быстрее всего развивались цифровые устройства со скоростью порядка за 10 лет в 40 раз (аналоговая электронная техника развивалась со скоростью за 10 лет в 4 - 5 раз).

Соответственно изменялись и возможности создания измерительно-управляющей техники, которая все более становилась цифровой. Фактически, переход от одной элементной базы к другой, более совершенной, и определял этапы развития комплексов оборудования.

Однако следует отметить, что в процессе совершенствования сложных систем и комплексов реально не удается заменить одновременно все агрегаты и устройства в соответствии с новыми возможностями. Это связано, в первую очередь, с тем, что сами объекты, для которых предназначены измерительно-управляющие

комплексы, развиваются гораздо медленнее, чем элементная база для этих комплексов. Реально новая элементная база для аппаратуры способна кардинально изменяться в среднем 1 раз в 10 лет, в то время как объекты, для которых они предназначены, служат десятки лет, например, самолеты 15-20 лет и даже более.

Таким образом, возникает необходимость:

- возможности частичной взаимозаменяемости аппаратуры в связи с выходом некоторых систем из строя без наращивания функций;
- частичной замены аппаратуры, работающей в составе комплексов в связи с моральным старением и недостаточностью выполнения существующей аппаратурой новых желательных функций и повышения качества их исполнения (точности, надежности, контролеспособности и пр.).

В первом случае нужно обеспечить замену блоков без их подрегулирования, что в аналоговой технике сделать всегда труднее, чем в цифровой. В обоих случаях нужно обеспечить соответствие физических и информационных характеристик связей заменяемых блоков, систем и устройств. Отсюда особую роль приобретает стандартизация физического, энергетического, информационного, конструктивного интерфейсов, а также соответствие работоспособности всех систем внешним механическим, климатическим, электромагнитным и всякого рода специальным воздействиям со стороны внешней среды, что тоже является своего рода внешним интерфейсом.

При определении направления развития следует выделить инвариантные параметры, т. е. такие параметры, которые реально не меняются или не должны меняться при переходе от этапа к этапу. Это позволит в перспективе расширять возможности уже созданных изделий без их кардинального изменения, в чем и заключается **принцип изомофизма базовых основ**, т.е. их неизменности, инвариантности.

Прежде всего, в пределах определенного критерия развития на протяжении нескольких этапов не изменяется сам критерий развития. Изменение элементной базы, например, и связанные с этим этапы развития аппаратуры не меняют общего критерия развития – сокращения массы при сохранении объема функций.

Как правило, не меняются и параметры относительного изменения критерия. Например, на протяжении более 40 лет на всех предприятиях сохранялась одна и та же тенденция относительного сокращения массы

в изделия одного и того же функционального назначения. Проведенный статистический анализ показал, что за 10 лет масса сокращалась:

- в проводах – на 30-40%;
- в электромеханике – на 40-50%;
- в аналоговой электронике – в 4 - 5 раз;
- в цифровой электронике – в 40 раз,

и так далее.

Таким образом, сокращение массы во времени совершалось по экспоненциальному закону с несущественными отклонениями от этого закона.

Поскольку каждое техническое решение опирается на определенную элементную базу, это позволили в некоторых случаях точно определить направление развития по выбранному критерию на несколько поколений вперед. Применительно к системе проводных связей это было сделано в 1973 г. и в дальнейшем полностью реализовано. Однако для того чтобы уже созданная и используемая аппаратура могла развиваться без существенных переделок, целесообразно учитывать возможность развития еще на стадии проектирования, закладывая в нее не используемые на первых порах избыточные возможности. Как правило, это сделать не сложно, но всегда возникает вопрос о целесообразности такого решения, поскольку некоторых дополнительных усилий все же это требует.

Тем не менее, опыт показывает полезность такого подхода, его относительную дешевизну и высокую экономическую эффективность в дальнейшем.

В качестве примера можно привести определение разрядности в словах последовательного кода, используемого для трансляции информации между информационными системами в пилотажно-навигационных комплексах.

Структура слова была принята 32-разрядной, из которых 8 разрядов составлял адрес-идентификатор пилотажного или навигационного параметра, еще 2 разряда не использовались, но отводились под возможное расширение числа адресов, если состав параметров в перспективе расширится, число значащих разрядов составляло 21, хотя для подавляющего большинства параметров было достаточно 10 – 12. Масштаб для физически однородных параметров устанавливался постоянным. В реальных словах использовались только старшие разряды, младшие оставались неиспользованными. Однако по мере

повышение точности измерения параметров все большее число младших разрядов привлекалось к размещению в них информации. Это дало возможность не изменять формат слов на протяжении почти тридцати лет, хотя за это время сменилось четыре поколения бортовой аппаратуры. Аналогичное положение возникло и с числом разрядов самих цифровых вычислителей, хотя реально здесь были допущены чрезмерно большие излишества.

6.2.3. Стандартизация как основа развития техники

В обеспечении высокого качества продукции особое место принадлежит стандартизации. Комплексная стандартизация сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и готовой продукции – эффективное средство планомерного повышения качества продукции. Подтверждение соответствия продукции требованиям стандартизации есть сертификация продукции. Сертификации подлежит не только сама продукция, но и производство, изготавливающее продукцию. Стандартизация устанавливает оптимальные показатели качества, параметрические ряды продукции, методы контроля и испытаний, режимы технического обслуживания, методы ремонта и т.п.

Управление качеством продукции есть установление, обеспечение и поддержание его необходимого уровня, осуществляемое путем систематического контроля, т.е. проверки соответствующих показателей качества установленным требованиям и целенаправленного воздействия на условия и факторы, от которых зависит качество продукции. Весьма эффективным средством повышения качества продукции является поэтапное ужесточение требований к качеству продукции, которое устанавливается в нормативной документации сначала в виде необязательных, но желательных нормативов, а затем, через определенное время при пересмотре нормативов в качестве обязательных.

Необходимость стандартизации техники вытекает не только из необходимости обеспечения высокого качества продукции, но и из требований взаимозаменяемости отдельных систем и устройств сложной техники, а также из необходимости специализации

производств, для которых выпускать узкую номенклатуру изделий всегда проще и выгоднее, нежели выпускать продукцию широкой номенклатуры. В области стандартизации многое сделано, и то, что сделано, безусловно, сыграло большую роль в развитии промышленности. Тем не менее, следует отметить, что научная проработка проблем стандартизации явно недостаточна.

Не придание должного значения стандартизации привело к тому, что в промышленности стандартизация отдана на откуп людям, мало в ней смыслящим и относящимся к ней как к чему-то второстепенному и даже не нужному. Нормативные документы одного уровня могут носить в различных ведомствах и даже в одном ведомстве самые разнообразные названия, например, РТМ – Руководящий технический материал или Нормаль, или Методические указания, хотя на самом деле в большинстве случаев это одно и то же. Статус ГОСТа (Государственного стандарта) и ОСТа (отраслевого стандарта) присваивается не по техническим или уровневым признакам, а по ведомственной принадлежности: на барометрический высотомер, разрабатываемый в Минавиапроме, был разработан ОСТ, а на радиовысотомер, т.е. на изделие того же уровня, но разрабатываемый в Минрадиопроме, был выпущен ГОСТ.

Обилие стандартов и непродуманность общей идеологии стандартизации приводят к тому, что, несмотря на грозные надписи о том, что «несоблюдение стандарта преследуется по закону», на самом деле никакого реального наказания за несоблюдение стандартов нет, поскольку у потребителей продукции практически нет никаких возможностей проверить соответствие продукта соответствующему стандарту.

Между тем, стандарт – это узаконенный оптимум, это техническая политика, направленная на прогрессивное развитие техники, технологий и всего, что с их помощью производится, и поэтому стандартизация есть важнейшее государственное дело, которому должно быть придано соответствующее государственное значение.

Порядок в стандартизации должен в первую очередь наводиться в вопросах назначений и статусов нормативных документов. К государственной стандартизации должны относиться те нормативы, которые справедливы для нескольких отраслей промышленности. Такими стандартами могут являться стандарты на резьбы, на внешние

воздействия, на электрические и информационные связи, а также ряд других.

Те нормативные документы, которые относятся к определенной отрасли-потребителю продукции, должны приобрести статус ОСТов – отраслевых стандартов, независимо от того, кто на эту отрасль работает. Здесь правила должен диктовать потребитель, а не изготовитель, поскольку именно у потребителя они попадают в специфические для этого потребителя условия.

Документы с рекомендациями, которые не являются обязательными, но которые, тем не менее, полезно соблюдать, должны стать предметом РТМ – Руководящих технических материалов.

Наконец, конкретные характеристики конкретных изделий должны стать предметом ТУ – Технических условий.

При этом должна быть искоренена порочная практика погони за количеством стандартов, которая, к сожалению, имеет место.

Нормативная документация должна четко делиться на нормативы по разработке аппаратной части и отдельно на нормативы исполняемых аппаратной части функций, для которых аппаратная часть и предназначена. Особое значение нужно принять всему так называемому математическому обеспечению, в котором главное внимание должно быть уделено не столько алгоритмам, сколько формульным и логическим зависимостям, которые должны опираться на соответствующее физическое и модельное обоснование. При этом необходимо нормировать не только статические формульные выражения, но и допустимые погрешности – статические и динамические, допустимые запаздывания и некоторые другие информационные характеристики. Кроме того, должен быть налажен не только контроль за соблюдением этих норм, но и за всеми алгоритмическими цепями и информационными затратами (потребное быстроедействие, объем долговременной и оперативной памяти и т.п.).

В нормативной документации должны указываться те параметры, которые являются обязательными для любого исполнения, а также те параметры, выполнение которых не обязательно в настоящий момент, но станет обязательным в ближайшем будущем (отмечаются звездочкой). Это даст разработчикам ориентацию на перспективу.

В качестве примера целесообразности таких мероприятий можно привести эволюцию сигналов проводных связей в бортовых авиационных пилотажно-навигационных комплексах.

Против применения последовательного кода в межсистемных связях, выдвигались аргументы, связанные с тем, что этот код обладает меньшей информационной емкостью по сравнению, например, с параллельным кодом. Расчет информации в том же пилотажно-навигационном комплексе показал, что если всю пилотажно-навигационную информацию пропустить через единственную бифилярную линию связи, то информационный коэффициент использования этой линии составит порядка сотых долей процента. Поэтому нет смысла увеличивать пропускную способность линий связи за счет увеличения числа проводов и тем самым увеличивать вес, стоимость и снижать надежность. Из сопоставления реальных требований к пропускной способности линий связи и их реальными возможностями родилось главное направление развития всей системы связей на борту самолета – поэтапное сокращение числа проводов и последовательная обработка сигналов в цифровых вычислителях.

В нормативных документах по функциональным связям все параметры сигналов были разделены на обязательные и не рекомендуемые, но допустимые, куда были отнесены действующие на тот момент в промышленности параметры сигналов. Тем самым промышленность получила информацию о будущей технической политике в области бортовых связей. В течение нескольких лет все предприятия стали использовать только обязательные параметры, число разновидностей сигналов было сокращено до необходимого минимума.

Есть основания полагать, что аналогичные соотношения существуют практически во всех управляющих информационно-измерительных комплексах.

Нет сомнения в том, что подобные мероприятия могут оказаться полезными в самых различных областях техники.

6.2.4. Системно-исторический метод выбора вариантов развития

Исследование изменения характеристик отдельных технических устройств показало, что эти изменения в большинстве своем происходят по экспоненциальному закону или закону геометрической прогрессии, что, в принципе, одно и то же. При этом каждое устройство имеет свою постоянную времени по каждому параметру, разные для физически

разных устройств. Это обусловлено тем, что каждое устройство имеет свою технологию, отличающуюся от технологии других устройств, для получения новых результатов в каждой технологии нужны разные затраты времени. Но анализ показывает, что постоянная времени для каждого физически однородной системы элементов, входящих составными частями в устройство, достаточно стабильна на протяжении десятков лет, и это создает предпосылки, как для моделирования процесса развития, так и для прогноза развития и выбора наиболее оптимальных решений. Описанная ниже методология апробирована на выборе решений для различных этапов развития систем информационных проводных связей для авиационного бортового оборудования, где она показала весьма высокую эффективность.

Стабильность постоянной времени изменения характеристик для физически однородных элементов позволяет использовать математическую модель в виде экспоненты с отрицательным показателем. Так изменение массы элемента может быть описано в виде

$$m = m_0 e^{-\frac{t - t_0}{T}}$$

где m_0 — величина массы элемента в момент времени t_0 , T — постоянная времени изменения массы элемента.

В координатах t по оси абсцисс и $\lg m$ по оси ординат это будет прямая линия, т.к.

$$\lg m = \lg m_0 - \frac{t - t_0}{T} \lg e.$$

Для облегчения построений эта зависимость может быть трансформирована в геометрическую прогрессию изменения параметра, в данном случае массы за 10 лет в k раз.

Это значит, что численная величина каждого параметра за одинаковый промежуток времени изменяется на одну и ту же относительную величину, это и есть геометрическая прогрессия. Поэтому методика может быть несколько упрощена: нужно знать на какое относительное значение параметр в среднем изменился за каждые

десять лет за предыдущие годы, а далее в системе координат линейной по оси абсцисс и логарифмической по оси ординат проведена прямая линия на будущие несколько десятилетий. Это и будет относительно достоверная линия развития данного элемента.

Если в какой-либо системе используется не один, а n элементов, то прямая их развития поднимется на величину, равную $\lg n$, полученная новая прямая линия покажет, как будут развиваться эти n элементов.

Нанеся на общий график линии развития всех элементов, используемых в данном техническом решении системы, получим прогноз развития этого технического решения данной системы на несколько лет вперед (рис. 6.3).

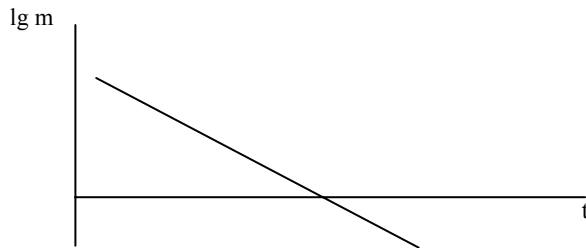


Рис. 6.3. Построение прогностической линии развития для одного технического решения для системы, содержащей несколько физически разнородных элементов

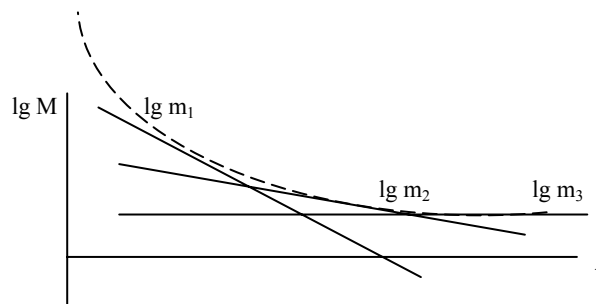


Рис. 6.4. Построение прогностических линий развития для нескольких технических решений применительно к одной и той же системе

Нанеся на общий график все возможные технические решения для данной системы, можно видеть, какие из вариантов имеют какую перспективу развития, когда нужно от одного технического решения переходить к следующему, когда для этого следующего нужно начинать готовить элементную базу, а какими техническими решениями заниматься вообще не нужно (рис. 6.4).

Проведенные ранее исследования показали, что физически разнородные элементы имеют разную тенденцию изменения массы и интенсивности потока отказов (часов наработки на отказ). Так для бортовых авиационных проводов эта тенденция (скорость изменения) составила по массе 15% за 10 лет, по интенсивности потока отказов 15-20% за 10 лет; для электромеханики (сельсины, СКТ, приборные электродвигатели и т.п.) и масса, и интенсивность потока отказов сокращаются, примерно, на 30-40% за 10 лет, аналоговая электроника по обеим характеристикам – в 5-8 раз за 10 лет, а чисто цифровая электроника (память, регистры и т. п.) в 30-40 раз за те же 10 лет, как по массе, так и по потокам отказов.

В свое время, когда еще целесообразность цифровых решений передачи и обработки информации была далеко не очевидной, подобный прогноз развития элементов позволил правильно выбрать цифровое решение, что в дальнейшем себя полностью оправдало.

6. 3. Стратегии развития

6. 3.1. Стратегия внедрения новаций

Новациями являются новые технические решения, применение которых на практике предполагает получение большого эффекта, например, экономического. Деятельность по внедрению новаций есть инновационная деятельность, а люди, занимающиеся инновационной деятельностью, являются инновационными менеджерами.

В основе инновационной деятельности лежит представление о том, что существует некоторый рынок новаций – новых изобретений или

технологий, которые могли бы дать при их внедрении и массовом использовании большой экономический эффект, поэтому задача инновационного менеджера заключается в том, чтобы среди всех многочисленных новых изобретений, технологий и методологий выбрать такие, которые с учетом специфики производства, от имени которого выступает менеджер, дадут ожидаемый экономический эффект в возможно более короткие сроки.

К сожалению, на самом деле все не так.

Во-первых, никакого рынка новаций не существует, его надо создавать, ему надо создавать условия, не имея гарантий, что новации реально являются таковыми, что они работоспособны и что их внедрение в промышленность даст ожидаемый результат.

Во-вторых, от появления идей до получения экономического эффекта нужно пройти следующие стадии:

- создание макета, прошедшего предварительные испытания и подтвердившего работоспособность исходной идеи;
- создание экспериментального образца, прошедшего лабораторные испытания и подтвердившего необходимые функциональные характеристики;
- создание опытного образца, также прошедшего заводские испытания и подтвердившего эксплуатационные характеристики;
- создание малой серии, подтвердившей все перечисленные характеристики в опытной эксплуатации;
- освоение большой серии и ее реализация;

и только после этого получение ожидаемого экономического эффекта.

Каждый такой этап требует от 2-х до 3-х лет практически для любого так называемого наукоемкого изделия. Не наукоемкие изделия интереса для промышленности практически не представляют. Таким образом, фактически для получения экономического эффекта от внедрения любого изделия нужен срок от 10 до 15 лет, и весь этот срок будет полностью затратным. Это могут позволить себе только долго и стабильно живущие крупные предприятия или группа предприятий, организованные в систему, которые способны все это время компенсировать непроизводительные затраты доходами от других серийно выпускаемых изделий. Малым и средним предприятиям это не по силам, и вся рыночная экономика к таким затратам приспособлена плохо.

Наконец, в-третьих, необходима уверенность, что за время, затраченное на создание изделия, оно не устареет морально и на него по-прежнему будет спрос.

Однако во всех случаях целесообразно рассмотреть некоторые варианты стратегий внедрения, позволяющие сократить сроки внедрения и приблизить желаемый результат.

6.3.2. Стратегия обгона опередившего соперника

В соревновании между странами за рынок или в конкурентной борьбе производителей перед отставшим соперником стоит задача вырваться вперед и, по возможности опередить опередившего конкурента. Для того чтобы выполнить эту задачу существует несколько стратегий.

Стратегия погони. В большинстве случаев отставший начинает копировать серийные образцы опередившего соперника, обрекая себя тем самым на так называемую кривую погони.

Суть процесса легко уяснить из аналогии перехвата движущейся цели истребителем-перехватчиком (**рис. 6.5**).

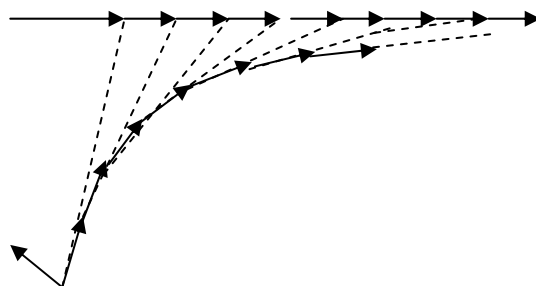


Рис. 6.5. Стратегия погони истребителя-перехватчика за целью

Находясь на некотором расстоянии от перемещающейся цели, летчик истребителя в какой-то момент времени обнаруживает цель и разворачивает свой самолет по направлению к цели. Пока он движется в эту точку, цель успевает пройти определенный отрезок пути. Летчик истребителя корректирует свое направление, все время направляя свой самолет на цель. Но как бы быстро он ни двигался, он всегда окажется сзади цели, в этом и заключается сущность стратегии погони.

Если, благодаря превышению скорости, истребитель все же догонит цель, то далее он вынужден будет затормозиться или вообще вернуться в позицию сзади цели, потому что вся его стратегия определяется не им, а целью.

Применительно к производству это означает, что повторение серийных образцов изделий неизбежно ставит однажды отставшего в положение, когда он будет отставать всегда, потому что пока он осваивает очередной серийный образец соперника и готовит его к серии, соперник успевает запустить в серию новое изделие, которое отставший снова будет повторять с опозданием.

Стратегия параллельного сближения. Положение можно исправить, если отставший будет руководствоваться не стратегией погони, а стратегией параллельного сближения. В этом случае истребитель идет не на цель, а в некоторую точку, находящуюся впереди цели. Эта точка определяется тем, что истребитель строит свою траекторию так, чтобы линия направления от истребителя на цель перемещалась в пространстве параллельно самой себе (рис. 6.6).

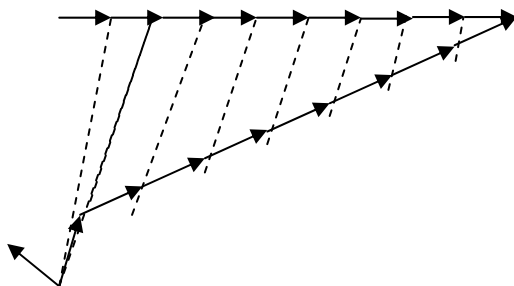


Рис. 6.6. Стратегия параллельного сближения

Это означает, что перехватчик в своем движении учитывает не только положение цели в текущий момент, но и тенденцию его движения. В этом случае перехватчик выходит не в хвост цели, а в точку встречи. Однако и в этом случае дальнейшее движение перехватчика бессмысленно, т. к. движение перехватчика определяется движением цели и, потеряв из виду цель, перехватчик начинает метаться, не зная, что делать дальше.

Применительно к производству это означает, что наряду с повторением серийных образцов изделий отставший должен отслеживать замыслы соперника и параллельно с соперником разрабатывать опытные образцы будущих изделий. Обычно это называется работой по патентам. Если он это делает, то у него появляется шанс выйти в серийное производство новых изделий одновременно с соперником. Но и здесь шансов обогнать соперника у него нет, потому что он все время будет дожидаться, пока соперник подарит ему новую идею, своих идей у него нет.

Стратегия обгона. Для того чтобы обогнать цель, истребитель должен стремиться в упреждающую точку, находящуюся впереди точки встречи. В этом случае линия, соединяющая истребитель и цель, перемещается не так, как в первом случае, когда цель уходит вперед, и не так, как во втором случае, когда эта линия перемещается параллельно, а так, чтобы уходил вперед истребитель. Для этого линия должна поворачиваться на дополнительный угол, величина которого не вытекает из поведения цели (рис. 6.7).

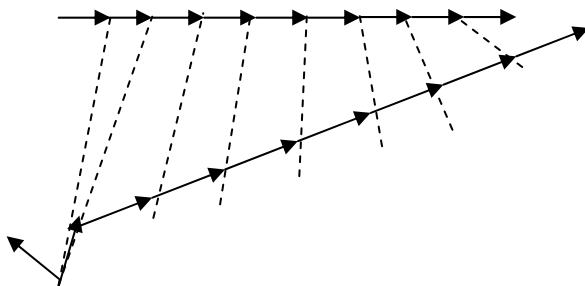


Рис. 6.7. Стратегия обгона опередившего соперника

Применительно к производству это означает необходимость не только учитывать серийные и опытные образцы изделий и патенты соперника, но и самому создавать заделы новых изделий. Это единственный способ реально обогнать соперника.

Однако эти стратегии предполагают, что отставший не совершает неверных движений, т.е. не тратит свои силы на создание неверных и неперспективных образцов техники. Если же он не отсеивает неверные и не перспективные решения, то, даже следуя третьей стратегии, он работает не эффективно, теряет скорость и снова оказывается отставшим. Поэтому нужна еще правильная методология выбора технических решений при разработке изделий.

6.3.3. Стратегия наращивания результата

Всякое развитие любого объекта должно иметь цель и критерий оценки состояния объекта относительно этой цели. Стратегия продвижения к цели может быть проиллюстрирована аналогией с попытками продвижения железнодорожной платформы с грузом.

Как известно, длина пройденного пути S (полученный от усилий эффект) определяется выражением

$$S = \frac{at^2}{2},$$

где a – ускорение тела, t – время воздействия силы на тело.

Ускорение a тела определится как отношение силы F_a , создающей ускорение, к массе тела m :

$$a = F_a/m.$$

В свою очередь, сила, приложенная к массе равна разности двух сил – силы, приложенной к телу, и силы трения покоя $F_{тр.п.}$, если тело покоится, и силы трения движения $F_{тр.д.}$, если тело движется, причем всегда

$$F_{тр.п.} > F_{тр.д.}$$

Таким образом, общее выражение для пройденного пути, приобретет вид:

$$S = \frac{(F - F_{\text{тр}}) t^2}{2 m},$$

где $F_{\text{тр}} = F_{\text{тр.п}}$, если тело покоится, и $F_{\text{тр}} = F_{\text{тр.д}}$, если тело движется.

На основании приведенной формулы может быть изложена стратегия наращивания результата в любом развитии и во внедрении любой теории в практику.

1. Перед началом любого действия должна быть четко осознана и сформулирована цель движения с тем, чтобы она затем не менялась в процессе движения, иначе никакого наращивания результата вообще не будет;

2. Давить на тело нужно сильно, если для этого есть энергетические ресурсы. Однако, если ресурсы ограничены, то силы надо рассчитывать уже по-иному. Поскольку работа силы за пройденный путь равна произведению силы на пройденный путь:

$$A = FS,$$

то если энергетический ресурс, то есть возможная работа ограничена и $A = \text{const}$, то пройденный путь будет тем больше чем **меньше** прилагаемое к массе усилие, поскольку

$$S = A/F_a,$$

3. Начав движение, его нельзя прекращать, поскольку прекращение движения приведет к увеличению трения покоя и усилий на новое начало движения придется затратить больше, чем на его поддержание;

4. Движение нужно продолжать долго, поскольку получаемый эффект (пройденный путь) пропорционален квадрату времени.

Изложенная стратегия, разумеется, оказывается действенной тогда, когда проделана вся предварительная работа по прокладке пути, т.е. тогда, когда условия для движения подготовлены заранее.

6.3.4. Стратегия геометрической прогрессии

Стратегия геометрической прогрессии предполагает наращивание результата путем использования уже накопленного ресурса, здесь действует закон пропорциональности приращения за единицу времени от уже достигнутого результата, т. е.

$$\partial S / \partial t = kS,$$

здесь k – коэффициент пропорциональности.

Решением этого уравнения будет экспоненциальная зависимость с положительным показателем:

$$S = S_0 e^{k(t - t_0)}$$

где S_0 – начальное значение пути в момент времени t_0 .

Таким образом, приращение пути будет тем больше, чем больше уже пройденный путь. В этом и заключается сущность «развития от достигнутого».

Следует заметить, что такая стратегия в экономике эффективна лишь на начальном этапе развития, поскольку разные отрасли экономики имеют различную постоянную времени развития $T = 1/k$, если развитие по этому закону продолжается долго, то оно ведет к структурным перекосам в экономике в целом. Однако в некоторых случаях такое развитие полезно, например, при внедрении теории в практику, когда к внедрению привлекаются те люди, которые уже освоили теорию. Тогда начинает действовать аналогия расчетов вознаграждения изобретателю шахматной доски, в соответствии с которой за первую клетку изобретатель должен был получить одно зернышко риса, за вторую – два, за третью – четыре и т.д., удваивая число зернышек за каждую последующую клетку. Общее число зернышек за всю доску составляет при этом

$N = 2^{64} - 1 = 10^{20}$ зернышек = 10^{18} грамм = 10^{15} кг = 10^{12} тонн = 1 тысячу миллиардов тонн зерна.

Аналогично, если в течение одного месяца количество последователей новой теории будет удваиваться, то, начиная с одного человека, через год число приверженцев новой теории составит 4095 человек. Через два года это составило бы более 16 миллионов, через три года – 65 миллиардов, если бы на Земле имелось такое количество народа, и если бы изложенная закономерность сохранялась, чего, конечно, на самом деле нет.

Так или иначе, эта стратегия требует, чтобы:

1) теория была общественно значимой и затрагивала коренные интересы людей;

2) к пропаганде и внедрению теории подключались все те, кто убедился в ее правильности.

Автор в свое время опробовал эту стратегию на внедрении децентрализованной обработки информации в бортовом оборудовании, на стандартизации габаритов блоков и на системах проводных информационных связей. Стратегия оказалась эффективной, все предложения были внедрены.

6.4. Проблемы развития

6.4.1. Проблема физического и морального износа.

Всякая техника подвержена физическому и моральному износу. Физический износ заключается в невозможности продолжения устройством выполнения своих функциональных задач с требуемым качеством, которое было оговорено в начале его разработки. Моральный износ заключается в несоответствии характеристик устройства возросшим за время его создания или эксплуатации новым требованиям.

Для предотвращения физического износа техники применяется ряд мер, которые определяются особенностями ее конкретного физического устройства.

Так, для предотвращения износа трущихся частей используют смазки, которые нужно периодически заменять, или материалы с пониженным коэффициентом трения, например, фторопластовые покрытия. Однако во всех случаях речь идет лишь о продлении срока

эксплуатации изделия. Все материалы накапливают усталость, покрываются окисной пленкой, и все изделия рано или поздно выходят из строя, поэтому целесообразно стремиться лишь к тому, чтобы, по возможности, срок действия изделия был достаточно велик и чтобы за время эксплуатации изделия затраты на эксплуатацию были бы минимальны.

В связи с последним обстоятельством особое значение приобретает проблема контроля за работоспособностью изделия и за прогнозированием его возможного выхода из строя.

Контроль за работоспособностью техники проводится ли путем обследования ее состояния, либо по результатам ее деятельности, когда эти результаты становятся все менее удовлетворительными. Последнее связано с определенными потерями, поэтому всегда целесообразно стремиться в предотвращению плохой работы техники. Перспективными здесь являются методы встроенного контроля, которые в настоящее время интенсивно развиваются в связи с появившимися возможностями широкого использования микроминиатюрной электроники.

Здесь имеются следующие возможности:

- оценивать состояние техники по результатам ее функционирования во время эксплуатации, что связано с определенными потерями;
- оценивать состояние техники по сопоставлению параметров режимов ее работы с требуемыми значениями этих параметров;
- оценивать накопление негативных факторов, которые могут повлиять в будущем на работоспособность техники, это возможно в том случае, если такие параметры имеются, например, накопление металлической стружки в масле в двигателе или накопление микротрещин в элементах конструкции.

Для некоторых видов техники существует возможность оценки работоспособности по результатам решения эталонной задачи с известным ответом. Для бортовой авиационной техники такой метод используется достаточно широко: эталонная задача решается в процесс нормального функционирования комплекса и несовпадение результата решения с известным ответом и воспринимается как отказ техники.

При этом выходным результатом контроля является выдача сообщения о возможности продолжения эксплуатации техники или предупреждение о возможном сроке продолжения эксплуатации.

Моральный износ связан с объективными и субъективными факторами.

Объективные факторы заключаются в том, что созданная техника не полностью удовлетворяет желательным требованиям по каким-либо характеристикам – надежности работы, точности, удобствам эксплуатации, производительности и т.п., хотя и обеспечивает необходимое функционирование. Замена ее на более совершенную в этом смысле становится желательной. Здесь особое значение приобретает возможность частичной модернизации изделий в той части, которая уже не удовлетворяет новым задачам при сохранении той части, которая этим задачам еще удовлетворяет. В качестве примера можно привести модернизацию самолета Су-27.

Самолет Су-27 был создан фирмой Сухого фактически еще в 70-е годы и показал как летательный аппарат блестящие характеристики. Однако существовавшее в то время бортовое электронное оборудование отставало от зарубежного и далеко не полностью удовлетворяло требованиям выполнения боевых задач. Поэтому при ближайшей возможности уже в 80-е годы была проведена модернизация и частичная замена оборудования, а не создание полностью нового самолета, что обошлось бы значительно дороже. Поскольку по своим летным качествам самолет по-прежнему превосходит соответствующие зарубежные аналоги, его развитие и совершенствование происходит за счет модернизации бортового оборудования. Это, безусловно, правильно, поскольку такая модернизация обходится в сотни раз дешевле создания нового самолета, тем более, что, в принципе, для настоящего времени такой необходимости нет.

Субъективные же факторы не связаны с объективной необходимостью, а диктуются модой, вкусовщиной, субъективными наклонностями и т. п. и удовлетворение их часто приводит к ухудшению реально необходимых параметров и неоправданным затратам. Поэтому целесообразность следования замены изделий по моральным соображениям всегда требует тщательного анализа целесообразности такой замены.

6.4.2. Экологические проблемы наращивания производства и проблема утилизации отходов

Всякое развитие связано с определенными издержками как на само развитие, так и на разнообразные попутные факторы, сопровождающие развитие. Одной из серьезных проблем, сопровождающих развитие промышленного производства является проблема экологическая – загрязнение окружающей среды отходами производства и истощение некоторых природных ресурсов.

В настоящее время проблема утилизации отходов производства решена лишь частично, ни в коей мере не соответствуя важности проблемы. Отходы горного производства считаются пустой породой и выбрасываются в отвалы, хотя на самом деле в ней содержатся многие химические элементы, которые необходимы народному хозяйству. То же касается отходов металлургических производств, которые представляют собой ценное сырье для строительной индустрии. То же касается отходов химического производства, которые просто выливаются на землю. То же касается и бытовых отходов, которые вывозятся ежедневно на специально отведенные места, именуемые свалками, и которые заполняют пространство вокруг городов и поселков, уничтожая полезные площади и загрязняя воздух и воду. Во время перевозка нефти танкерами происходят достаточно частые аварии, приводящие к гибели морской фауны и флоры и к загрязнению берегов океанов. Отходы атомной энергетики просто закапываются или затопляются. И так далее, и тому подобное.

Между тем, уже разработаны многочисленные технологии, позволяющие решить экологическую и сырьевую проблему уже сегодня. Но их внедрению препятствует технологический консерватизм – нежелание внедрения новых технологий, поскольку их разработка и внедрение связана с перестройкой производств, а значит – с новыми затратами, которые могут оправдать себя только в будущем и не всегда близким.

Правительства ряда стран все более обеспокоены складывающейся неблагоприятной экологической обстановкой в своих странах и вынуждено принимают законы, заставляющие владельцев предприятий принимать необходимые меры по снижению экологической напряженности. Но эти меры в большинстве своем саботируются.

Здесь вновь возникает проблема цели производства: капиталистическое производство, нацеленное на быстрое получение прибыли, будет стремиться к внедрению новых технологий только в том случае, если это обеспечит ему эту прибыль в достаточно сжатые сроки,

и будет всячески тормозить не только их внедрение, но и развитие существующих технологий, если это не обещает быстрого получения прибыли. На такое развитие способно только плановое социалистическое хозяйство, обеспокоенное судьбой не только существующего в данный момент, но и будущих поколений.

6.4.3. Проблема ограничения потребления

Как уже упоминалось, всякое развитие имеет ограничение. Это же относится не только к производству, но и к потреблению, для которого, собственно, и существует производство. Именно удовлетворение нужд населения является целью производства, и если производство удовлетворило эту цель, то дальнейшее его развитие должно направляться не на увеличение производительности, а на повышение качества продукции и на снижение неблагоприятных факторов, сопровождающих производство.

В настоящее время капиталистическое производство следует противоположным путем. Поскольку прибыль дает реализация (продажа) произведенного товара, то потребление, а не удовлетворение потребностей становится главной целью производства. Потребление становится самоцелью и всячески раздувается, все общество становится обществом потребления. При этом принимаются меры к сокращению долговечности продукции, к созданию все новых образцов товаров, необходимость которых более чем сомнительна, а главное, к неоправданному расходу сырья и энергии, это при том, что на всем земном шаре все более ощущается их недостаток.

Нехватка сырья и энергии, необходимость решения экологических проблем заставит, конечно, искать выход из сложившейся ситуации. Но империализм будет искать выход в принудительном сокращении населения Земли, в подчинении бедного большинства населения богатому меньшинству и в ограничении потребления этого бедного большинства при сохраняющемся высоком уровне жизни богатого меньшинства. Такое решение проблемы чревато непрерывными конфликтами уже планетарного масштаба.

Реальным выходом из ситуации является создание планового мирового хозяйства, при котором идеологизированный заказчик потребления будет определять заказ производству на продукцию для

реально необходимую для удовлетворения нужд всего населения земного шара. Это не только позволит рационализировать производство, но и решить все сопутствующие проблемы, как экологические, сырьевые и энергетические, так и социальные и демографические. Именно в этом и состоит задача развития производства, которое должно обслуживать все население Земли, а не его избранную часть, и не только живущее ныне, но и будущие поколения.

Выводы

1. Развитие есть необратимое, направленное, закономерное изменение материальных и идеальных объектов. Развитие может быть *стихийным и управляемым*. Управляемое развитие всегда имеет *цель* развития, которая определяет направление развития и *критерии* развития - *конкретные параметры, характеризующие каждый одно из многих качеств объекта или процесса и имеющие численное выражение*.

2. Всякое развитие должно иметь критерий. Однокритериальное развитие всегда исчерпаемо. Многокритериальное развитие не имеет предела, но требует своевременной смены критериев. Управляемое развитие требует не только формирования критериев развития и их численного выражения.

3. Развитие звеньев технических комплексов происходит неравномерно, поэтому для эффективного развития комплекса в целом необходимо обеспечить преемственность поколений систем, при которой замена устаревших систем новыми не приводит к каким-либо изменениям в сохраняющейся части комплекса. Преемственность поколений изделий может быть обеспечена, если на протяжении нескольких поколений изделий выполняется *принцип изоморфизма базовых основ*, при которых те параметры, от которых зависит возможность использования новых изделий взамен устаревших, сохраняются неизменными.

4. Развитие целесообразно осуществлять поэтапно. Эффективным инструментом развития является стандартизация при условии

регулярной замены устаревших стандартов на новые, в которых ранее допустимые, но не рекомендуемые к будущему использованию параметры исключаются, а требования к стандартизуемым параметрам ужесточаются. При этом обеспечивается принцип изоморфизма базовых основ – сохранение параметров, обеспечивающих взаимозаменяемость изделий предыдущего и последующего поколений.

5. В целях минимизации ошибок при задании требований на новое поколение техники целесообразно использовать системно-исторический метод, позволяющий прогнозировать развитие требований на основе анализа динамики развития предыдущих поколений.

6. Для обеспечения эффективного развития необходимо следовать определенным стратегиям, позволяющим избежать грубых ошибок и, тем самым, излишних потерь средств и времени. Такими стратегиями являются стратегия обгона опередившего соперника, требующая наряду с учетом достижений соперника создавать собственные заделы, стратегия наращивания результата и стратегия геометрической прогрессии.

7. При планировании развития необходимо учитывать возникающие при этом проблемы – проблему физического и морального износа, экологические и сырьевые проблемы, возникающие при наращивании производства, а также проблему ограничения потребления. Своевременный учет этих моментов при проектировании изделий позволит избежать излишних потерь средств на создание и времени на отработку систем и комплексов, а также на утилизацию отработавших изделий.

Заключение. Современные кризисы и общественное производство

В настоящее время на земном шаре обозначилась серия кризисов – сырьевой, энергетический, экологический, демографический, социальный.

Сырьевой кризис связан с исчерпанием сырьевых запасов, необходимых для производства предметов потребления при существующих технологиях.

Энергетический кризис связан с исчерпанием на земном шаре запасов энергоносителей, прежде всего, угля, нефти и газа, а также урановых руд, пригодных для получения атомной энергии.

Экологический кризис связан с недопустимо высоким уровнем загрязнения среды современным производством и транспортом.

Демографический кризис связан с неудержимым ростом народонаселения Земли, в настоящее время уже составляющим 7 миллиардов человек, причем рост населения продолжается.

Социальный кризис связан с противостоянием бедных слоев населения богатым во всех странах, а также бедных стран богатым развитым капиталистическим странам.

Некоторые буржуазные идеологи видят выход из положения в глобальном переустройстве мира. Разработана теория «Золотого миллиарда», в соответствии с которой лишь один миллиард на земном шаре имеет право на высокий уровень жизни, остальное население должно «регуливаться» численно и перемещаться туда, где есть спрос на рабочую силу. Это должно делаться в масштабе Земли под руководством единого мирового правительства. Эта идея глобализма наталкивается на противодействие движения антиглобалистов, требующих сохранения национальных экономик.

Существуют и иные предложения, связанные с переселением части населения Земли на другие планеты. Земля, полагал К.Э.Циолковский, является колыбелью человечества, но нельзя же вечно жить в колыбели!

Оба предложения ложны в своей основе.

Все перечисленные выше кризисы связаны с исчерпанием капиталистических производственных отношений, целью которых является получение максимальной прибыли. Именно эта цель, игнорирующая реальные интересы абсолютного большинства людей, и вызвала кризисы во всех важных для существования человечества областях.

Погоня за прибылью не позволяет внедрять новые технологии, которые смогут накормить всех и обеспечить всему человечеству достойное существование. Эта же погоня не позволяет применять замкнутые технологии и очистные сооружения, поскольку их строительство требует дополнительных расходов. Эти же причины

ведут к хищническим способам разработки полезных ископаемых, закрываются месторождения, в которых остаются запасы рудных ископаемых, но которые в условиях действующих цен оказываются нерентабельными.

Демографическая проблема связана с недостаточным питанием и культурным уровнем абсолютного большинства населения земного шара, а социальная напряженность является естественным протестом голодной и обобранной сытыми странами подавляющего большинства человечества.

А переселение части человечества на другие планеты не решит этих проблем, а просто перенесет их в другие места.

В чем же выход из создавшегося положения?

Выход единственный – переход в масштабах сначала стран, а затем и всей Земли к плановому нетоварному ведению хозяйства, т.е. к социализму, при котором все производство будет охвачено единым планированием, а далее – к коммунизму, при котором планированием будет охвачено и потребление.

Ни социализм, ни коммунизм не требуют ни аскетизма, ни какого-либо самопожертвования. Но они требуют превалирования общественных интересов над личными и групповыми, отказа от производства предметов роскоши и престижа, отказа от всего, что может принести вред обществу, природе и личности. Ущерб, наносимый природе производством при социализме, должен быть минимизирован, а при коммунизме – полностью скомпенсирован. Только тогда можно гарантировать вечность жизни на Земле, нашей прекрасной Родине. И не нужно для этого переселяться в космос, как рекомендовал К.Э.Циолковский, или сокращать население: на Земле всем места хватит, и современные технологии могут и сегодня, и, тем более, в будущем смогут накормить всех. Население Земли начнет само сокращаться: все сытые страны показывают, что сытый и окультуренный народ сокращает свою численность и для ее стабилизации даже приходится принимать меры по стимулированию рождаемости...

Социализм и, тем более, коммунизм высвобождают человека от груза многих забот, которые на системной основе берет на себя общество. Это увеличивает свободное время у каждого человека и дает ему возможность учиться, физически и духовно совершенствоваться, получая от этого большое удовлетворение.

Таким образом, решение всех накопившихся проблем и дальнейшее развитие естествознания, а также технологий и техники возможно в полной мере лишь после решения проблемы производственных отношений.