

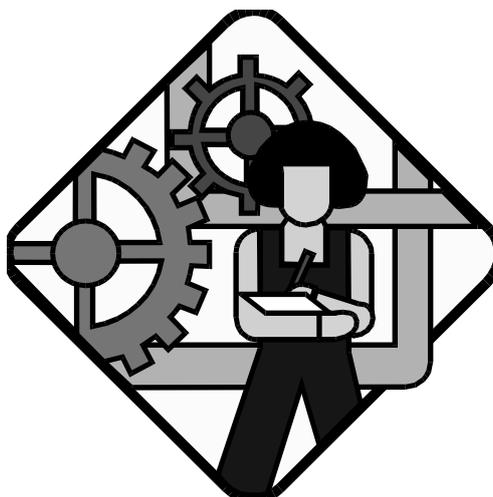


Кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры

В.П. Алексеев, Д.В. Озёркин

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МЕТОДЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

Учебное пособие



ТОМСК 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой КИПР
_____ Д.В.Озеркин
“ ___ ” _____ 20__ г.

В.П. Алексеев, Д.В. Озёркин

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МЕТОДЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

Учебное пособие

2015

Рецензент: профессор, д.ф.-м.н. Кузнецов Г.В.

Алексеев В.П., Озёркин Д.В.

Системный анализ и методы научно-технического творчества. Учебное пособие для студентов направления 11.04.01 «Радиотехника», магистерская программа «Проектирование и технология ботовой космической аппаратуры». Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. – 325 с.

В процессе подготовки пособия использованы монографии, учебники, учебные пособия и дидактические материалы, опубликованные ранее в российских изданиях. Основой для пособия послужил опыт преподавания указанного курса на радиоконструкторском факультете ТУСУР в период с 1977 г. по настоящее время в рамках программы целевой индивидуальной подготовки (ЦИПС) для студентов-радиоконструкторов.

© Алексеев В.П., Озёркин Д.В. 2015

© Кафедра КИПР Томского
государственного университета систем
управления и радиоэлектроники, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение.....	4
2	Системный анализ в проектировании	8
2.1	Определение и свойства систем РЭС	8
2.2	Структура систем РЭС	23
2.3	Моделирование систем РЭС.....	34
2.3.1	Классификация моделей	34
2.3.2	Теоретические основы моделирования систем РЭС.....	67
2.4	Способы управления системами.....	81
3	Методы научно-технического творчества	106
3.1	Постановка задачи	106
3.2	Критерии развития технических объектов	122
3.3	Методы исследования в научно-техническом творчестве	139
3.3.1	Теоретический метод исследования	139
3.3.2	Экспериментальный метод исследования.....	143
3.4	Методы генерации новых технических решений при проектировании РЭС	148
3.4.1	Метод мозговой атаки	148
3.4.2	Метод эвристических приемов.....	160
3.4.3	Морфологический анализ	172
3.4.4	Функционально-стоимостной анализ	197
3.4.5	Использование теории решения изобретательских задач	218
3.5	Технология прикладного системного анализа при проектировании систем РЭС	243
3.6	Методический пример использования технологии прикладного системного анализа при проектировании РЭС	249
4	Заключение	265
	Рекомендуемая литература	266
	Приложение 1 – Межотраслевой фонд эвристических приемов преобразования объекта	269
	Приложение 2 – Обобщенный эвристический метод	279
	Приложение 3 – Фонд физико-технических эффектов (ФТЭ)	288
	Список литературы к Приложению 3	324

1 ВВЕДЕНИЕ

Ставя перед собой задачу наиболее полного учета факторов, влияющих на процесс проектирования радиоэлектронных средств, инженеры-конструкторы неизбежно приходят к необходимости иметь дело со сложными комплексными явлениями, относящимися к принципам функционирования, производства и эксплуатации синтезируемых систем. Это предполагает необходимость совместного изучения различных физических явлений с учетом социальных и природных процессов для создания конструкций с оптимальными потребительскими свойствами.

Сложность системы определяется количеством входящих в нее элементов, количеством и характером связей между этими элементами, взаимоотношениями между системой и внешней средой.

При изучении сложных, взаимосвязанных друг с другом проблем используется *системный анализ*, получивший широкое применение в различных сферах научной деятельности человека, и в частности, в логике, математике, общей теории систем, в результате чего сформировались такие науки, как металогика и метаматематика. Металогика исследует системы положений и понятий формальной логики, разрабатывает вопросы теории доказательств, определенности понятий, истины в формализованных языках. Метаматематика занимается изучением различных свойств формальных систем и исчислений.

Так как системный анализ носит общий, междисциплинарный характер, т.е. касается образования, развития, функционирования, синтеза любых систем, то некоторые идеологи считают, что системный анализ заменяет философию, является новой всеобщей методологией науки. Такое восприятие системного анализа неверно, так как сводит функцию философского знания лишь к методологии научного исследования. Во всех науках существуют философские основания, используются философские категории, но это не повод принятия основания теории за саму теорию. Системный анализ, с одной стороны, позволяет применять ряд общефилософских положений к решению частных задач, а с другой – обогащает саму философию развитием конкретных наук. Чем дальше развивается системный анализ, тем совершеннее развивается его язык, тем он дальше удаляется от своей первоначальной философской основы. Таким образом, отождествление системного анализа с диалектическим методом, с философией неправомерно и может привести к мировоззренческим и методологическим ошибкам.

В основе системного анализа лежит понятие системы, под которой понимается множество объектов (компонентов), обладающих заранее определенными свойствами с фиксированными между ними отношениями. На базе этого понятия производится учет связей, используются количественные сравнения всех вариантов для того, чтобы сознательно выбрать наилучшее решение, оцениваемое каким-либо критерием, например измеримостью, эффективностью, надежностью и т.п.

Системный анализ используется для исследования таких сложных систем, как экономика отдельной отрасли, промышленного предприятия, объединения. Наиболее важным является применение системного анализа в проектировании радиоэлектронных средств (РЭС), поскольку он позволяет создавать оптимальные конструкции новых изделий. Процесс анализа является неотъемлемой частью алгоритма проектирования, эксплуатации или исследования систем любого типа и любого уровня.

В наиболее общем виде *системный анализ в проектировании* обычно определяют двояко:

1) как научную дисциплину, разрабатывающую общие принципы исследования и проектирования сложных технических объектов (ТО) с учетом их комплексного характера;

2) как методологию анализа ТО путем представления их в качестве систем и исследования этих систем.

Отметим *основные идеи*, характерные для системного анализа:

- исследователя и проектировщика с позиции системного анализа, прежде всего, интересует описание места и роли каждого элемента в системе в целом;

- системный анализ, как правило, выделяет наличие различных уровней системного ТО и их соподчиненность. Это вызывает необходимость описания взаимосвязи между ними. Наиболее часто встречающаяся форма реализации взаимосвязи – это управление процессом проектирования, производства и эксплуатации, а в ряде случаев и утилизации использованных ТО. Поэтому проблема управления возникает практически в любом системном исследовании.

Заметим, что в промышленно развитых странах системный аналитик является основным специалистом в создании новых поколений технических систем (ТС).

Системный анализ в процессе проектирования ТО складывается из основных четырех этапов:

1. Постановка задачи.
2. Структуризация изучаемой системы.
3. Моделирование изучаемой системы.
4. Анализ результатов моделирования.

Первый этап заключается в постановке задачи и в определении потребительских свойств проектируемой системы. Во время *второго этапа* системного анализа очерчиваются границы изучаемой системы и определяется ее структура: объекты и процессы, имеющие отношение к поставленной цели, происходит разбиение на собственно изучаемую систему и внешнюю среду. При этом различают замкнутые и открытые системы. При исследовании замкнутых систем влиянием внешней среды на их поведение пренебрегают. Затем выделяют отдельные составные части системы – ее элементы, устанавливают взаимодействие между ними и внешней средой.

В последнее время все большее внимание в технике уделяется изучению замкнутых систем, имеющих закрытые технологические циклы, так называемую, «безотходную технологию». Такие технологические процессы перспективны как с позиций экономики, так и экологии: «чем меньше отходов, тем выше уровень производства».

Третий этап системного анализа - моделирование, которое заключается в составлении математической модели исследуемой системы. Вначале производят параметризацию системы, описывают выделенные элементы системы и их взаимодействие. В зависимости от особенностей процессов используют тот или иной математический аппарат для анализа системы в целом.

Следует при этом отметить, что аналитические методы используются для описания лишь небольших систем вследствие их громоздкости или невозможности составления и решения сложных систем уравнений. Для описания больших систем и их не только качественных, но и количественных характеристик используются дискретные параметры (баллы), принимающие целые значения.

Наряду с детерминированными методами при исследовании сложных систем широко используют вероятностные методы, поскольку в них преобладают стохастические процессы. Поэтому наиболее часто исследуют развитие процессов с некоторой вероятностью или же определяют вероятность протекания изучаемых процессов.

Если исследуются сложные системы, именуемые как обобщенные динамические системы, характеризующиеся большим количеством параметров различной природы, то в целях упрощения математического описания их расчленяют на подсистемы, выделяют типовые подсистемы, производят стандартизацию связей для различных уровней иерархии однотипных систем. В результате моделирования формируются законченные математические модели системы, описанные на формальных языках, определяемых сложностью системы.

Четвертый этап системного анализа - это анализ полученной математической модели, определение ее экстремальных условий с целью оптимизации и формулирование выводов.

Оптимизация заключается в нахождении оптимума рассматриваемой функции (математической модели исследуемой системы, процесса) и соответственно нахождения оптимальных условий поведения данной системы или протекания данного процесса. Оценку оптимизации производят по критериям, принимающим в таких случаях экстремальные значения (выражающие, например, максимальное быстродействие, минимальный расход электроэнергии и т.д.). На практике выбрать надлежащий критерий достаточно сложно, так как в задачах оптимизации может выявляться необходимость во многих критериях, которые иногда оказываются взаимно противоречивыми. Поэтому наиболее часто выбирают какой-либо один основной критерий, а для других устанавливают пороговые предельно допустимые значения (см. раздел 3.2).

На основании выбора составляется зависимость критерия оптимизации от параметров модели исследуемого объекта (процесса). Такой результат исследования чрезвычайно важен для практических целей, дает определенную последующую опытно-конструкторскую проработку задачи.

Рассмотренные этапы проведения системного анализа являются самыми общими, универсальными. В каждом конкретном случае, при проектировании какого-либо класса ТО приведенная последовательность системного анализа может быть дополнена или несколько видоизменена. В частности, при проектировании такого класса ТО как радиоэлектронная аппаратура применяется технология прикладного системного анализа, разработанная авторами пособия и применяемая ими в учебном процессе [1]. В отличие от классического системного анализа технология прикладного системного анализа предполагает не только анализ результатов исследования, но и генерацию новых технических решений (синтетический этап). Подробное изложение особенностей технологии прикладного системного анализа при проектировании РЭС приведено в разделе 3.5. В основу синтетического этапа технологии прикладного системного анализа при проектировании РЭС положено понятие технического творчества – поиск новых технических решений, обеспечивающих создание поколений технических объектов с более высоким качеством. Творчество может иметь место в любой сфере деятельности человека: научной, производственно-технической, художественной, политической и т.д.

Из истории техники известно, что очень часто ученые и изобретатели для создания нового использовали малопродуктивный метод «проб и ошибок». Бессистемно перебирая большое количество возможных (мыслимых) вариантов, они находили (иногда!) нужное решение. Метод «проб и ошибок» достаточно убедительно отвергал Ф.Бэкон и его последователи. На рубеже XIX – XX веков было разработано около ста различных, более эффективных методов и методик активизации творческих способностей.

История человечества показывает, что в целом период реализации творческих идей имеет ярко выраженную тенденцию к сокращению. Действительно, если от печатных досок до изобретения книгопечатания (1440 г.) прошло «лишь» шесть веков и затем до создания печатной машинки четыре века, то, например, транзистор, изобретенный в 1948 г., был реализован в 1953 г. В эпоху современной научно-технической революции потребность в новых технических решениях высокого уровня существенно возросла и продолжает увеличиваться, что постоянно повышает требования к производительности, эффективности и качеству творческого труда.

2 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РЭС

2.1 Определение и свойства систем РЭС

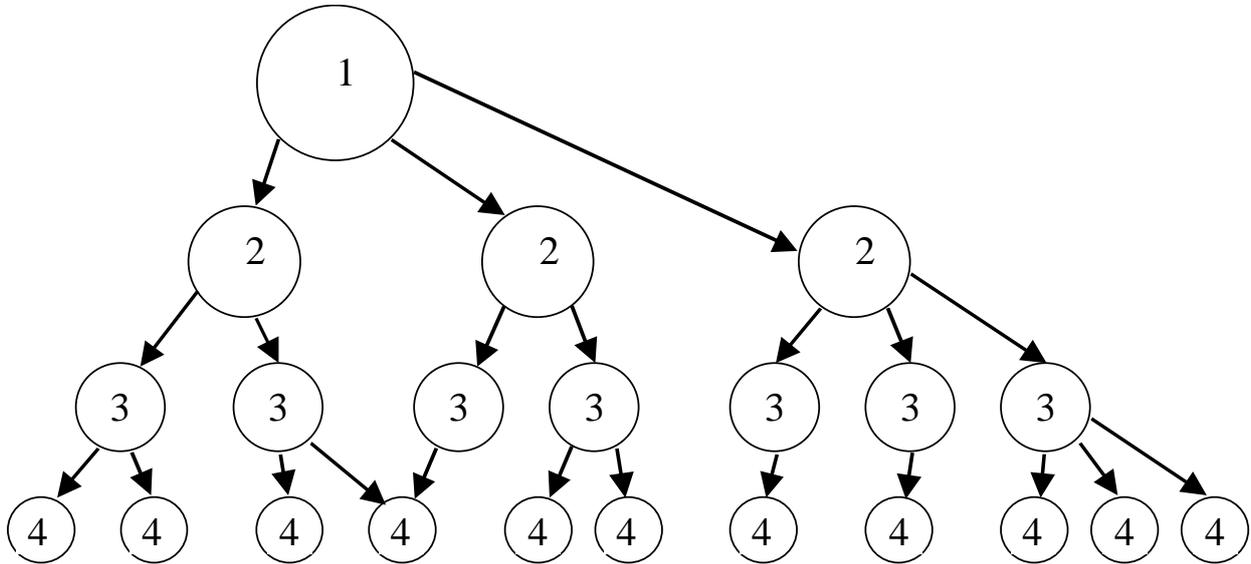
Комплексный подход к изучению объектов известен в науке под названием «общая теория систем» или «системология». Общая теория систем (ОТС) возникла на основе изучения некоторых биологических объектов и явлений и впервые была сформулирована Л. Берталанфи [2].

Со временем в структуре ОТС выделились два направления. Цель первого направления – развитие ОТС как некоторой философской концепции, включающей в себя такие понятия, как принцип системности, системный подход, системный анализ и т.д. В другом направлении общая теория систем представляет собой некоторый математический аппарат, претендующий на строгое описание закономерностей формирования и развития любых систем.

ОТС базируется на трех постулатах. *Первый постулат* утверждает, что функционирование систем любой природы может быть описано на основе рассмотрения формальных структурно-функциональных связей между отдельными элементами систем. Влияние материала, из которого состоят элементы систем, проявляется в формальных характеристиках системы (ее структуре, динамике и т.д.). *Второй постулат* состоит в том, что организация системы может быть определена на основе наблюдений, проведенных извне посредством фиксирования состояний только тех элементов системы, которые непосредственно взаимодействуют с ее окружением. *Третий постулат* заключается в том, что организация системы полностью определяет ее функционирование и характер взаимодействия с окружающей средой. Эти постулаты дают возможность определить организацию системы, исходя из характеристик взаимодействия с внешней средой, и характеристики взаимодействия, исходя из организации системы.

Характерная особенность современной науки - системный подход: изучение объекта как целостности и элементов объекта как частей системы и как подсистем, выявление вида связей между этими частями и самого объекта с другими. Если технический объект - система, состоящая из взаимодействующих частей, а его части - подсистемы из частей более низкого уровня, то совокупность взаимодействующих технических систем - это надсистема (рисунок 2.1). К составным частям системы самого низкого уровня относятся элементы. Элемент – это часть системы, которая не подлежит дальнейшему делению с точки зрения цели системы. Так, в телевизоре к элементам, с точки зрения конструктора телевизора, относятся электрорадиоэлементы (ЭРЭ), например,

интегральные микросхемы (ИМС). Но если поставить цель – спроектировать новую ИМС для того же телевизора, то к элементам будут относиться составные части ИМС – подложка, корпус, выводы. А с точки зрения физика телевизор состоит из таких элементов, как атомы, молекулы, р-п переходы, контакты и т.д.



1 – надсистема; 2 – системы; 3 – подсистемы; 4 – элементы

Рисунок 2.1 – Схема системного подхода

Системный подход к развитию техники означает умение видеть, воспринимать, представлять техническую систему как единое целое во всей ее сложности, со всеми связями и их изменениями, сочетая разные, но взаимодополняющие подходы: **компонентный**, изучающий состав системы (надсистема, техническая система, подсистема); **структурный**, изучающий взаимное расположение подсистем в пространстве и времени, связи между ними; **функциональный**, рассматривающий функции технической системы и ее подсистем, роль технической системы в надсистеме; **генетический**, изучающий становление технической системы, этапы ее развития и замену одной системы другой.

Системой (с греческого: целое, составленное из частей, соединение) назовем некоторое множество связанных элементов, обладающих свойствами, не сводящимися к сумме свойств отдельных ее частей. Вообще, понятие «система» весьма многогранно. Кроме приведенного, наиболее общего определения системой можно назвать:

- порядок, обусловленный расположением частей в определенном порядке (система работы);

- форма общественного устройства (государственная система);
- совокупность частей, связанных выполнением общей функции (нервная система);
- совокупность хозяйственных единиц, учреждений, организационно объединенных в единое целое (производственно-хозяйственная система) и т.д.

Части, составляющие техническую систему, оказываются *подсистемами* - они состоят из каких-то частей, которые могут рассматриваться как подподсистемы. Техническая система «электродвигатель» состоит из подсистем: статор, ротор и т.д. Подсистема «статор» имеет свои подподсистемы: обмотку, сердечник, выводы и т.д. Каждая техническая система входит в некоторую *надсистему*. Например, техническая система «электродвигатель» входит в надсистему «привод», который, в свою очередь, входит в систему более высокого уровня - наднадсистему: надсистема «привод» входит в наднадсистему «радиолокатор» или «технологическая линия». Вообще, представление объекта в виде надсистемы, системы, подсистемы и элементов является условным и зависит от субъекта.

Если рассмотреть такие, казалось бы, не имеющие ничего общего системы как отопительная, система освещения, система визуализации изображений, спутниковая система связи и т.п., то можно сделать вывод, что все эти системы объединяет одно свойство – ***техническая система это средство достижения цели. Нет цели – нет системы.***

Любая техническая система создается для выполнения некоторого множества общественно полезных функций, достижения определенного результата. Среди них можно выделить:

- ***основные*** функции, для выполнения которых, собственно, и создана техническая система, причем среди основных функций существует главная, определяемая из потребности в системе;
- ***второстепенные***, отражающие побочные цели технической системы;
- ***вспомогательные***, обеспечивающие выполнение основных;
- ***вредные***, мешающие применению технической системы.

Например, главная функция современного телевизора – прием и воспроизведение аудиовизуальной информации; основные функции – прием нескольких программ, воспроизведение цветных и стереосигналов, воспитание мировоззрения; второстепенные функции — использование в качестве компьютерного монитора большой диагонали, объекта мебели или интерьера, прием телетекста и т.д.; вспомогательные функции – сигнализация о системе цветности принимаемого сигнала, автоматическое выключение, «замок» для детей; вредные – электромагнитное излучение, потребление электроэнергии,

необходимость в выделении определенного жилого пространства. Все эти функции неразрывно связаны между собой. На рисунке 2.2 представлена схема функций технической системы – современного телевизора.

За реализацию полезных функций технических систем необходимо расплачиваться: это затраты на создание, эксплуатации и утилизацию системы, создаваемые технической системой вредные функции. Технические системы развиваются – происходит их переход из одного состояния в другое, качественно более совершенное, от простого к сложному, от низшего к высшему. Их развитие можно определить как увеличение отношения суммы полезных функций к сумме факторов расплаты.

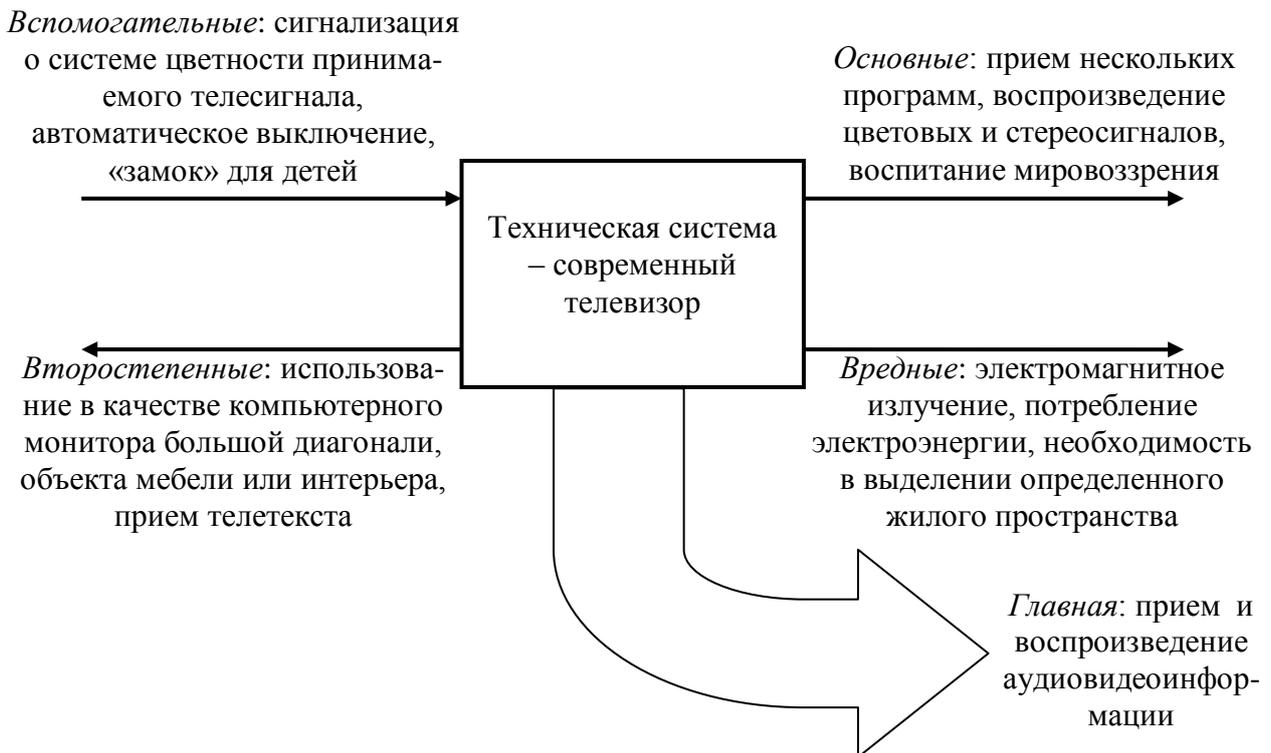


Рисунок 2.2 – Схема функций технической системы на примере современного телевизора

Радиоэлектронные системы относятся к разряду технических систем, имеющих свои особенности. С позиций системного анализа любая радиоэлектронная система представляет собой совокупность электрорадиоэлементов различного структурного уровня, соединенных между собой электрическими, магнитными, электромагнитными, тепловыми, механическими, оптическими, акустическими, химическими и пространственными связями, выполняющими единую функцию на объекте функционирования.

Рассмотрим графическую модель радиоэлектронной системы в общем виде (рисунок 2.3), а также ее свойства.

Свойство целостности. Радиоэлектронная система должна быть целостной на всех ее уровнях. Целостность означает, что в системе не должно

быть лишних или недостающих составных частей. При невыполнении этого условия система перестает выполнять свои свойства, т.е. достигать поставленную цель. Место данной технической системы в техносфере в целом можно определить через понятие «экологическая ниша системы» - как совокупность выполняемых функций и комплекс условий, необходимых для создания, существования и развития технических систем. Система может быть полной, если она имеет все необходимое для выполнения своих функций без участия человека. В этом смысле подавляющее число известных ныне технических систем неполно.

Свойство открытости. Открытость означает, что система должна реагировать на все входные сигналы и воздействия (рисунок 2.3). Реальные технические системы функционируют в условиях большого количества случайных факторов, источниками которых являются воздействия внешней среды, а также ошибки, шумы и отклонения различных величин, возникающие внутри системы. Объект связан со средой бесконечным числом связей, определяющих его состояние.

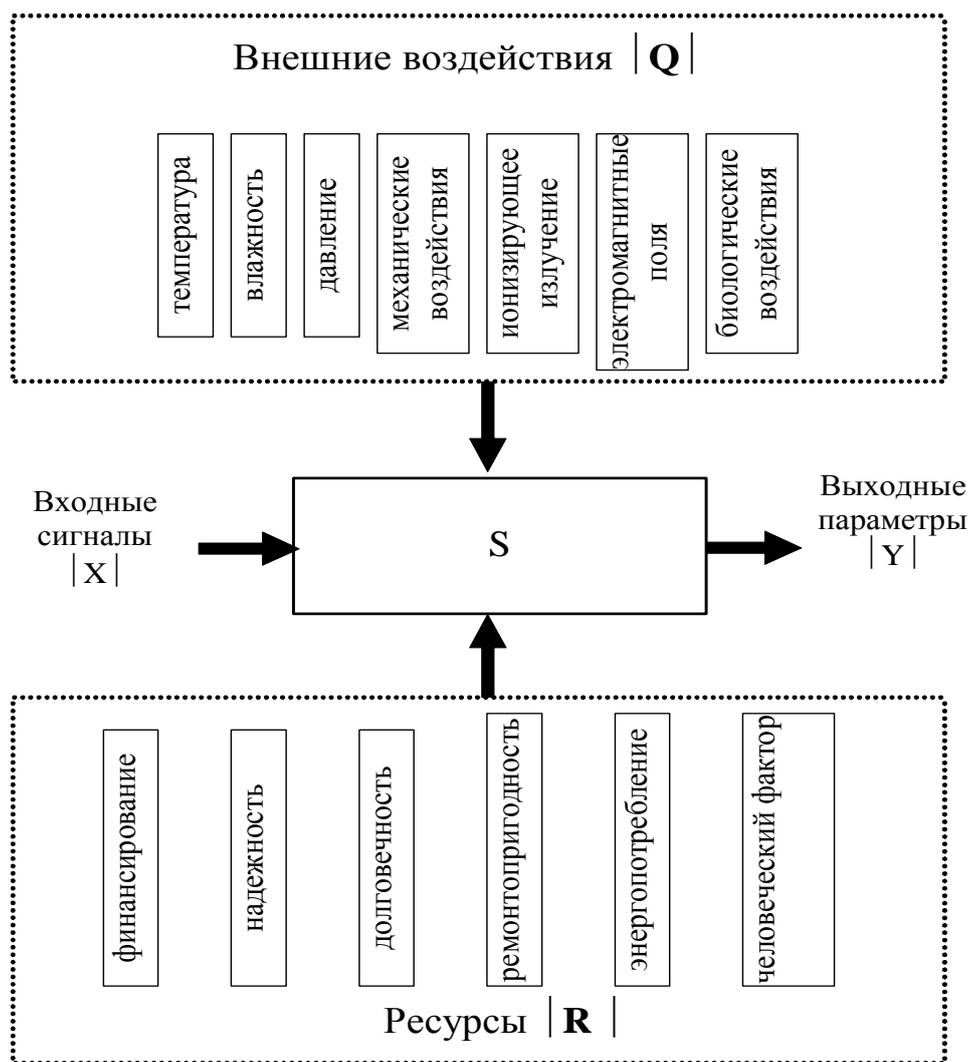


Рисунок 2.3 – Графическая модель радиоэлектронной системы

Свойство функциональности. Свойство функциональности проявляется в наличие некоторой функциональной модели, связывающей количественно и качественно выходы (цели) системы с ее входными сигналами (управляющими воздействиями):

$$\|Y\| = f \|X\|.$$

Такая функциональная модель носит название «черный ящик» - когда исследователь не знает или его не интересует внутреннее наполнение системы, а важны лишь входные и преобразованные выходные сигналы. Функциональная модель определяется физическим принципом действия (ФПД) системы и ее структурой. Любую техническую систему можно рассматривать как преобразователь действия на входе в действие на выходе – электромагнитных волн в цветное изображение или для систем, развернутых во времени, состояния на входе в состояние на выходе - сырьё (смеси веществ) в однородный расплав.

Свойство структурированности. Каждой технической системе присуще свойство, которое называется различимость частей или структурированность. Таким образом, подсистема, техническая система и надсистема образуют *иерархию систем* - расположение частей в порядке от низшего к высшему (рисунок 2.1). Возможно и другое строение - сетчатое (ретикулярное), в котором все подсистемы связаны друг с другом сложными обратными связями, влияют друг на друга, и невозможно однозначно выделить какую-то иерархию (например, структура сетевого соединения вычислительной техники в компьютерном классе). На рисунке 2.4 приведена примерная иерархическая структура любой радиоэлектронной системы.

Заметим, что каждая составная часть радиоэлектронной системы может быть надсистемой или подсистемой и т.д., в зависимости от ее уровня. Под элементом будем понимать составную часть, которую с точки зрения цели функционирования системы делить не следует. Так, например, для специалиста по проектированию РЭС неделимой частью системы является электрорадиоэлемент, имеющий свои параметры. Эти параметры не определяются проектировщиком, а всего лишь выбираются, исходя из цели системы.

Начиная со свойства структурированности, мы подходим к модели технической системы более высокого уровня, а именно уровня типа «белый ящик» - когда помимо входных и выходных воздействий выявляется внутреннее наполнение системы (рисунок 2.5).

Структурная модель радиоэлектронной системы представляет собой не только совокупность составных частей различного структурного уровня, но и связей между ними. Заметим, что любая система только в том случае будет достигать поставленные цели, если она управляема.



Рисунок 2.4 – Конструктивные уровни радиоэлектронных систем

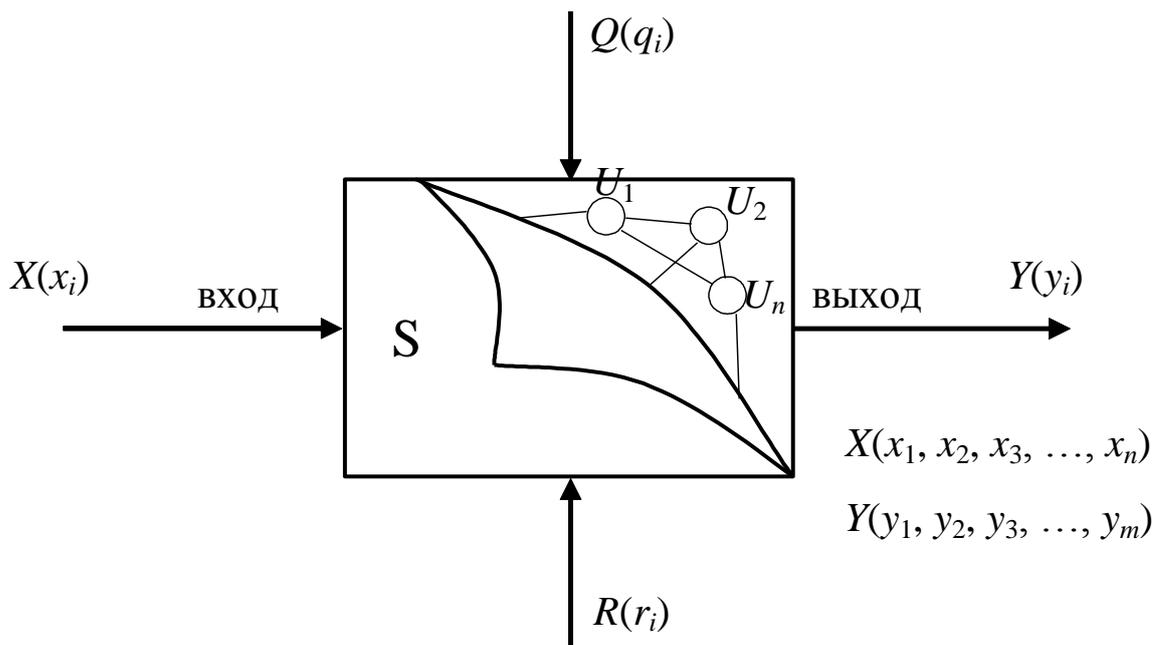


Рисунок 2.5 – Структурная модель радиоэлектронной системы

Свойство управляемости. Техническая система может состоять из элементов подсистемы, каким-либо образом расположенных в пространстве между собой (устройств или веществ, машин, передач, сплавов), либо из подсистем, связанных между собой во времени (технологий, операций, процессов, способов). Целью существования систем, развернутых в пространстве (устройств или веществ) является проведение какого-либо действия, процесса. Соответственно техническая система, развернутая во времени, создается для производства, обработки веществ, устройств. Оба вида технических систем неразрывно связаны, дополняют друг друга - между ними множество аналогий в развитии. Управляемость системой относится к категории динамических свойств, так как управление происходит во времени и пространстве. Любая техническая система может развиваться как в направлении улучшения ее свойств (прогресс), так и в сторону ухудшения (регресс). Прогресс сопровождается последовательным ростом (увеличением количества связей и элементов) или развитием (качественным улучшением структуры или физического принципа действия). Прогресс технических систем – это последовательная модернизация с целью улучшения качества выходных параметров. Регресс является побочным следствием научно-технического развития в области техники, к которой относится система, сопровождается упадком (ухудшением потребительских свойств) и деградацией, приводящей к полной утрате потребности.

Таким образом, управляемость это способность системы развиваться в направлении заданных целей. Совокупность сформированных целей правомерно трансформировать в модель функционирования системы в условиях изменения входных сигналов, ресурсов и внешних воздействий (рисунок 2.3). Управляющие воздействия в системе могут быть внешними и внутренними. К внешним воздействиям отнесем воздействия со стороны надсистемы. Внутренние управляющие воздействия возникают в структуре системы в процессе ее функционирования. Они вызваны изменением содержания и функций отдельных компонентов системы, а также появлением или исчезновением внутренних связей.

Свойство ингерентности. Сохранение всех функций и свойств в системе по мере ее развития возможно, если она обладает еще одним свойством – ингерентностью (англ. *inherent* – присущий, неотъемлемый, свойственный). Под ингерентностью понимается способность существовать в условиях изменения внешних воздействий, к которым можно отнести внешнюю среду и ресурсы. Параметры внешних воздействий определяются степенью жесткости условий эксплуатации радиоэлектронной системы. С системных позиций можно выделить следующие виды моделей технической системы – модель ингерентности к внешним воздействиям:

$$\|Y\| = f\|Q\|,$$

а также ресурсную модель:

$$\|Y\| = f\|R\|.$$

Свойство эмерджентности (англ. emergency: внезапное появление, возникновение из ничего). Системное свойство может быть полезным для человека или вредным, побочным эффектом создания технической системы с некоторым полезным свойством. Часто появление вредного системного свойства оказывается неожиданным. Так, при параллельной работе нескольких электронных приборов могут возникнуть вредные резонансные явления. Неожиданное системное свойство может быть и полезным (сверхэффект). Такое дополнительное системное свойство получают без введения специальных элементов, только за счет того, что при объединении в техническую систему нужное свойство усиливается, а вредное компенсируется.

Подобное системное свойство называется **эмерджентность** – появление в целом нечто качественно нового, такого, чего не было и не могло быть без этого объединения. Свойство эмерджентности изучает синергетика (греч. synergos: совместный, согласованно действующий) – наука об общих закономерностях образования, устойчивости и разрушения упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных системах различной природы (физических, химических, экологических и др.). Образно говоря, предмет ее исследования – «возникновение порядка из беспорядка и хаоса», самоорганизованность систем, появление новых качественных свойств.

Возникновение качественно новых свойств при соединении отдельных элементов в систему – это частное проявление всеобщего закона диалектики – закона перехода количества в качество. И чем больше отличаются свойства совокупности от суммы свойств элементов, тем выше организованность системы. Поэтому свойство эмерджентности можно считать проявлением внутренней **целостности** системы, ее системообразующим фактором.

Приведем пример эмерджентности.

Пусть имеется некий цифровой автомат S , преобразующий любое целое число на его входе в число, на единицу больше входного (рисунок 2.6, *а*).

Если соединить два таких автомата последовательно в кольцо (рисунок 2.6, *б*), то в полученной системе обнаружится новое свойство: она генерирует возрастающие последовательности: одна – последовательность только четных чисел, другая – последовательность только нечетных чисел.

Параллельное же соединение (рисунок 2.6, *в*) ничего не изменяет в смысле проявления новых «арифметических» свойств, но можно отметить появление эмерджентного свойства другого характера – увеличение надежности работы автомата (реализовано дублирование).

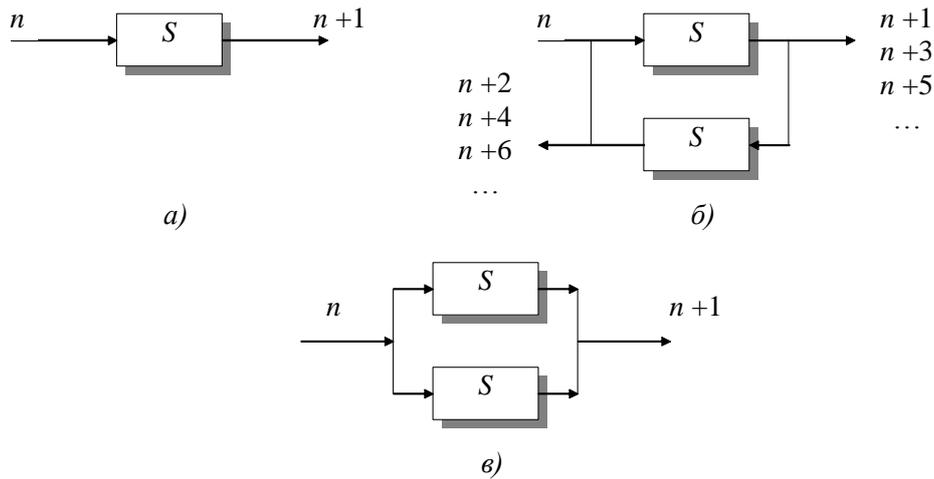


Рисунок 2.6 – Пример проявления эмерджентности

Приведем пример выявления в сложной радиоэлектронной системе рассмотренных выше системных свойств.

В начале июля 2002 года московская компания «Версател» анонсировала проект передачи сигналов цифрового телевидения (рисунок 2.7) [3]. Сигналы телевизионных программ принимаются со спутника в цифровом формате (MPEG 2). Далее они обрабатываются и уплотняются, затем из них формируются транспортные потоки, которые передаются по оптоволокну на отметку 344 метра Останкинской телебашни. Здесь они модулируются в сигналы стандарта DVB-C (Digital Video Broadcasting - Cable) и передаются в MMDS-диапазоне (2.5 – 2.7 ГГц) на головные станции, где стоят MMDS-антенны. На головных станциях сигнал после преобразования подключается к распределительной сети уже существующей системы кабельного телевидения.

Свойство целостности. Целостность представленной системы заключается в отсутствии необходимости развертывания и строительства новых сетей. Уникальное технологическое решение состоит в передаче цифрового сигнала по существующей кабельной сети таким образом, что он не создает помех аналоговому ТВ-сигналу, который по этим сетям уже передается.

Свойство открытости. Свойство открытости в данном примере заключается в том, что для подключения к системе требуется только декодер, который подключается к обычному антенному кабелю в квартире.

Свойство функциональности. Свойство функциональности системы формирования и доставки цифрового телевидения можно представить в виде следующей функциональной схемы (рисунок 2.8). На функциональной схеме хорошо видно, что каждый из блоков системы выполняют определенную функцию по обработке и преобразованию полученного со спутника сигнала.

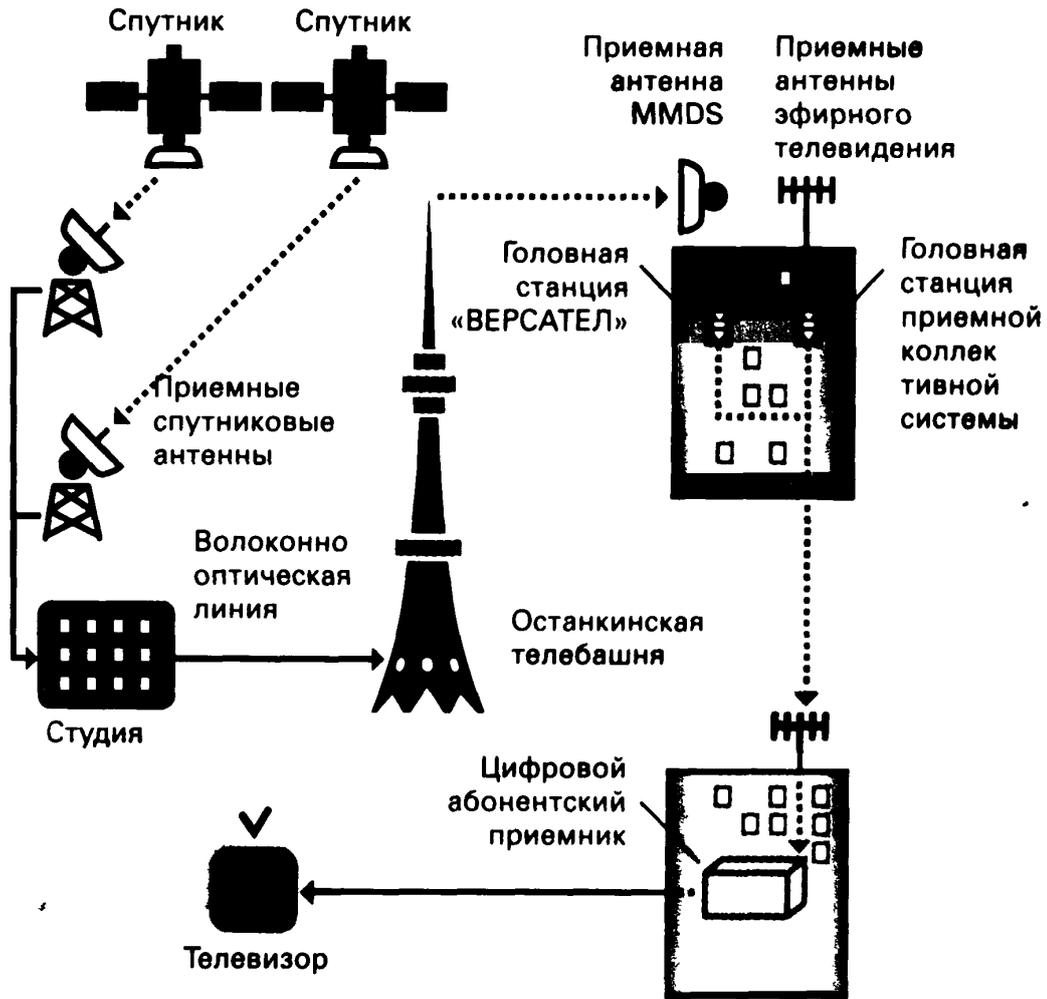


Рисунок 2.7 – Система формирования и доставки сигналов цифрового телевидения

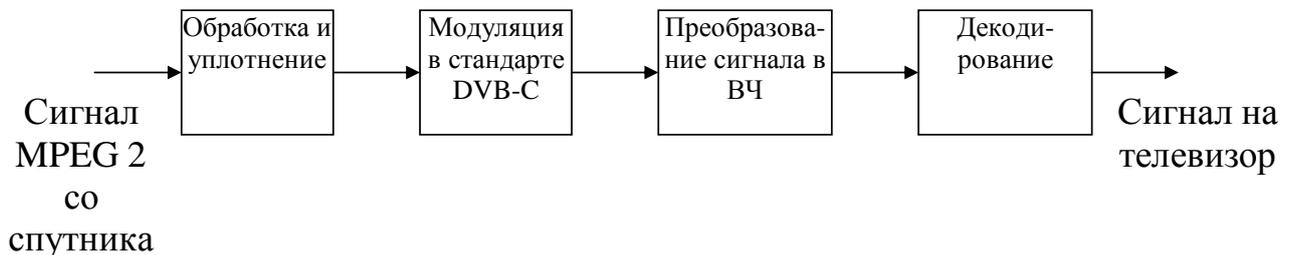


Рисунок 2.8 – Функциональная схема системы формирования и доставки цифрового телевидения

Свойство структурированности. Структурная схема рассматриваемой системы представлена на рисунке 2.9. Из схемы следует, что в данной системе существует четыре структурных уровня. Предполагается, что у каждого

абонента, имеющего декодер цифрового телевидения, может быть несколько телевизоров (концепция «мультирум»).

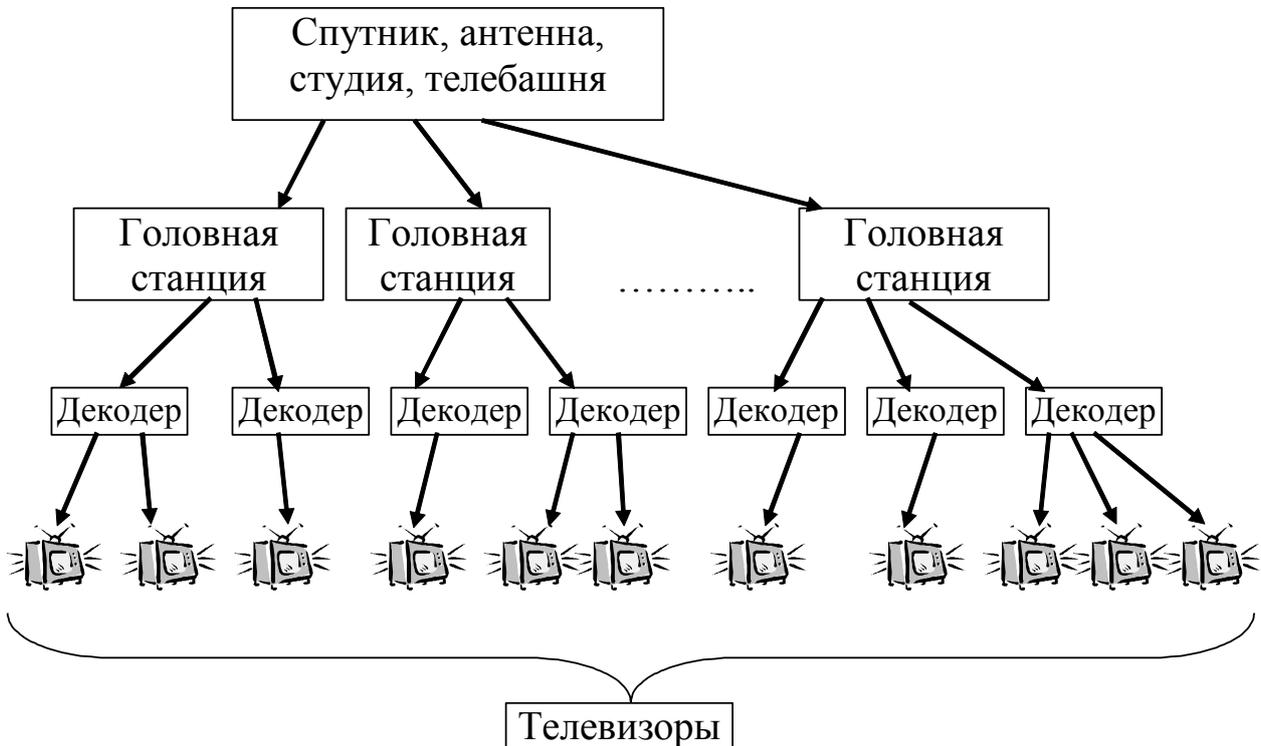


Рисунок 2.9 – Структурная схема системы цифрового телевидения

Свойство управляемости. Как было отмечено выше, свойство управляемости характеризуется развитием системы в направлении улучшения ее свойств (прогресс) и увеличением количества связей и элементов. Для данного примера свойство управляемости заключается в том, что в перспективе абонентам будут предложены новые модели декодеров с расширенными возможностями, например, встроенным жестким диском для записи видеопрограмм, цифровым аудиовыходом, модемом. Система цифрового телевидения уже сейчас в состоянии охватить более 2 млн. квартир, т.е. налицо увеличение количества связей и элементов.

Свойство ингерентности. Свойство ингерентности проявляется в том, что система цифрового телевидения может принимать сигнал с различных спутников, тем самым, демонстрируя гибкость и устойчивость функционирования. Как следствие, набор принимаемых абонентами блоков спутниковых программ может быть различным.

Свойство эмерджентности. В рассматриваемой системе существует принципиально новая возможность, не свойственная обычным сетям кабельного телевидения – «видео-на-заказ». На нескольких специально выделенных каналах круглосуточно транслируются анонсы новинок кино. Все абоненты имеют номер телефона специальной сервисной службы, через которую и производится заказ фильма и времени трансляции.

Подводя итог определениям и свойствам систем, можно отметить следующее. Любая система представляет собой комплекс взаимодействий, посредством которых она проявляется как нечто определенное и целостное. Всякое взаимодействие представляет собой процесс обмена систем веществом, энергией, информацией и т.п., имеет переменный характер, противоречие (борьба) периодически чередуется с содействием (сотрудничеством). Роль и назначение взаимодействий противоречия и содействия не равноценны. Только диалектические противоречия выступают в качестве внутреннего импульса, источника движения и развития природы, общества, мышления, техники.

Противоречия в технических системах чрезвычайно разнообразны по форме и проявлениям, имеют преходящий исторический характер, взаимосвязаны и взаимообусловлены. В процессе решения научно-технических задач последовательно выявляются вначале внешние, а затем внутренние противоречия на все более углубляющемся уровне. Внешние противоречия предшествуют научно-технической задаче и создают мотивы для ее выявления и решения. Среди внутренних противоречий (противоречий самой структуры системы) выделяют основные и главные технические и физические противоречия. Основные противоречия складываются между определяющими, т.е. внутренними и необходимыми, сторонами в структуре системы. Радикальное разрешение основного противоречия приводит к коренному изменению качественной определенности предмета. Главным противоречием является такое, от разрешения которого в данный момент зависит дальнейшее развитие предмета.

Технические противоречия возникают между элементами системы и их частями, между техническими параметрами и свойствами. Они состоят в том, что, например, увеличение мощности полезного агрегата может вызвать недопустимое ухудшение экологической обстановки или требуемое повышение прочности вызывает недопустимое увеличение массы конструкции и т.д.

Физические противоречия состоят в наличии у одного и того же элемента системы (ее мысленной модели) взаимопротивоположных физических свойств или функций. Например, элемент электрической схемы должен быть проводником, чтобы выполнялось одно действие, и одновременно диэлектриком, чтобы выполнялось другое. Это противоречие разрешает такой элемент как диод.

Путь к решению задачи, к созданию качественно новой технической системы, лежит через выявление все более глубоких противоречий и нахождение способов их разрешения. В этом состоит одно из проявлений закона перехода количественных изменений в качественные. В то же время новая техническая система представляет собой органический синтез нового и некоторых элементов прежних решений в новом целом, демонстрируя тем самым действие закона отрицания отрицания как фундаментального принципа диалектики, определяющего всякое развитие. Более подробно физические и тех-

нические противоречия и способы их устранения рассматриваются в разделе 3.5.

Уровень технического развития зависит непосредственно как от уровня естествознания (от степени познания законов природы), так и от накопленных человечеством знаний в борьбе за покорение сил природы. Вместе с тем средства труда (техника) созданы человеком в процессе общественного производства и входят неотъемлемым элементом в систему производительных сил. В связи с этим техника неразрывно связана со способом производства, включающим и производственные отношения. Только экономические законы данного общественного строя определяют истоки, направления и темпы развития техники.

Жизнь любой системы (технической, системы живых организмов и др.) можно изобразить в виде логической кривой (рисунок 2.10), иллюстрирующей изменения во времени качества системы K (например, производительности, надежности и экономичности). Несмотря на индивидуальные особенности, эта зависимость имеет характерные участки, общие для всех систем. Вначале (участок 1) система A развивается медленно, существует в виде модели, опытной установки, единичного образца. Затем (участок 2) она быстро совершенствуется, начинается ее массовое применение. Затем темпы развития идут на спад (участок 3), система исчерпывает свои возможности. Далее техническая система деградирует и сменяется принципиально другой системой B , иногда долгое время сохраняя достигнутые показатели (участок 4).

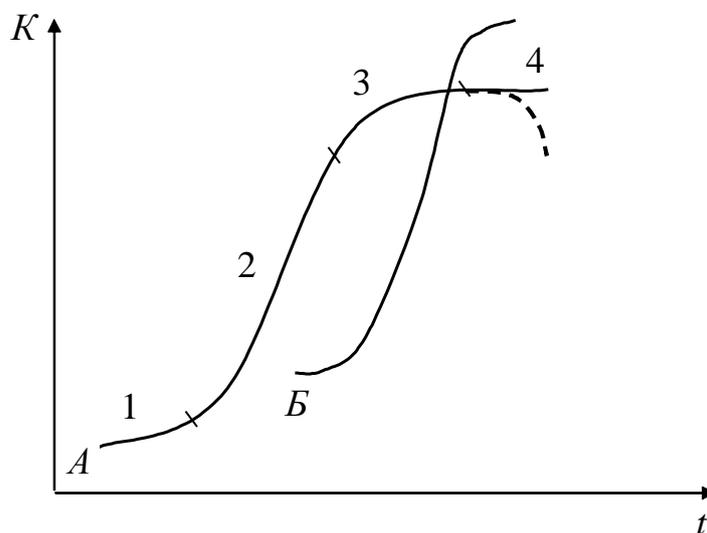


Рисунок 2.10 – Развитие качества системы во времени

Жизненный цикл любой системы определяется ее одним свойством – **развитием во времени**, которое относится к динамическим свойствам. Система может повышать свое качество – это будет **прогресс**, сопровождающийся двумя стадиями – **ростом** и **развитием**. Развитие является следствием перехода количества в качество. Застой в развитии качества системы приводит к **упадку** и **деградации**. Это уже стадии **регресса**, логическим следствием

которого является физическая смерть системы. Для дальнейшего прогресса необходим толчок, например, «пионерское» изобретение и переход к новому поколению системы данного типа.

Знание особенностей развития технических систем необходимо для выяснения резервов и определения целесообразности совершенствования данной системы или создания принципиально новых решений. В связи с тем, что жизнеспособными оказываются только те технические решения, которые соответствуют закономерностям развития техники, особую ценность представляет способность исследователя правильно предвидеть направления и тенденции возможного изменения исходной технической системы и действовать в соответствии с этими закономерностями.

2.2 Структура систем РЭС

В общем виде схематическое представление взаимодействия радиоэлектронной системы с окружающей средой приведено на рисунке 2.11. Почти каждое РЭС представляет собой некоторую комбинацию таких составляющих, как параметры (переменные), компоненты, функциональные зависимости, ограничения, целевые функции, элементы, узлы, сигналы. Рассмотрим подробнее каждую из перечисленных категорий.

Совокупность параметров среды, которые воздействуют на РЭС, разделяют на группы в зависимости от характера и доли их участия в процессе. В самом общем случае объект характеризуют следующие параметры: входные величины (входы) – x_1, x_2, \dots, x_n ; управляющие воздействия (управления) – u_1, u_2, \dots, u_k ; возмущающие воздействия (возмущения) – z_1, z_2, \dots, z_s ; выходные величины (выходы) – y_1, y_2, \dots, y_m .

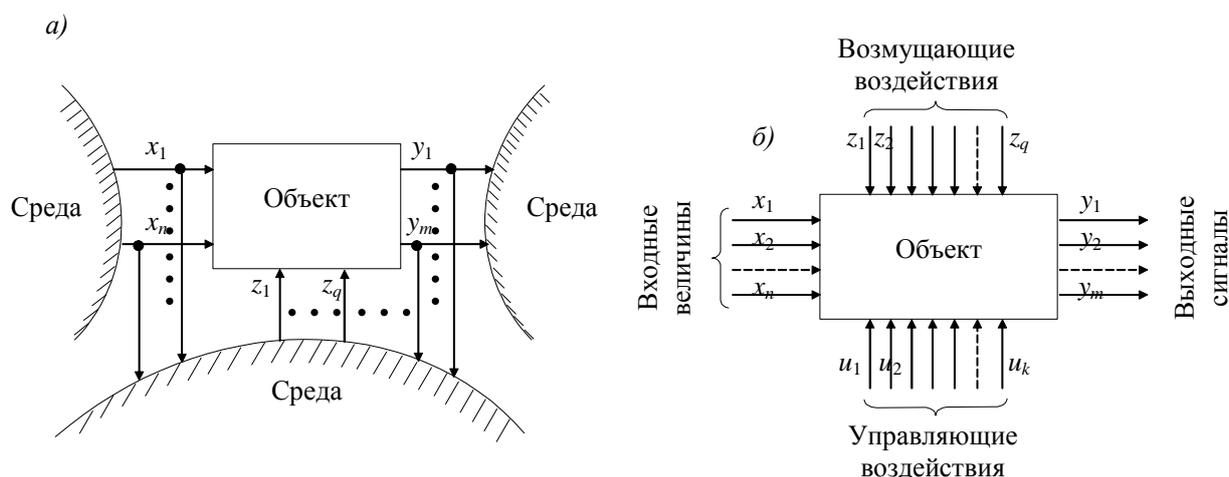


Рисунок 2.11 – Радиоэлектронная система как объект внешних воздействий

Входными принято называть параметры, значения которых могут быть измерены, но возможность воздействия на них отсутствует. Предполагается также, что эти параметры не зависят от режима работы РЭС.

Управляющими называются параметры, на которые можно оказывать прямое воздействие в соответствии с выбором разработчика или предъявляемыми требованиями, что позволяет управлять процессом. Управляющими параметрами могут быть, например, регулируемая сила тока в установке магнетронного напыления тонких пленок, инфракрасный сигнал с пульта дистанционного управления и т.п.

Возмущающими называют параметры, значения которых случайным образом изменяются с течением времени и которые не всегда доступны для измерения. Ими могут быть, например, температура окружающей среды, ат-

мосферное давление, относительная влажность воздуха, перепады напряжения в электрической сети, а также другие возмущения.

Выходными называют параметры, значения которых определяются режимом работы РЭС. Эти параметры характеризуют состояние технической системы как результат суммарного воздействия входных, управляющих и возмущающих параметров. Поскольку назначение выходных параметров – описывать состояние РЭС, их иногда называют параметрами состояния.

Описание каждого **параметра** (переменной) в РЭС должно производиться стандартным образом:

- 1) определение и символ;
- 2) текстовое описание;
- 3) единицы измерения;
- 4) диапазон изменения;
- 5) характеристики (однозначный, многозначный; параметр числовой или с кодированным значением; регулируемая, нерегулируемая или случайная переменная и т.д.);
- 6) место применения в системе;
- 7) источник параметра (переменной);
- 8) примечания.

Часть любой (не обязательно радиоэлектронной) системы, которая может быть выделена как самостоятельное, автономное образование, называют **компонентом** системы. Например, в технической системе «космический корабль» компонентами являются такие объекты, как тяговые механизмы, механизмы наведения, механизмы управления, несущая конструкция и т.п. Техническая система «персональный компьютер» может состоять из таких компонентов, как материнская плата, жесткий диск, видеокарта и т.п. В экономической системе «отрасль промышленности» компонентами могут быть отдельные производственные объединения, отдельные потребители и т.п.

Функциональные зависимости описывают поведение параметров (переменных) в пределах компонентов РЭС или выражают соотношения между ними. Эти соотношения, или операционные характеристики, по своей природе являются либо детерминированными, либо стохастическими. Детерминированные соотношения – это тождества или уравнения, которые устанавливают зависимость между переменными или параметрами в тех случаях, когда процесс на выходе РЭС однозначно определяется заданной информацией на входе. В отличие от этого стохастические соотношения представляют собой такие зависимости, которые при заданной входной информации дают на выходе неопределенный результат.

Ограничения представляют собой устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия распределения и расходования тех или иных средств (энергии, запасов, времени и т.п.). Они могут вводиться либо разработчиком (искусственные ограничения), либо самим РЭС вследствие присущих ему свойств (естественные ограничения). Например, для портативного радиоприемника искусственным ограничением является

ся набор принимаемых диапазонов волн, а естественным ограничением – время непрерывной работы от батарей питания. Большинство технических требований к РЭС представляет собой набор искусственных ограничений.

Целевая функция, или функция критерия, – это точное отображение целей или задач РЭС и необходимых правил оценки их выполнения.

Формально **элементом** считается объект, не подлежащий дальнейшему расчленению на части (при данном рассмотрении РЭС). Существенны только свойства элемента, определяющие его взаимодействие с другими элементами РЭС и влияющие на свойства РЭС в целом.

Элементный состав может быть **гетерогенным** (содержащим разнотипные элементы), **гомогенным** (содержать однотипные элементы) и **смешанным** (содержать группы однотипных элементов и группы разнотипных элементов).

Структуру РЭС в некоторых случаях удобно описывать на языке теории графов. Построение структуры РЭС в виде графа удобно при декомпозиции объекта на элементы. Граф служит источником информации о соподчиненности и связях элементов. При этом элементы РЭС – вершины графа, связи – дуги графа. Связи могут быть **нейтральные**, **прямые** (рисунок 2.12, а) и **обратные** (рисунок 2.12, б), как положительные, так и отрицательные. Нейтральные связи не связаны с функциональной деятельностью РЭС, непредсказуемы или случайны. Наиболее часто встречающиеся типы структуры РЭС приведены на рисунке 2.13.

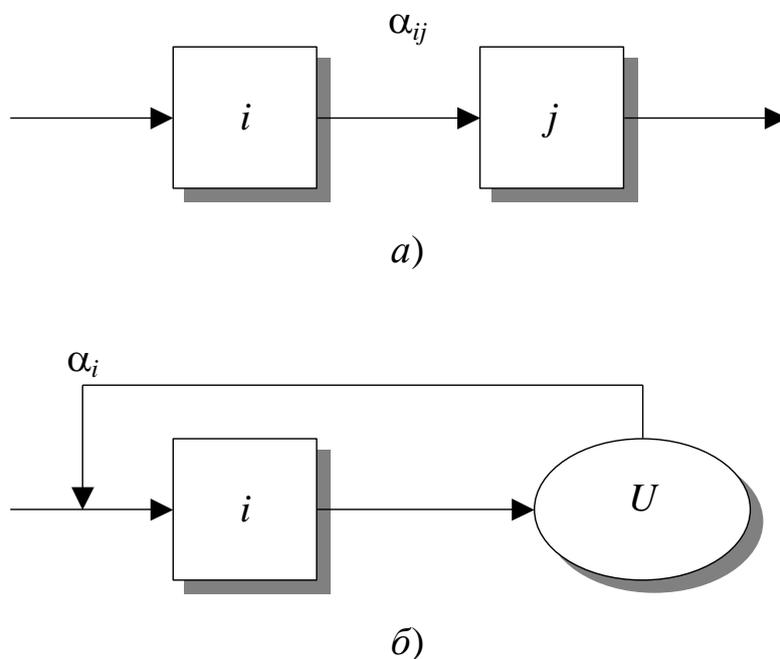


Рисунок 2.12 – Прямая (α_{ij}) и обратная (α_i) связи: i, j – элементы РЭС; U – блок сравнения выходных значений с каким-либо заданным

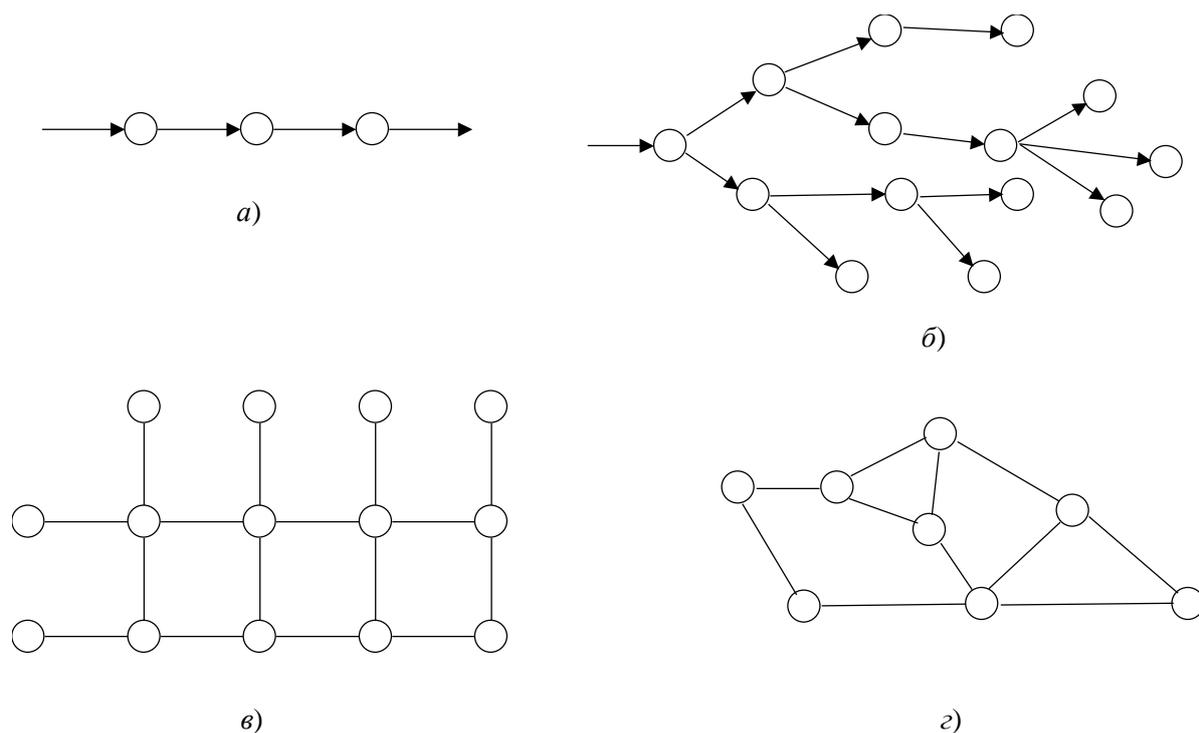


Рисунок 2.13 – Типы структур РЭС: а) линейная; б) древовидная; в) матричная; г) сетевая

Структуры с обратной связью реализуются в управляемых РЭС. Процесс управления можно представить как взаимодействие двух систем – управляющей и управляемой. Назначение управляющей системы – формировать такие воздействия на управляемую систему, которые бы побуждали бы последнюю принять состояние, определяемое целью управления.

В больших системах нельзя установить непроницаемые перегородки, разграничивающие действия переменных различной физической природы. Например, в современном высокотехнологическом процессе изготовления центрального процессора персонального компьютера нужно одновременно учитывать такие, не поддающиеся в реальных условиях разграничиванию процессы, как теплопередача, гидравлические процессы, кинетику множества одновременно протекающих реакций. Понятие элемента такой технологической системы и расчленение системы на элементы условны и зависят от целей анализа, так как каждый элемент можно рассматривать как систему.

Элементы могут накапливать, передавать, преобразовывать и рассеивать энергию или информацию. Типичными элементами являются тумблеры, переключатели, радиаторы, двигатели, триоды, конденсаторы и пр.

Точка, в которой соединяются элементы, называется **узлом**. В узлах не происходит никакого накопления, преобразования или рассеивания энергии; они похожи на абстрактные точки системы координат. Узлами, например, являются зажимы, контакты и клеммы для присоединения электрических проводников. В системном анализе практически каждое РЭС можно представить состоящим из элементов, узлов и подсистем.

Взаимодействие элементов в процессе функционирования сложного РЭС рассматривается как результат совокупности воздействий каждого элемента на другие элементы. Воздействие, представленное некоторым набором характеристик, называют *сигналом*. Каждый элемент РЭС в общем случае может принимать входные сигналы и выдавать выходные. Сигналы передаются по каналам связи, проложенным между элементами сложного РЭС.

Формально любая совокупность элементов данного РЭС может рассматриваться как ее *подсистема*. Обычно подсистемы являются некоторыми самостоятельно функционирующими частями РЭС. Например, в приемопередающей аппаратуре можно выделить подсистемы, соответствующие отдельным контурам усиления или детектирования. Правильное выделение подсистем сложного РЭС способствует упрощению расчетов при исследовании и более наглядной интерпретации его результатов. Подсистема составляется в виде структуры из элементов и целиком входит в полную управляемую систему. Поскольку подсистема – это самая крупная, функционирующая отдельно от общих связей, структурная единица, важным этапом работы является ее *декомпозиция*, основанная на сборе фактов, выявлении и оценке различных воздействующих факторов. Как правило, в ходе исследования приходится разделять РЭС на составные части, т.е. выполнять декомпозицию, а затем обследовать каждую часть в отдельности и объединять полученные сведения в единое целое.

Общая идея построения РЭС отображается в виде *логической структурной схемы системы*. Принято строить такую схему по модульному принципу, т.е. в виде совокупности стандартных блоков-модулей. Такой подход достаточно эффективен, логически оправдан и может быть легко осуществлен и проверен. При этом можно строить и совершенствовать схему РЭС итерационным методом, добавляя к основной схеме блок за блоком. Построение схемы из стандартных блоков дает возможность экспериментировать при ее реализации и в процессе машинной имитации.

При построении блочной схемы РЭС разделяют ее функции на логические подфункции с более высоким уровнем детализации. Каждое РЭС может быть разделена на *блоки*, а блоки – на *подблоки*. Этот процесс деления блоков на подблоки продолжается до необходимого уровня детализации описания РЭС. Таким образом, система функционально подразделяется на подсистемы. Используя современные языки программирования, можно получить модель РЭС, максимально приближенную к изучаемой системе (как в структурном, так и терминологическом отношении).

Представление исследуемого объекта в виде многоуровневой конструкции из элементов обычно называют *структуризацией объекта*. Структуризация – первый шаг на пути формального описания сложного РЭС. Другие необходимые шаги связаны с *формализацией элементов РЭС и взаимодействий между ними*. В структурированной системе объектами материального мира являются только элементы.

При декомпозиции сложных РЭС удобно расчленять их на типовые элементы, в которых протекают сходные между собой процессы. Для выделения типовых элементов (процессов) и определения их природы используют несколько основных критериев:

- 1) общность математического описания (модели) процессов, т.е. идентичность материальных и энергетических связей. Такая общность описания учитывает физико-химические особенности процессов;
- 2) общность аппаратурно-технологического оформления процессов, отражающая их целевое назначение и условия реализации;
- 3) общность особенностей автоматического управления, которая связана с природой процессов.

Далее выясняется, какие классы объектов должны находиться в РЭС, и какими параметрами каждый из них характеризуется; выбираются входные и выходные переменные. Обычно выходные переменные системы выбрать нетрудно, так как они определяются уже в процессе формулировки целей исследования. Чем меньше входных переменных, тем легче процесс исследования. Однако, если входных переменных слишком мало, модель РЭС может стать неадекватной реальности (см. п. 2.3.2), если слишком много, – из-за недостаточных аппаратных ресурсов ЭВМ или сложности вычислительных процедур машинная имитация оказывается нереализуемой.

Если некоторые первоначально выбранные подсистемы оказываются чрезмерно сложными, каждую из них расчленяют (с сохранением связей) на конечное число более мелких подсистем нижнего уровня. Процедуру расчленения подсистем продолжают до получения таких подсистем, которые в условиях данной задачи будут признаны достаточно простыми и удобными для непосредственного математического описания. Подсистемы, не подлежащие дальнейшему расчленению, являются, как это сказано выше, элементами сложной системы. Таким образом, в общем случае сложное РЭС является многоуровневым, состоящим из взаимосвязанных элементов, объединяемых в подсистемы различных уровней.

Использование понятия многоуровневого РЭС существенно расширяет возможности формального описания и моделирования. При этом объекты большой сложности становятся предметом системного анализа, точного математического расчета. Они могут быть подвергнуты (с помощью ЭВМ) различным количественным исследованиям.

При исследовании РЭС, состоящих из отдельных функциональных блоков, возможны два подхода в зависимости от назначения РЭС:

Структурный подход – исследование внутреннего строения блока. В этом случае должен быть отражен механизм взаимодействия узлов, элементов и деталей рассматриваемого блока; должны быть исследованы как внутренняя структура блока, так и функционирование его элементов. Этот подход должен применяться тогда, когда задачей исследования является, например, проверка структуры блока, правильности взаимодействия его частей и общей

логики работы РЭС. Критерием правильности структуры блока является выполнение блоком заданной в ходе исследования функции.

Функциональный подход – исследование функции блока. В этом случае блок рассматривается как «черный ящик», его внутренний механизм может не изучаться; задается лишь передаточная функция блока в целом. Этот подход применим к тем блокам, внутреннее содержание которых не описывается в данном исследовании. Такие блоки рассматриваются как неделимые элементы РЭС.

Выбор того или иного подхода к исследованию функциональных блоков зависит от поставленной задачи. В ряде случаев моделирующий алгоритм бывает настолько сложным для реализации с помощью имеющихся в наличии вычислительных средств, что требуется изменить формулировку исходной задачи исследования для упрощения математического описания. Это упрощение часто достигается путем сокращения полноты описания РЭС при исключении из него части параметров или взаимодействий исследуемого объекта.

Рассмотрим пример структуризации РЭС на примере электронных часов с индикацией часов, минут и секунд [4].

Структуризацию системы начнем с рассмотрения электронных часов в виде «черного ящика» (рисунок 2.14). К входным параметрам системы относятся тактовые импульсы CLOCK с периодом 1 с. Управляющие параметры системы – сигнал сброса RESET. Возмущающие параметры системы - внешние воздействия (температура, давление, влажность и т.д.), а также напряжение питания +5 В. К выходным параметрам системы относится шестirazрядное двоично-десятичное число в формате XX:YY:ZZ, которое соответствует показаниям часов, минут и секунд. В данной системе для упрощения анализа сделаны следующие допущения:

- при дальнейшем анализе возмущающие воздействия не рассматриваются;
- каждый разряд двоично-десятичного числа формируется четырехразрядной шиной.

Данная система состоит из трех компонентов (рисунок 2.15) – часовой счетчик X1, минутный счетчик X2 и секунднй счетчик X3. Если продолжить процесс декомпозиции, то на третьем иерархическом уровне можно выделить схемы электрические принципиальные часового, минутного и секундного счетчиков (рисунок 2.16, 2.17). Отметим, что структурный состав компонентов X2 и X3 идентичный. На четвертом иерархическом уровне располагается схема электрическая принципиальная счетчика 0-5 (рисунок 2.18). Таким образом, в процессе декомпозиции выяснилось, что РЭС «электронные часы» обладает четырьмя иерархическими уровнями.

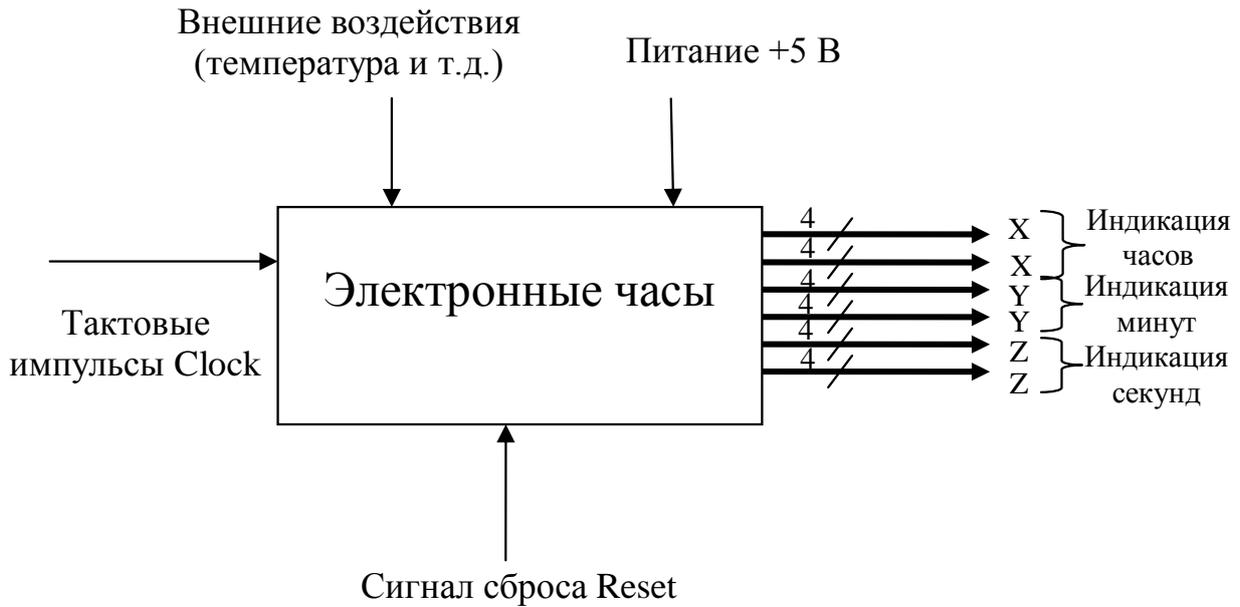


Рисунок 2.14 – Первый иерархический уровень – РЭС «электронные часы»

Функциональная зависимость, которая описывает соотношения между параметрами данной системы, является детерминированной и может быть представлена следующим образом. Время в электронных часах t есть функция от частоты f (или периода T) тактированных импульсов:

$$t = F(U_{CLOCK}[T]),$$

$$U_{CLOCK} = \begin{cases} 0, & 0 < \tau \leq \frac{T}{2}; \\ 1, & \frac{T}{2} < \tau \leq T, \end{cases}$$

где $T = 1$ с – период тактированных импульсов.

Ограничения в РЭС «электронные часы» связаны с тем, что в отличие от обычного десятичного счета в электронных часах некоторые разряды обладают троичной и шестиричной системой счисления. В частности, область значений на выходных цифровых шинах А, В, С, D, E, F (рисунок 2.15) должна быть следующей:

- A $\in \{0000, 0001, 0010\}$ - цифры 0, 1, 2;
- B $\in \{0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001\}$ - цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9;
- C $\in \{0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101\}$ - цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5;
- D $\in \{0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001\}$ - цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9;
- E $\in \{0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101\}$ - цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5;
- F $\in \{0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001\}$ - цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Указанные ограничения относятся к искусственным, поскольку вводятся инженером-схемотехником.

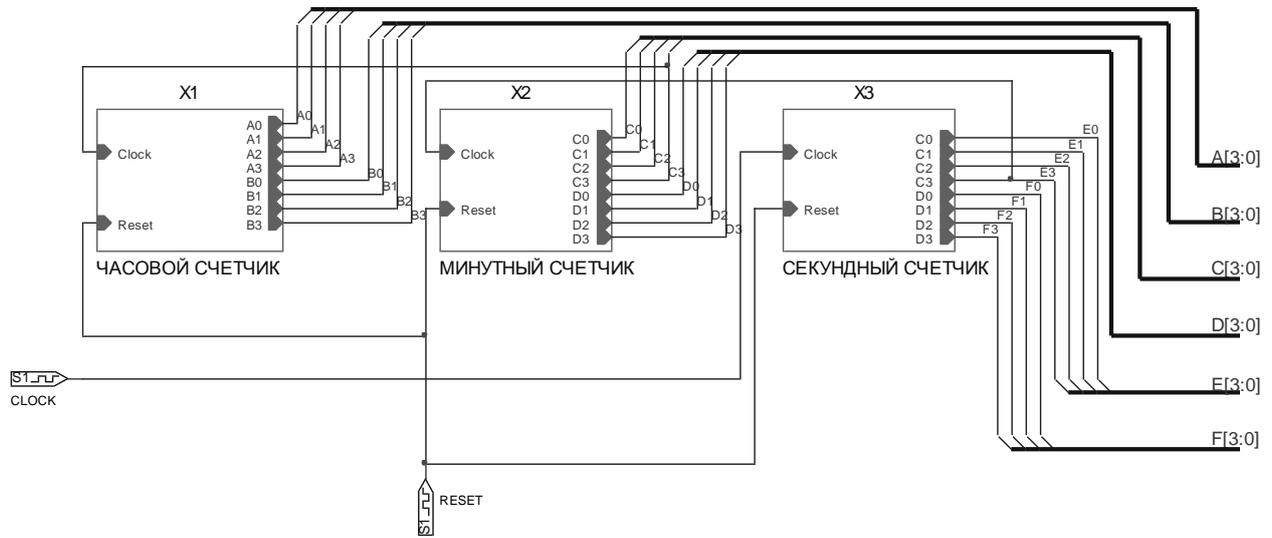


Рисунок 2.15 – Второй иерархический уровень – компоненты РЭС «электронные часы»

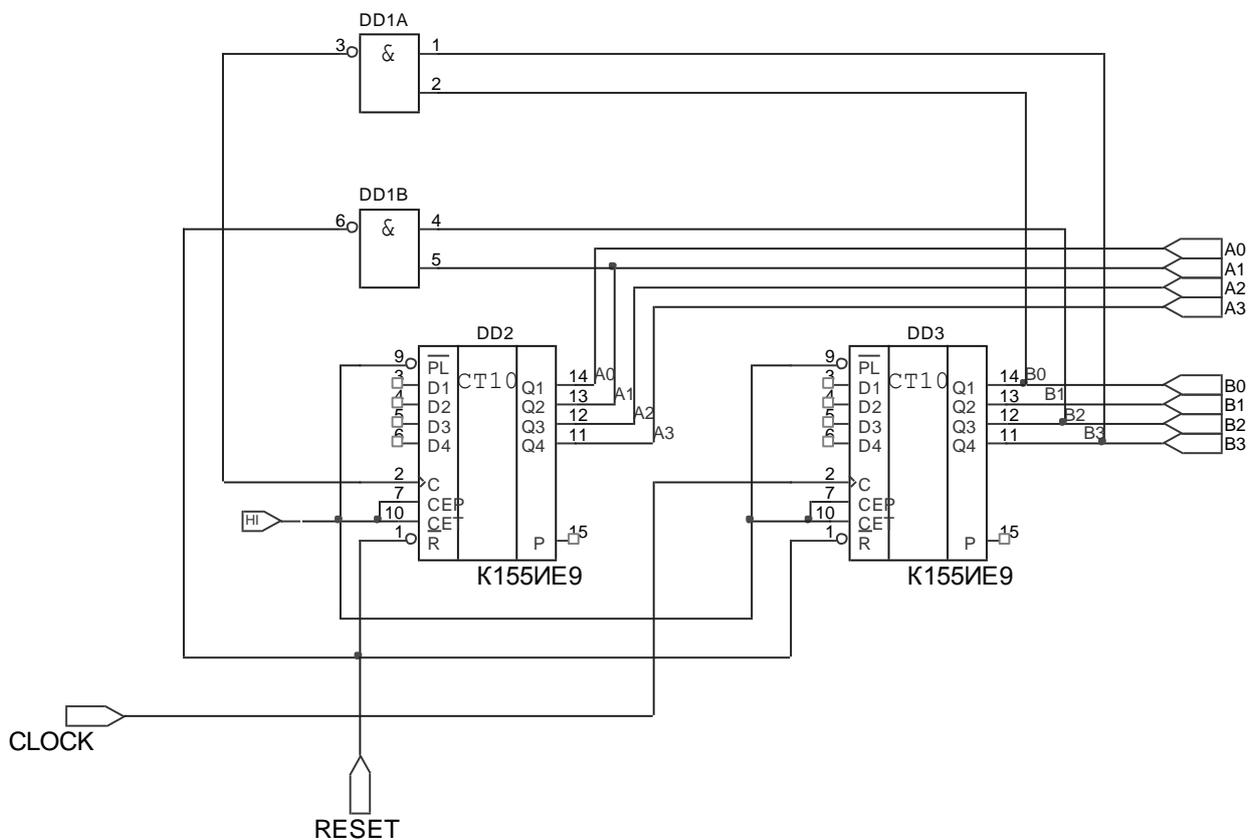


Рисунок 2.16 – Третий иерархический уровень – часовой счетчик

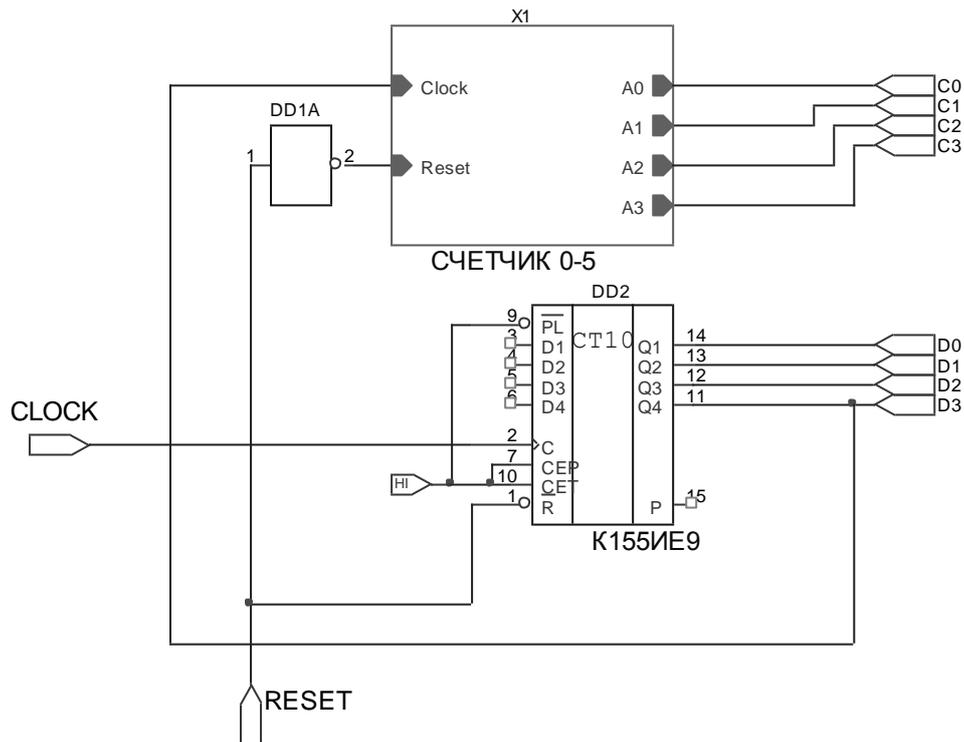


Рисунок 2.17 – Третий иерархический уровень – минутный счетчик

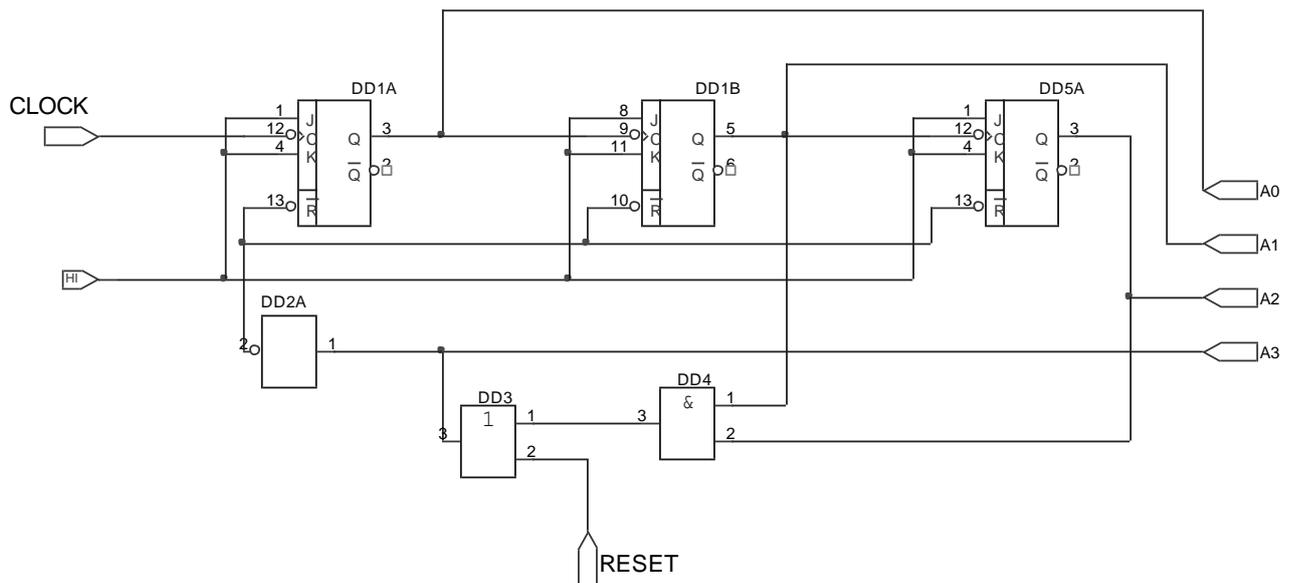


Рисунок 2.18 – Четвертый иерархический уровень – счетчик 0-5

Пусть $\Delta U_{\text{ПИТ}}$, $[\Delta Q]$, Δf – абсолютные погрешности, соответственно, напряжения питания U , параметров внешних воздействий $[Q]$ (вектор значений) и частоты тактовых импульсов f . Тогда относительные погрешности указанных величин будут: $\frac{\Delta U_{\text{ПИТ}}}{U_{\text{ПИТ}}}$, $\left[\frac{\Delta Q}{Q} \right]$, $\frac{\Delta f}{f}$. Очевидно, что относительная погрешность хода электронных часов $\frac{\Delta t}{t}$ есть функция от аргументов

$\frac{\Delta U_{ПИТ}}{U_{ПИТ}}, \left[\frac{\Delta Q}{Q} \right], \frac{\Delta f}{f}$. Исходя из этого целевая функция РЭС «электронные часы» может быть сформулирована как минимизация относительной погрешности хода часов $\frac{\Delta t}{t}$ при отклонении параметров $U_{ПИТ}, [Q], f$ от номинальных значений:

$$\frac{\Delta t}{t} = f \left(\frac{\Delta U_{ПИТ}}{U_{ПИТ}}, \left[\frac{\Delta Q}{Q} \right], \frac{\Delta f}{f} \right) \Rightarrow 0.$$

Состав рассматриваемой системы является гетерогенным по своему физическому представлению, т.е. содержит разнотипные элементы. Это связано с тем, что часть элементов - это электрорадиоэлементы с физическим представлением в виде корпуса. Другая часть элементов системы – это логические примитивы, не имеющие законченного физического представления и входящие в состав интегральной микросхемы.

Элементы в виде корпуса интегральной микросхемы: декадные двоично-десятичные счетчики К155ИЕ9 (рисунок 2.16, 2.17). Элементы в виде логических примитивов: JK-триггеры, элементы НЕ, ИЛИ, И, 2И-НЕ (рисунок 2.16 – 2.18).

В данной системе имеются прямые и обратные связи. К прямым связям можно отнести, например, выходные шины А[3:0] – F[3:0] (рисунок 2.15). Обратными связями являются сигналы, снимаемые с линий С3, Е3 и подаваемые на вход CLOCK блоков X1 и X2.

Понятие «узел» для рассматриваемой системы совпадает с аналогичным понятием для любой электрической схемы – место соединения более чем двух электрорадиоэлементов.

Входные, управляющие и выходные параметры системы являются цифровыми сигналами с двумя логическими состояниями. Возмущающие параметры системы являются сигналами аналогового свойства.

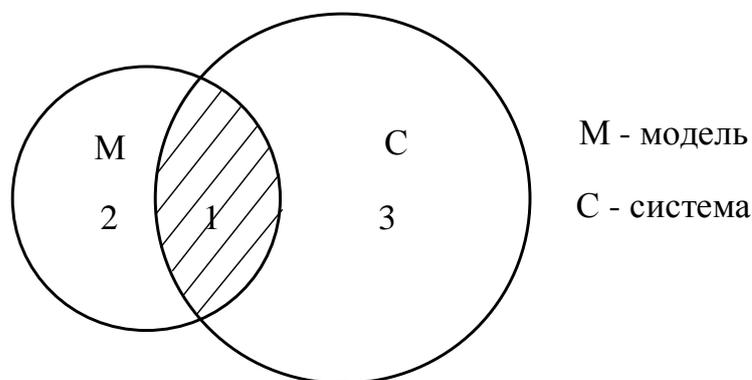
Подводя итог вышесказанному, отметим, что основная цель разбиения полного РЭС на элементы, блоки и подсистемы – это построение ограниченного набора соотношений между характеристиками РЭС. В общем случае для полного сложного РЭС эта задача оказывается непосильной. Поэтому обычно приходится расчленять систему на большое количество составных частей, математическое описание которых может быть выполнено.

2.3 Моделирование систем РЭС

2.3.1 Классификация моделей

В рамках системного анализа выявляется и исследуется целенаправленность в развитии системного объекта. Для данного исследования требуется моделирование проектируемой системы. При моделировании часто рассматриваются целенаправленные системы, то есть системы, которым безразлично, в каком состоянии они находятся. Так или иначе, они стремятся к некоторому целесообразному поведению, направленному на достижение наиболее предпочтительных состояний.

Модель – это представление системы, которое позволяет человеку достигнуть поставленную цель. Рассмотрим графическую модель любой технической системы и ее соотношения с моделью (рисунок 2.19).



1- область истинности; 2 – область виртуальности; 3 – область недостаточности

Рисунок 2.19 – Модель системы

Первая область – область истинности модели (адекватности моделируемой системе). Вторая область – область виртуальности модели (область возможных гипотез о функционировании системы). Третья область – область недостаточности модели (присуще системе, но не присуще модели).

Таким образом, каждая модель должна обладать некоторой степенью адекватности с точки зрения ее функционирования. Модель – это адекватное, целевое отображение системы. Если совместить области 3 и 2, то получится модель, которая идеально отражает свойства системы, например, вечный двигатель, абсолютно черное тело и т.п. Таковую модель назовем идеальной. Идеальная модель – это модель с высшей целью, которую невозможно достигнуть.

Общая **классификация** современных моделей показана на рисунке 2.20 [5]. Модели подразделяют на две основные группы: вещественные (материальные, приборные) и символические (языковые).

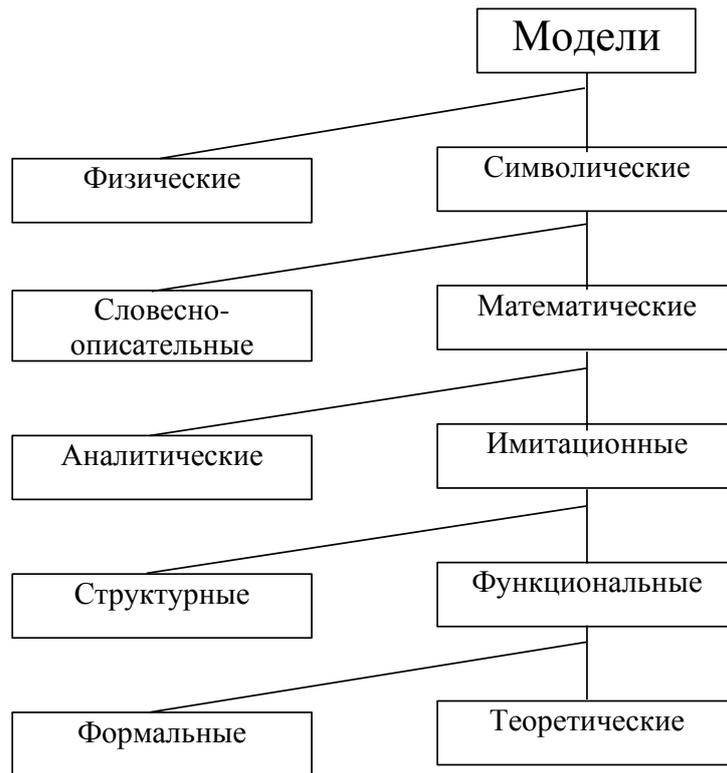


Рисунок 2.20 – Общая классификация моделей

Физические модели часто называют просто «модели» (авиамодели, автомодел и пр.). Примерами физических моделей являются также пилотные установки (для изучения химических процессов), полигоны с соответствующими макетами для испытаний машин, макеты городов и т.д. Широкое проведение моделирования связано с построением специальных аналоговых или цифровых устройств и моделей установок, входящих также в класс физических моделей.

Пример физической модели представлен на рисунке 2.21 – макет радиоприемника, прототип которого выпускался в 1925 году фирмой Loewe (Германия) [3].



Рисунок 2.21 – Физическая модель – макет радиоприемника

В символических моделях фиксация, построение, описание объекта или явления даются на том или ином языке. При этом не имеет значения, на каком конкретном языке описан тот или иной объект, так как переход с одного языка описания объекта на другой не представляет принципиальных трудностей.

Примерами символических моделей являются, например, чертеж изделия, схема технологической обработки, географические карты, описания, данные на разговорном языке и т.д.

Символические модели делятся на модели словесно-описательные и математические.

К словесно-описательным (дескриптивным) моделям относятся технические задания, пояснительные записки к проектам и отчетам, постановки задач в словесно-описательной форме. Такие модели позволяют достаточно полно описать объект или ситуацию, однако их невозможно использовать непосредственно для анализа процессов формализованным путем с помощью ЭВМ. Поэтому словесно-описательные модели обычно преобразуют в математические для удобства дальнейшего оперирования с ними.

Пример словесно-описательной модели – фрагмент технического задания на разработку прецизионного источника опорного напряжения [6].

Прецизионный источник опорного напряжения должен обладать следующими параметрами:

- напряжение питания $U_{\text{ПИТ}} = 12 \div 15 \text{ В}$;
- напряжение стабилизации $U_{\text{СТАБ}} = 10 \text{ В}$;
- номинальный ток нагрузки $I_{\text{Н}} = 100 \text{ мА}$;
- ток срабатывания схемы защиты от перегрузки $I_{\text{ЗАЩ}} = 200 \text{ мА}$.

Математическими моделями называются комплексы математических зависимостей и знаковых логических выражений, отображающих существенные характеристики изучаемого явления. Во многих случаях математические модели наиболее полно отображают объект. Примером являются системы алгебраических и дифференциальных уравнений. Поскольку последние представляют собой наиболее абстрактные и, следовательно, наиболее общие модели, математические модели широко применяются в системных исследованиях.

Однако каждое применение математической модели должно быть обоснованным и осторожным: модель всегда является абстрактной идеализацией задачи, поэтому при решении последней необходимы некоторые упрощающие предположения, которые могут привести к тому, что модель не будет служить действительным представлением данной задачи.

Математические модели могут быть аналитическими или имитационными. При использовании **аналитических моделей** процессы функциониро-

вания элементов сложной системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений (алгебраических, интегро-дифференциальных, конечно-разностных и т.п.) или логических условий. Аналитическая модель может исследоваться одним из следующих способов:

1) аналитически, – когда получают в общем виде явные зависимости для искомых величин;

2) численно, – когда, не имея решения уравнений в общем виде, применяют средства вычислительной техники, чтобы получить числовые результаты при конкретных начальных данных;

3) качественно, – когда, не имея решения в явном виде, можно найти некоторые свойства решения, например, оценить устойчивость решения и т.п.

Пример аналитической математической модели. Дана линейная подсистема РЭС (рисунок 2.22). Требуется определить токи в ветвях и узловые потенциалы.

Одним из способов определения токов в ветвях для представленной схемы является применение законов Кирхгофа. Таким образом, аналитическая математическая модель сводится к записи системы топологических уравнений:

$$\begin{cases} I1 = I2 + I3; \\ I2 + I4 = I5; \\ I3 = I4 + J1; \\ E1 = I1 \cdot R1 + I2 \cdot R2 + I5 \cdot R4; \\ 0 = I3 \cdot R3 + I4 \cdot R5 - I2 \cdot R2, \end{cases}$$

$$U1 = E1 - I1 \cdot R1; U2 = U1 - I2 \cdot R2; U3 = U1 - I3 \cdot R3.$$

Поскольку данная подсистема РЭС линейная, то ее аналитическая математическая модель составлена из алгебраических уравнений.

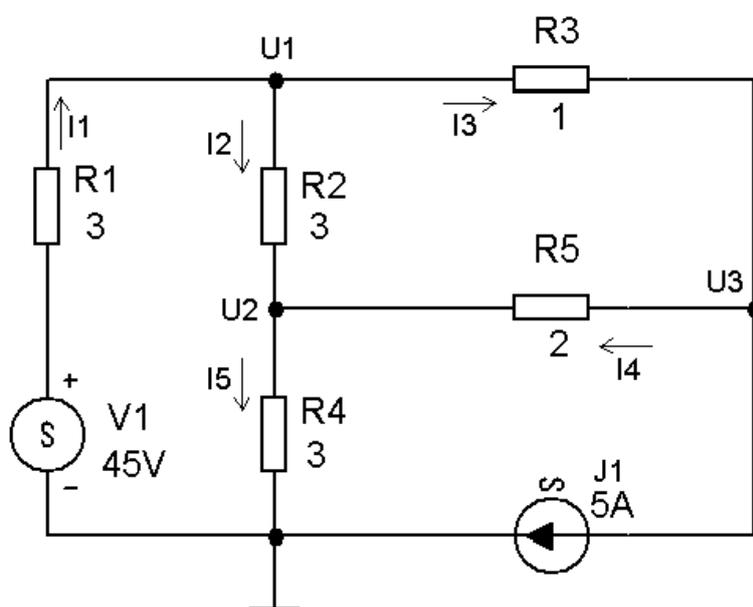


Рисунок 2.22 – Линейная подсистема РЭС

При использовании *имитационных моделей*, в отличие от аналитических, в ЭВМ воспроизводится текущее функционирование технической системы в некотором масштабе времени. При этом требуется воспроизводить входные воздействия в виде наборов чисел – реализаций процессов (а не числовых характеристик, как при аналитическом моделировании). В зависимости от характера решаемой задачи в процессе имитационного моделирования с различной степенью точности воспроизводятся и промежуточные преобразования сигнала. Например, если при анализе динамического режима работы блока на его вход подается набор чисел, отображающий процесс с заданной корреляционной функцией, то в ходе моделирования получается реализация выходного процесса, по которой в случае необходимости может быть дана выборочная оценка корреляционной функции выходного сигнала.

Имитационное моделирование напоминает физический эксперимент. Отсюда первое достоинство имитационных моделей – наглядность результатов моделирования (как окончательных, так и промежуточных). Если при аналитическом моделировании обеспечивается подобие характеристик объекта и модели, то при имитационном – подобие имеется в самих процессах, протекающих в модели и реальном объекте.

Одно из основных достоинств имитационных моделей – возможность моделирования даже в тех случаях, когда аналитические модели либо отсутствуют, либо (из-за сложности системы) не дают практически удобных результатов. Достаточно просто при имитационном моделировании реализуются алгоритмы обработки результатов измерений для выработки, например, управляющих воздействий в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП), что позволяет оценить точностные характеристики управляющих сигналов. При наличии соответствующих данных можно включить в сферу моделирования объект, управляемый АСУТП, и тем самым оценить качество управления объектом по некоторому показателю эффективности.

Имитационное моделирование позволяет учесть влияние большого числа случайных и детерминированных факторов, а также сложных зависимостей при вводе в модель соответствующих элементов и операций. С точки зрения сбора статистических данных имитационная модель дает возможность проводить активный эксперимент с помощью целенаправленных изменений параметров модели на некотором множестве реализаций. Последнее позволяет исследовать оптимизируемые функции качества (функционалы) системы с помощью ЭВМ.

Для анализа функциональных зависимостей с помощью полученного в результате моделирования ряда числовых результатов могут быть использованы методы поиска: регулярные методы, методы случайного поиска и методы теории статистических решений. Таким образом, в отличие от решения отдельных задач имитационное моделирование на ЭВМ является качественно более высокой степенью изучения сложных систем и применения ЭВМ.

При решении ряда задач могут применяться имитационные математические модели, отображающие только структурные свойства объекта. Такие **структурные модели** могут иметь форму матриц, графов, списков векторов и выражать возможное расположение элементов в пространстве, непосредственные связи между элементами в виде проводников, шин, волноводов и т.п. Структурные модели используют в случаях, когда задачи структурного синтеза удается ставить и решать, не учитывая особенности физических процессов в объекте.

Пример структурной имитационной модели [7]. На рисунке 2.23, а представлен однокаскадный усилитель. На схеме усилителя семь точек соединений (семь электрических узлов). Если узлы изобразить в виде вершин правильного семиугольника, то сами электрорадиоэлементы можно представить в виде сторон или диагоналей этой фигуры – графа. Если показать все возможные соединения между вершинами графа, то получится чертеж (рисунок 2.23, б), на котором толстыми линиями показан реализованный граф соединений. Использование структурных имитационных моделей в виде графов особенно удобно на этапе конструирования РЭС, в частности, при компоновке блоков РЭС, размещении ЭРЭ и трассировки печатных проводников. Заметим, что графовая модель не дает представления о происходящих физических процессах в РЭС.

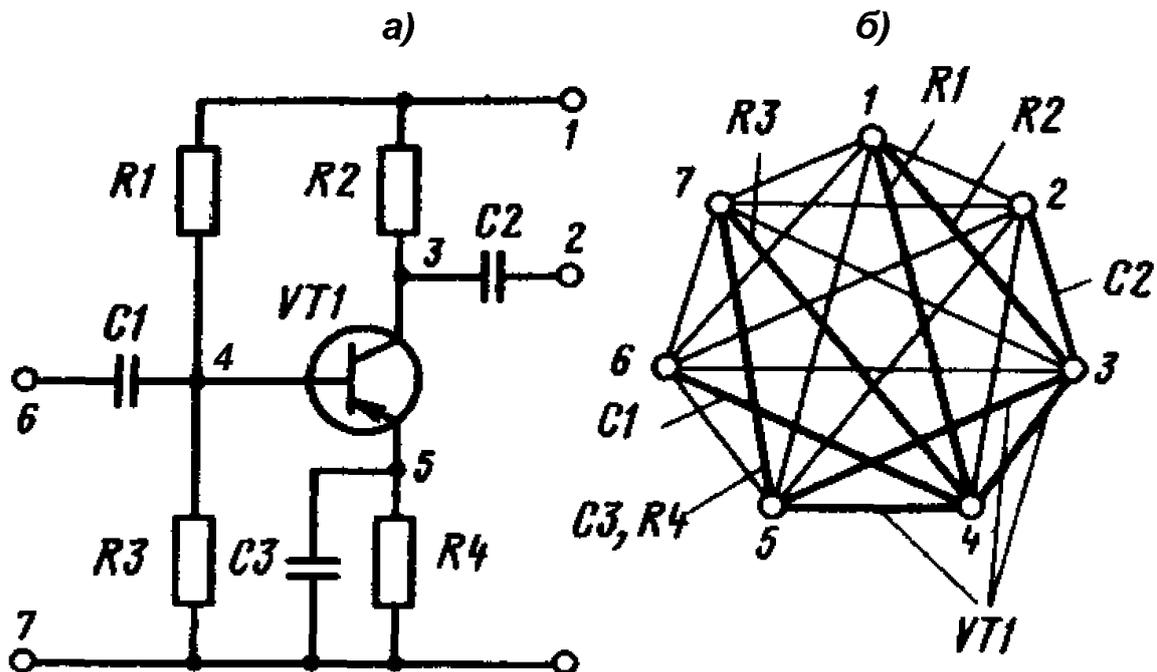


Рисунок 2.23 – Структурная имитационная модель

При моделировании сложных объектов возрастает объем входной информации (описание связей, задание параметров элементов модели и т.д.). Укрупненность же элементов моделей приводит к разрастанию необходимой номенклатуры элементарных моделей, к увеличению объема моделирующей программы. Компромиссным вариантом может быть соответствие разбиения

модели делению моделируемой системы на функциональные блоки. **Функциональные модели** отображают как структуру, так и процессы функционирования объекта и чаще всего имеют форму систем уравнений.

По способам получения функциональные математические модели делят на теоретические и формальные. **Теоретические модели** получают на основе изучения физических закономерностей; структура уравнений и параметры моделей имеют определенное физическое толкование. **Формальные модели** получают на основе проявления свойств моделируемого объекта во внешней среде. Теоретический подход в большинстве случаев позволяет получать математические модели более универсальные, справедливые для широких диапазонов изменения внешних параметров. Формальные модели по сравнению с теоретическими более точны в окрестностях той точки пространства параметров, вблизи которой они определялись, но менее точны вдали от этой точки.

Пример формальной и теоретической функциональных моделей. Требуется разработать функциональную модель звена второго порядка. Рассмотрим способы представления функциональных моделей с помощью программы схемотехнического моделирования PSpice A/D [8]. Если заранее известна передаточная функция звена, то можно применить стандартный для программы PSpice A/D функциональный блок LAPLACE (рисунок 2.24, а). Функциональный блок LAPLACE позволяет задавать в аналитическом виде и рассчитывать с помощью преобразования Лапласа передаточную функцию какого-либо звена. При этом определяются значения комплексного коэффициента передачи звена на каждой частоте (рисунок 2.24, в).

Если требуется более детальная проработка звена второго порядка, следует составить теоретическую функциональную модель (рисунок 2.24, б). В этом случае функциональная модель состоит из образов реальных электрорадиоэлементов, которые описываются соответствующими математическими выражениями. Реализуемая функция теоретической функциональной модели совпадает с реализуемой функцией формальной функциональной модели (рисунок 2.24, в).

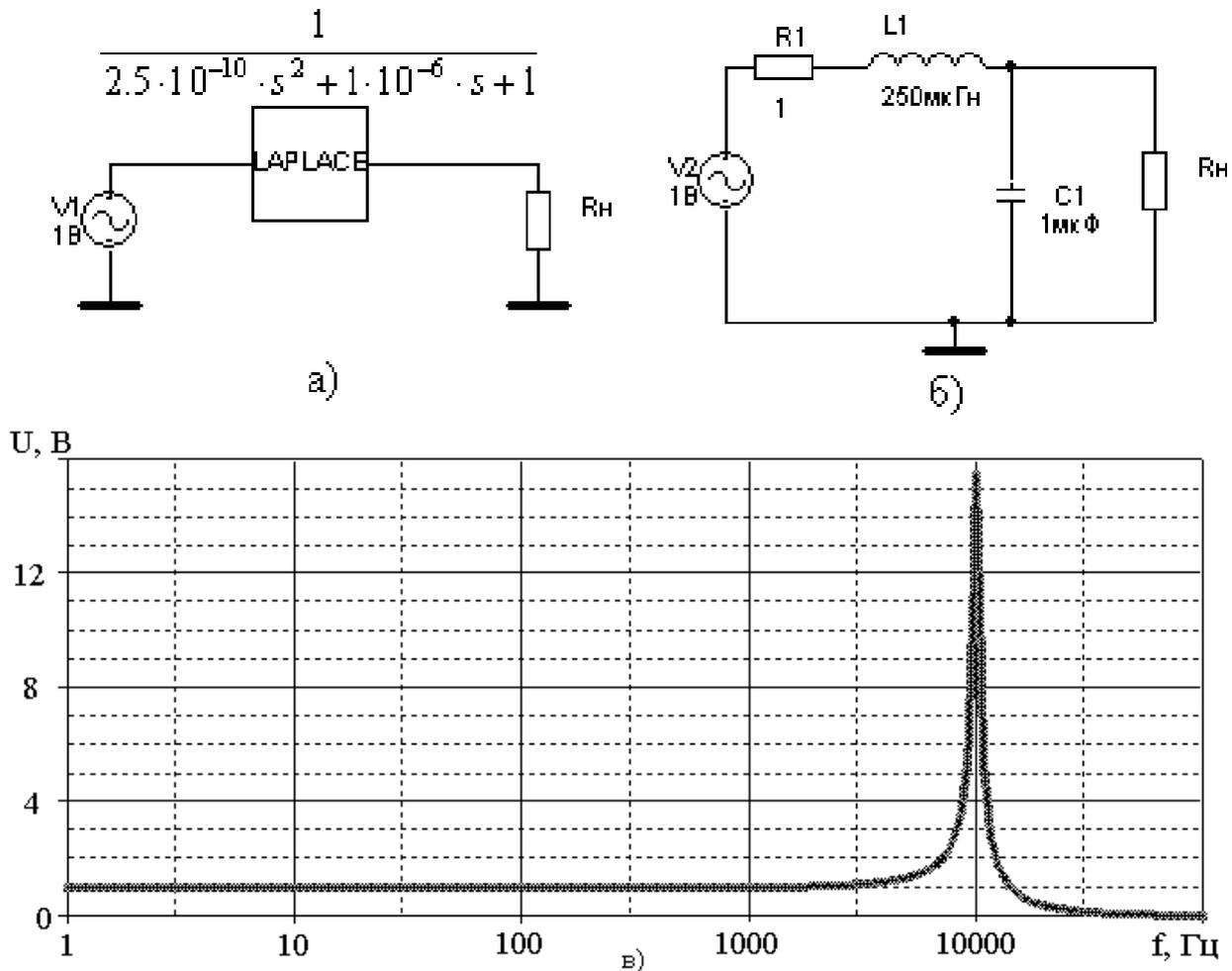
Следует акцентировать внимание на следующих важных особенностях приведенных выше функциональных моделей:

1. Применение функциональных моделей избавляет исследователя от составления громоздких аналитических моделей.

2. Формальная функциональная модель (рисунок 2.24, а) используется только для проявления свойств исследуемого звена. Теоретическая функциональная модель (рисунок 2.24, б) дает физическое толкование наблюдаемого процесса, поскольку можно видеть как структуру звена, так и процесс его функционирования.

3. Представленные функциональные модели нельзя рассматривать в отрыве от их внутреннего содержания – комплекса математических выражений, заложенного в программе схемотехнического моделирования. В противном случае, внешнее проявление таких моделей можно было бы трактовать

как символические модели, а внутреннее проявление – как аналитические, что в принципе неверно.



а) – внешнее проявление формальной модели; б) – внешнее проявление теоретической модели; в) – реализуемая функция

Рисунок 2.24 – Функциональные модели в программе PSpice A/D

Математические модели классифицируются в соответствии с теми характеристиками моделируемого объекта, которые обуславливают применение того или иного математического аппарата при его моделировании. Рассмотрим следующие виды моделей: стационарные и нестационарные; динамические; линейные и нелинейные; распределенные и сосредоточенные в пространстве; непрерывные и дискретные во времени; непрерывные и дискретные по величине; детерминированные и случайные; информационные.

Стационарные и нестационарные модели. Если свойства преобразования входных сигналов (функций), т.е. структура и свойства оператора $A\{ \}$, не изменяются со временем, то систему и ее модель называют стационарной; в противном случае – нестационарной. Реакция стационарной системы на любой заданный тип возмущения зависит только от интервала времени между моментом начала действия входного возмущения и данным моментом време-

ни, т.е. свойство стационарности означает, что процесс преобразования входных сигналов (функций) инвариантен относительно сдвига как от текущего времени, так и от момента приложения входного сигнала. Реакция нестационарной системы зависит как от текущего времени, так и от момента приложения входного сигнала. В этом случае при сдвиге входного сигнала во времени (без изменения его формы) выходные сигналы не только сдвигаются во времени, но и изменяют свою форму.

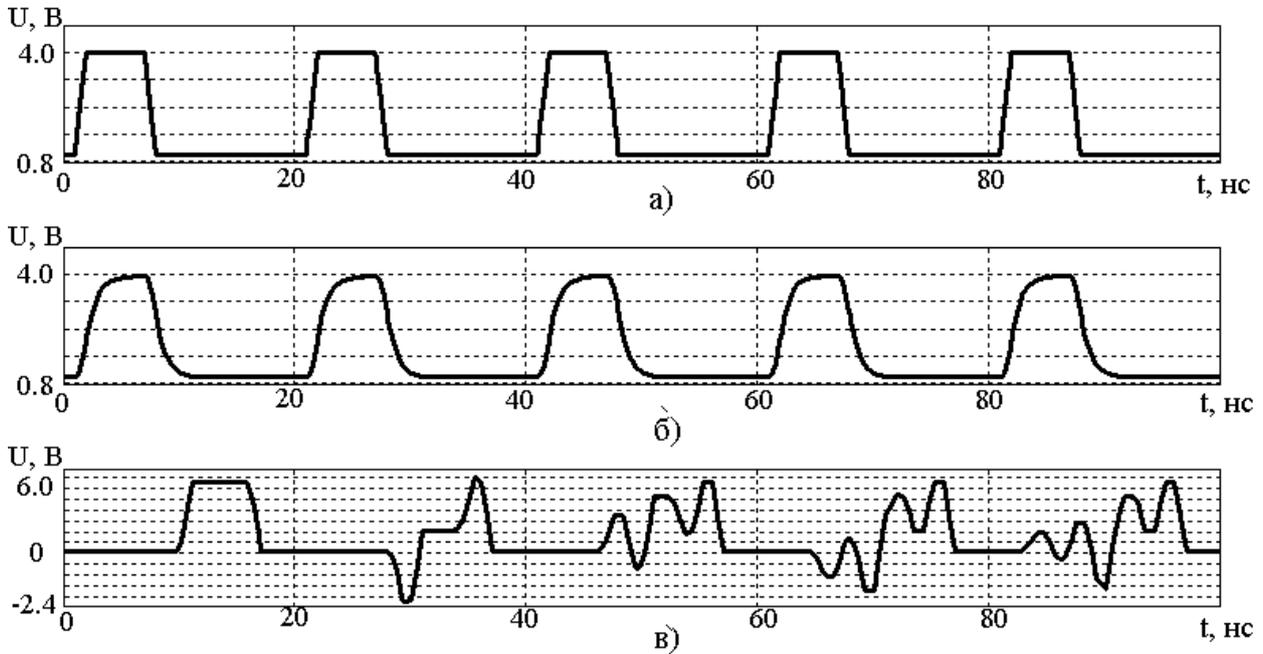
Пример стационарной и нестационарной модели. Ко входу линии передачи длиной 50 м приложено импульсное напряжение с амплитудой 4В, частотой 50 МГц и длительностью импульса 5 нс (рисунок 2.25, а). Для исследования линии передачи с потерями используем соответствующую модель, встроенную, например, в программу схемотехнического моделирования MicroCAP 7 [9]. Рассмотрим два случая. В первом случае линия передачи обладает погонным сопротивлением 0.2 Ом/м, погонной емкостью 3.65 пФ/м и пренебрежимо малой погонной индуктивностью. Во втором случае линия передачи обладает такими же значениями R , C и погонной индуктивностью 9.13 нГн/м. По этим данным аналитически рассчитывается комплексный коэффициент передачи линии. Анализ переходных процессов производится с помощью интеграла свертки с импульсной характеристикой линии, которая вычисляется как преобразование Фурье коэффициента передачи.

В итоге модель линии передачи с пренебрежимо малой погонной индуктивностью представляет собой стационарную модель (рисунок 2.25, б) – свойства преобразования входных сигналов не изменяются со временем. Модель линии передачи с конечным значением погонной индуктивности демонстрирует свойства нестационарной модели (рисунок 2.25, в) – выходной сигнал не только изменяет свою форму с каждым периодом (появление новых гармоник), но и сдвигается по фазе.

К стационарным моделям можно обычно отнести и модели одномоментные, используемые в тех случаях, когда моделируется система, для которой необходимо получить какое-то решение в определенный момент времени. Примером могут служить системы управления запасами комплектующих, в которых одномоментные модели применяются повсеместно (определение однократного объема заказа на пополнение электрорадиоэлементов или времени подачи заказа).

Частным случаем стационарных моделей являются модели *статические*, которые включают описание связей между основными переменными процесса в установившихся режимах (в равновесном состоянии без изменения во времени). Например, математическое описание статики электротеплодинамического процесса состоит обычно из трех видов уравнений: электрического, материального и теплового балансов, термодинамического равновесия системы (характеристика движущей силы) и скоростей протекания процессов. Линейная подсистема РЭС, представленная на рисунке 2.22, также является типичным представителем статических моделей. Для расчетов медленных процессов или процессов, протекающих с небольшими отклонениями

от стабильных условий, принимается допущение, позволяющее считать процесс стационарным. Подобное допущение принимается, например, для расчета теплового баланса РЭС с достаточно большим значением постоянной времени.



- а) – импульсы входного напряжения;
 б) – импульсы выходного напряжения в линии с $R = 0.2$ Ом/м, $C = 3.65$ пФ/м, $L \approx 0$;
 в) – импульсы выходного напряжения в линии с $R = 0.2$ Ом/м, $C = 3.65$ пФ/м, $L = 9.13$ нГн/м

Рисунок 2.25 – Распространение сигнала в линиях передач с потерями

Стационарные математические модели (кроме статических) обычно состоят из дифференциальных уравнений, статические – из уравнений алгебраических.

Динамические модели позволяют рассчитать стационарные или нестационарные режимы объектов. Стандартные динамические модели включают переменные и соотношения между ними:

- 1) вектор независимых переменных X ;
- 2) добавочную независимую переменную t , называемую временем, хотя она может не представлять физическую временную размерность;
- 3) вектор неизвестных параметров θ ;
- 4) вектор переменных Y состояния системы, который является функцией от t , X и θ .

Эти функции, например, определяются неявно с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка

$$Y = dY/dt = h(t, X, Y, \theta),$$

где X – вектор заданных функций, и системы начальных условий $Y(0) = Y_0(X, \theta)$. Здесь Y_0 – вектор заданных функций;

5) вектор наблюдаемых переменных Z , точными значениями которых Z_T являются заданные функции от переменных состояния и от других переменных: $Z_T = Z_T(t, X, Y, \theta)$.

Общеизвестный специальный случай – когда переменные состояния наблюдаются непосредственно, т.е. $Z = Y$.

Стандартные динамические модели характеризуются множеством переменных состояния системы, которые изменяются со временем (или в зависимости от некоторой другой независимой переменной) в соответствии с определенными дифференциальными уравнениями первого порядка. Начальные условия могут быть известны полностью или частично. Состояние системы наблюдается в различные моменты времени, но иногда переменные состояния не являются непосредственно измеряемыми, и вместо них приходится измерять связанные с ними наблюдаемые переменные. Неизвестные параметры могут появляться в начальных условиях, в дифференциальных уравнениях и в уравнениях наблюдений. В последнем случае они представляют неизвестные характеристики измерительных приборов, например константы калибровки.

Если в модели объекта содержатся дифференциальные уравнения порядка выше первого, сложность их анализа возрастает с ростом порядка уравнения (или с ростом числа дифференциальных уравнений в системе, поскольку уравнение m -го порядка можно преобразовать в систему из m уравнений 1-го порядка). Другая трудность, возникающая иногда при анализе систем дифференциальных уравнений, связана с особенностями задания начальных условий. Чаще всего начальные условия задаются при одном и том же значении независимой переменной. Для протекания переходного процесса в колебательном контуре, например, начальными условиями обычно служат значения напряжения на обкладках конденсатора и тока в индуктивности в один и тот же момент $t = 0$; в описаниях сглаживающего фильтра – это амплитуда и частота в одной и той же точке – на входе в устройство. Задачи с начальными условиями, заданными таким образом, называются задачами Коши. Моделировать их сравнительно просто.

Но встречаются задачи, в которых различные начальные условия заданы в разных точках. Например, при расчете тепловых режимов РЭС часть условий может быть задана со стороны входа одного теплового потока, часть – со стороны входа другого. Это краевые задачи. Если краевую задачу не удастся свести к задаче Коши с помощью дополнительных уравнений, то решение усложняется. При этом требуется, как правило, применение специальных расчетных приемов – итерации и др.

Состояние системы можно представить как точку с координатами y_1, y_2, \dots, y_m в некотором пространстве m измерений, называемом фазовым про-

странством или пространством состояний. Эта точка называется изображающей. Изменению состояния системы отвечает некоторое движение изображающей точки в этом пространстве. Путь изображающей точки при этом есть интегральная кривая системы. Эта кривая носит название фазовой траектории.

При построении фазового пространства добиваются взаимно однозначного и непрерывного соответствия между состояниями системы и точками фазового пространства, т.е. каждому состоянию системы должна соответствовать одна и только одна точка фазового пространства, а каждой точке фазового пространства – одно и только одно состояние системы. При этом близким состояниям системы должны соответствовать близкие точки фазового пространства. В силу этих требований фазовое пространство не всегда может быть обычным евклидовым m -мерным пространством.

Пример двойственности динамических моделей. Рассмотрим физический маятник, состояние которого характеризуется угловой скоростью S и углом δ отклонения от состояния устойчивого равновесия. Уравнение движения маятника при отсутствии сопротивлений $dS/dt = -a \sin \delta$; $d\delta/dt = S$, где $a = \text{const}$ определяется конструкцией маятника. Фазовое пространство в данном случае двумерно. Если принять, что оно является плоскостью, на которой оси δ и S – соответственно оси абсцисс и ординат, то состояние системы с одинаковыми угловыми скоростями S и со значениями $\delta = \alpha + 2\pi - \varepsilon$ при произвольном α и сколь угодно малом ε будут сколь угодно близки. Однако соответствующие им точки плоскости будут отстоять одна от другой на расстоянии $2\pi - \varepsilon$, которое при $\varepsilon \rightarrow 0$ не стремится к нулю. При таком выборе фазового пространства нарушены как требование взаимной однозначности, так и требование непрерывности соответствия состояния системы точкам фазового пространства. Чтобы удовлетворить этим требованиям, необходимо взять за фазовое пространство цилиндрическую поверхность с осью S , направленной по образующей, и с угловой координатой δ .

Приведенные выше уравнения для малых колебаний маятника (рисунок 2.26, а) преобразуются в дифференциальное уравнение второго порядка

$$a \frac{d^2 \delta}{dt^2} + \delta = 0,$$

где a – постоянный множитель.

Аналогично анализ процессов в электрическом колебательном контуре (рисунок 2.26, б) сводится к исследованию дифференциального уравнения

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{C} q = 0,$$

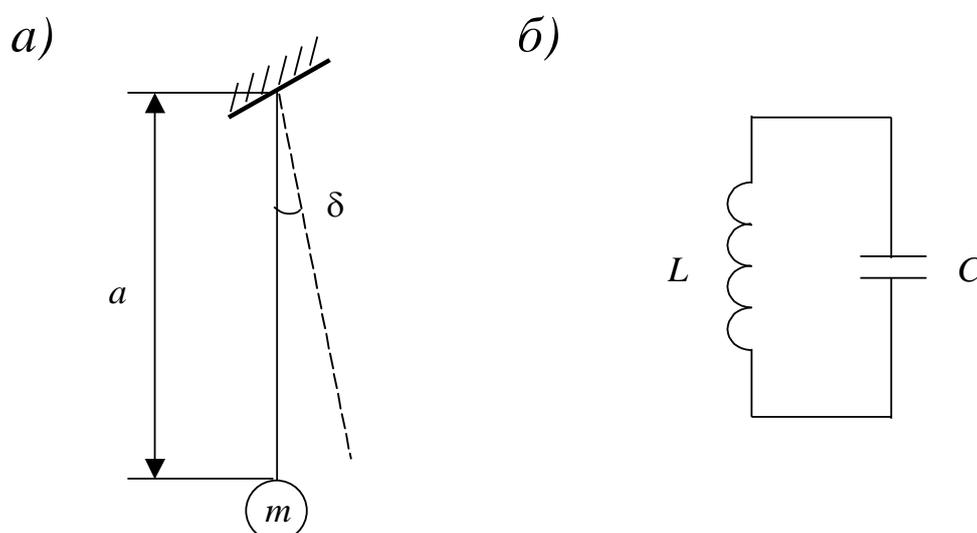
где q – мгновенное значение заряда на обкладках конденсатора. Из последнего уравнения можно получить все сведения об исследуемом процессе, например, период электрических колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Из сравнения дифференциальных уравнений маятника и контура следует, что они по существу одинаковы. Таким образом, совершенно разные явления могут описываться моделями в виде дифференциальных уравнений одного и того же вида, а именно – дифференциальными уравнениями второго порядка

$$a_0 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_2 y = 0.$$

Здесь y – обобщенная координата, определяющая состояние движения системы; a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, зависящие от параметров системы. В случае маятника обобщенной координатой является угол отклонения от вертикали, в случае колебательного контура – заряд конденсатора.



a – маятник; b – электрический контур

Рисунок 2.26 – Простейшие динамические объекты

Пример динамической модели. На рисунке 2.27 представлена динамическая модель подсистемы РЭС. Требуется с помощью этой модели оценить характер изменения напряжения на емкости $C1$ и тока индуктивности $L1$ в результате замыкания ключа $S1$.

Определение начальных условий. В нулевой момент времени ($t = 0$) ключ в схеме разомкнут. Ток в ветви $R1C1$ не протекает, емкость $C1$ заряжена до напряжения источника питания $V1$, т.е. $U_C(0) = 100$ В. Ток индуктивности в начальный момент времени равен $I_L(0) = V1/R2 = 5$ А.

Составление систем уравнений, описывающих поведение схемы.

Уравнение равновесия: $I_{R1} + I_{R2} - I_C - I_L = 0$.

$$\text{Уравнения непрерывности: } \begin{cases} V1 - U_{R2} - U_L = 0; \\ U_{R1} - U_{R2} = 0; \\ U_C - U_L = 0. \end{cases}$$

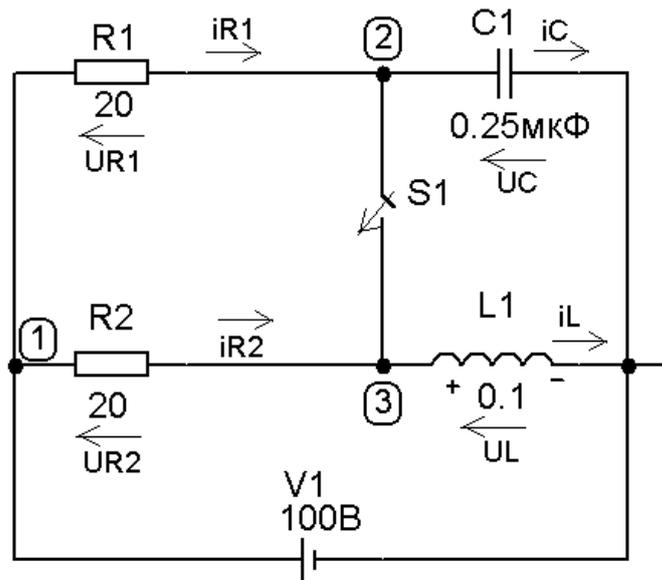


Рисунок 2.27 – Динамическая модель подсистемы РЭС

Уравнения связи фазовых переменных:

$$\begin{cases} U_{R1} - I_{R1} \cdot R1 = 0; \\ U_{R2} - I_{R2} \cdot R2 = 0; \\ I_C - C \frac{dU_C}{dt} = 0; \\ U_L - L \frac{dI_L}{dt} = 0. \end{cases}$$

После преобразования получаем математическое описание динамической модели подсистемы РЭС:

$$\begin{aligned} U_C(0) &= 100; \\ I_L(0) &= 5; \\ \begin{cases} \frac{dU_C}{dt} = \frac{V1 - U_C}{R1} + \frac{V1 - U_C}{R2} - I_L \\ \frac{dI_L}{dt} = \frac{U_C}{L}. \end{cases} \end{aligned}$$

Результаты моделирования в программе MathCAD 2001 [10] представлены на рисунке 2.28. После замыкания ключа напряжение на емкости мгновенно падает до 50 В, затем по экспоненциальному закону снижается до нуля (разряд емкости). Ток индуктивности по экспоненциальному закону возрастает с 5 до 10 В. Время переходного процесса составляет около 0.05 с.

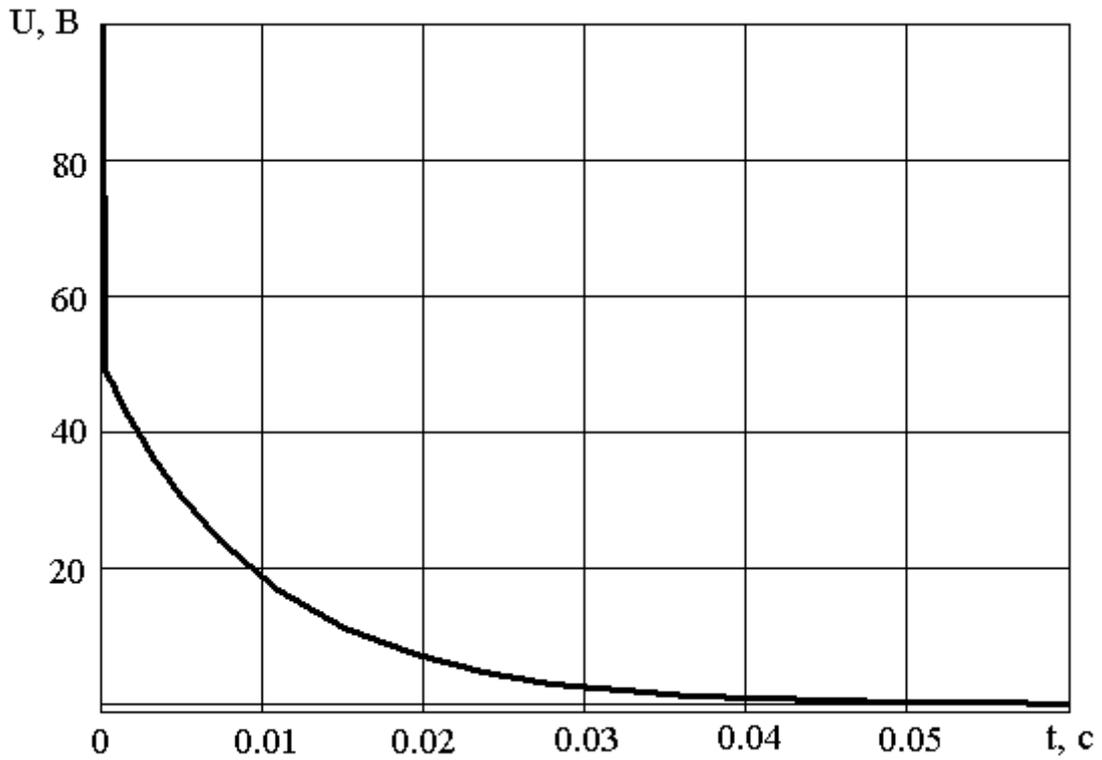
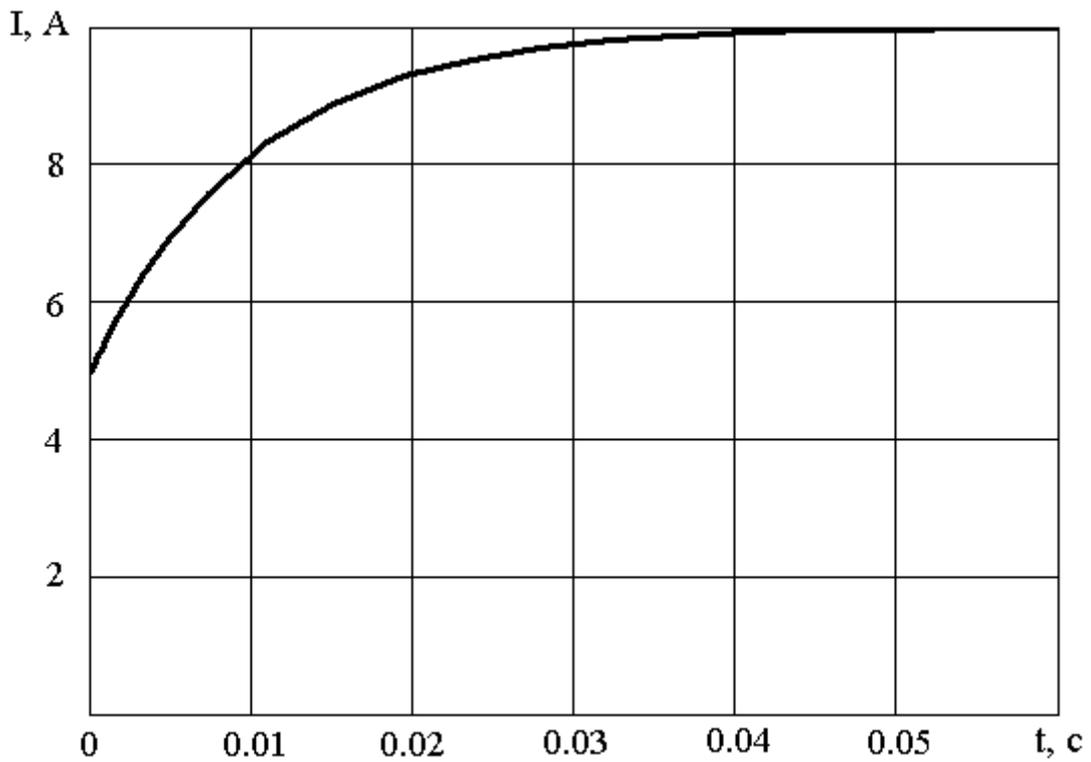
*a)**б)*

Рисунок 2.28 – Динамический процесс разряда емкости (а) и увеличения тока индуктивности (б) в результате замыкания ключа S1

Линейные и нелинейные модели. Линейность или нелинейность анализируемого процесса оказывает решающее влияние на вид модели, метод программирования и быстродействие программы при ее выполнении на ЭВМ. Благодаря быстродействию и простоте линейные модели широко применяются разработчиками, хотя большинство природных и промышленных процессов – нелинейно. Примером линейной модели является зависимость между напряжением и силой тока в электрической цепи, хотя это справедливо в ограниченном диапазоне токов и напряжений.

Линейность или нелинейность по отношению к входным сигналам – это не то же самое, что линейность или нелинейность выходных переменных (функций) по параметрам. Оператор $A\{ \}$ и задаваемая им модель называются линейными, если для системы справедлив принцип суперпозиции. Он состоит в том, что линейной комбинации произвольных входных сигналов ставится в соответствие та же линейная комбинация сигналов на выходе из системы:

$$A\left\{\sum_{i=1}^n C_i x_i\right\} = \sum_{i=1}^n C_i A\{x_i\} = \sum_{i=1}^n C_i \eta_i .$$

Математическую модель с использованием линейного оператора можно представить в виде $\eta = AX$.

Нелинейные уравнения, в свою очередь, можно разделить на два подкласса: алгебраические (в которых над переменными производятся только действия сложения, вычитания, умножения, деления и возведения в степень с рациональным показателем) и трансцендентные, в которые входят другие функции от переменных (показательные, тригонометрические и др.). В любом случае сложность модели существенно зависит от числа уравнений и от вида входящих в них функций. Обычно наиболее просто решаются алгебраические уравнения 1-й степени (линейные), наиболее сложно – трансцендентные.

В математических моделях часто используется ряд нелинейных математических структур, в первую очередь, это степенные полиномы. Методы интерполяции дают возможность существенно упростить способы расчета коэффициентов степенного полинома при наличии точных данных о входных и выходных параметрах. Например, при выборе в качестве математической структуры полинома вида

$$P(x) = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots + a_{n+1}(x - x_0)\dots(x - x_n)$$

для данных с равноотстоящими значениями независимой переменной коэффициенты рассчитываются по упрощенному способу:

$$a_0 = y_0; \quad a_i = \frac{\Delta^i y_0}{i! h^i}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где h – шаг интерполяции; $\Delta^i y_0$ – разность i -го порядка. В результате полином $P(x)$ записывается в виде

$$P(x) = y_0 + \frac{\Delta y_0}{1!h}(x-x_0) + \frac{\Delta^2 y_0}{2!h^2}(x-x_0)^2 + \dots + \frac{\Delta^n y_0}{n!h^n}(x-x_0)^n$$

и называется интерполяционным полиномом Ньютона.

В интерполяционном полиноме Ньютона используются разности, полученные при движении по одну сторону от значения, взятого в качестве начального. При использовании центральных разностей, т.е. разностей, полученных в результате применения как последующих значений функций (следующего после значения, выбранного в качестве начального), так и предыдущих, коэффициенты полинома рассчитываются следующим образом:

$$a_0 = y_0; \quad a_1 = \frac{\Delta y_0}{1!h}, \quad \dots, \quad a_{2n} = \frac{\Delta^{2n} y_{-n}}{(2n)!h^{2n}}.$$

Введя обозначение $g = (x - x_0)/h$, получим интерполяционный полином Гаусса для равноотстоящих $2n$ точек интерполяции:

$$P(x) = y_0 + g\Delta y_0 + \frac{g(g-1)}{2!}\Delta^2 y_{-1} + \dots + \frac{(g+n-1)(g+n-2)\dots(g-n)}{(2n)!}\Delta^{2n} y_{-n}.$$

Модификациями указанных полиномов являются интерполяционные полиномы Стирлинга

$$P(x) = y_0 + g \frac{\Delta y_{-1} + \Delta y_0}{2} + g^2 \frac{\Delta^2 y_{-1}}{2} + \dots + \frac{g(g^2 - 1^2)}{3!} \frac{\Delta^3 y_{-2} + \Delta^3 y_{-1}}{2} + \dots + \frac{g(g^2 - 1^2)(g^2 - 2^2)\dots[g^2 - (n-1)^2]}{(2n)!} \Delta^{2n} y_{-n}$$

и Бесселя

$$P(x) = \frac{y_0 + y_1}{2} + \left(g - \frac{1}{2}\right) \Delta y_0 + \frac{g(g-1)}{2} \frac{\Delta^2 y_{-1} + \Delta^2 y_0}{2} + \dots$$

Для неравноотстоящих узлов интерполяции используется интерполяционный полином Лагранжа

$$P(x) = \sum_{i=0}^n y_i \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_n)}{(x_i-x_0)(x_i-x_1)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)}.$$

Особое место среди известных математических структур занимают ортогональные полиномы. Ортогональным называется полином вида

$$P(x) = k_0\varphi_0(x) + k_1\varphi_1(x) + \dots + k_n\varphi_n(x),$$

если всякая функция $\varphi_i(x)$ системы $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \dots, \varphi_n(x)$ нормальна и две различные функции $\varphi_i(x)$ и $\varphi_j(x)$ указанной системы функций ортогональны в заданном интервале $a \leq x \leq b$, т.е. имеет место равенство

$$\int_a^b \varphi_i(x)\varphi_j(x)dx = \begin{cases} 1 & \text{при } i = j; \\ 0 & \text{при } i \neq j. \end{cases}$$

Подобный выбор функций $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \dots, \varphi_n(x)$ дает возможность при квадратичном приближении произвести упрощенный расчет коэффициентов k_0, k_1, \dots, k_n .

Наиболее часто используют те ортогональные полиномы, для которых легко найти выражение в явном виде. Такими являются, например, приведенные ниже полиномы Чебышева, используемые для промежутка $[-1, +1]$. Полином Чебышева первого рода определяется выражением

$$P(x) = \frac{a_0}{2}T_0(x) + a_1T_1(x) + a_2T_2(x) + \dots,$$

где значения $T_i(x)$ определяются по выражению

$$T_i(x) = \cos i \arccos x, i = 0, 1, 2, \dots$$

Для целых положительных значений i это выражение является обычным степенным полиномом, так как $T_0(x) = 1$; $T_1(x) = x$; $T_2(x) = 2x^2 - 1$; $T_3(x) = 4x^3 - 3x$.

При изменении x в промежутке $[-\infty, +\infty]$ используется полином Эрмита

$$P(x) = a_0H_0(x) + a_1H_1(x) + a_2H_2(x) + \dots,$$

где

$$H_i(x) = (-1)^i e^{x^2} d^i e^{-x^2} / dx^i; i = 0, 1, 2, \dots$$

В частности,

$$\begin{aligned} H_0(x) &= 1; H_1(x) = 2x; H_2(x) = 4x^2 - 2; \\ H_3(x) &= 8x^3 - 12x; H_4(x) = 16x^4 - 48x^2 + 12. \end{aligned}$$

Для периодических функций используются тригонометрические полиномы

$$P(x) = a_0 + \sum_{i=1}^n (a_i \cos ix + b_i \sin ix).$$

Каждая из математических структур обладает своей спецификой, что и определяет область ее применения при моделировании. Интерполяционные полиномы используются для объектов с известными зависимостями или с точными данными о значениях входных и выходных параметров.

Пример линейной и нелинейной модели. Дана функция $f(x) = \sin x$. Если применить линейную модель $g(x) = K \{f(x)\} + B$, то получим линейное преобразование исходной функции. На рисунке 2.30 показано линейное преобразование функции при $K = 2$ и $B = 5$. Результат преобразования – функция $g(x) = 2 \cdot \sin x + 5$.

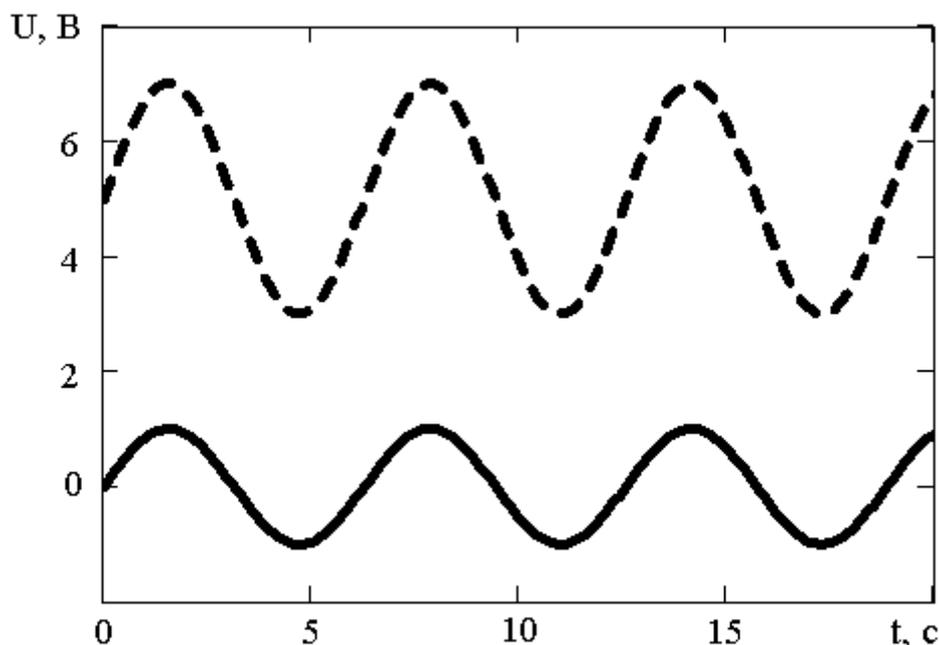


Рисунок 2.29 – Линейное преобразование функции $f(x) = \sin x$

В радиотехнике широко применяется разложение функций в ряды Фурье – типичный пример использования нелинейной модели. Пусть дана периодическая функция единичного импульсного сигнала:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & -4 \leq x \leq -2; \\ 1, & -2 < x < 2; \\ 0, & 2 \leq x \leq 4, \end{cases} \quad T = 8.$$

Для представления данной периодической функции можно использовать нелинейную модель – тригонометрический ряд Фурье (рисунок 2.30):

$$P(x) = a_0 + \sum_{i=1}^{50} a_i \cdot \cos \frac{2\pi i x}{T} + \sum_{i=1}^{50} b_i \cdot \sin \frac{2\pi i x}{T};$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(x) dx; \quad a_i = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(x) \cos \frac{2\pi i x}{T} dx;$$

$$b_i = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(x) \sin \frac{2\pi i x}{T} dx$$

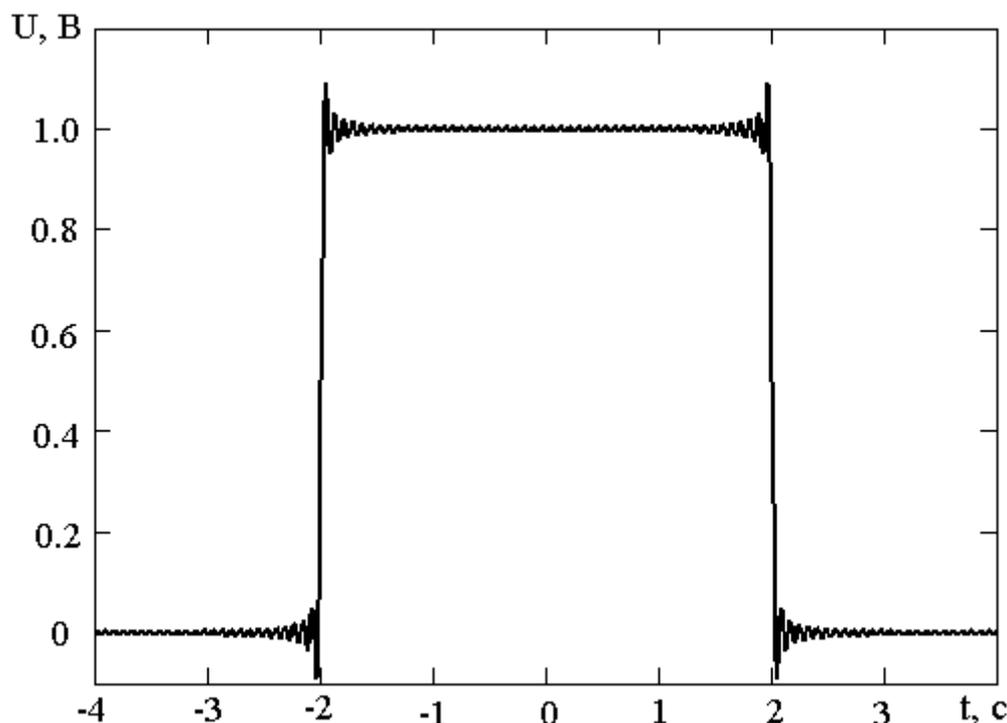


Рисунок 2.30 – Представление единичного импульса с помощью нелинейной модели – тригонометрического ряда Фурье

Модели распределенные и сосредоточенные в пространстве. Исследуемый объект (процесс) может быть распределенным или сосредоточенным в пространстве и одновременно изменяться во времени. Модели, описывающие распределенные процессы, называются моделями с распределенными параметрами. Обычно они имеют вид дифференциальных уравнений в частных производных. Если основные переменные процесса не изменяются в пространстве, а только во времени, то математические модели, описывающие такие процессы, называют моделями с сосредоточенными параметрами и представляют их в виде обыкновенных дифференциальных уравнений.

Если процесс развивается одновременно и во времени, и в пространстве (по одной координате l), то оператор A может преобразовывать входную векторную функцию $X(t, l)$ в выходную векторную функцию $Y(t, l)$ и зависеть от обоих аргументов:

$$A = A(t, l) = A_{t, l}.$$

Пример моделей сосредоточенных и распределенных в пространстве. Рассмотрим корпус блока РЭС, нагреваемый с внешней стороны и изолированный с внутренней стороны, что характерно для космической аппаратуры. Известно, что нагрев обусловлен действием теплового потока мощностью $P = 4000$ Вт, при этом температура на внешней стороне блока составляет $T_2 = 100$ °С. Тепловое сопротивление корпуса блока РЭС равно $R = 0.02$ °С /Вт. Требуется определить температуру T_1 на внутренней стороне корпуса.

Для решения поставленной задачи можно применить математическую модель с сосредоточенными пространственными параметрами по методу электротепловой аналогии:

$$R = \frac{T_2 - T_1}{P}, \quad (2.1)$$

где тепловой поток аналогичен электрическому току, тепловое сопротивление – аналог электрическому сопротивлению, а разность температур представляет собой аналог разности потенциалов. Нетрудно выразить неизвестную величину: $T_1 = T_2 - R \cdot P = 100 - 0.02 \cdot 4000 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Следует заметить, что модель с сосредоточенными пространственными параметрами (2.1) не дает никакой информации о температурном профиле по толщине корпуса блока РЭС, т.е. о распределении температуры по пространству. Чтобы иметь данные о температуре в любой точке по толщине корпуса необходимо применение модели с распределенными параметрами. Соотношение между температурой, временем и расстоянием от точки нагрева описывается дифференциальным уравнением в частных производных:

$$\frac{dT}{dt} = a^2 \frac{d^2T}{dl^2}, \quad (2.2)$$

где a – коэффициент температуропроводности.

Температура в этом уравнении является функцией двух переменных: времени t и расстояния l , т.е. в любой момент времени t_i температура изменяется с изменением расстояния l_i или, наоборот, в любом месте l_i температура изменяется со временем.

Для анализа температурного профиля по толщине корпуса введем дополнительные исходные данные: коэффициент температуропроводности $a = 1.36 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; толщина корпуса $l = 0.06 \text{ м}$; момент времени с начала действия теплового потока $t = 1 \text{ с}$. Результат решения задачи с применением математической модели с распределенными параметрами (2.2) представлен на рисунке 2.31.

Модели непрерывные и дискретные во времени. Непрерывной во времени модель является в том случае, когда характеризующая ее переменная определена для любого значения времени; дискретной во времени, – если переменная получена только в определенные моменты времени. Непрерывный во времени процесс определяется моделью $Y = A(t)$, где t может принимать любое значение.

Дискретный во времени процесс определяется моделью $Y = f(k\Delta t)$, где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Так, если сигнал $x(t)$ некоторого компонента системы определен только в моменты времени t_1, t_2, \dots , то такой дискретный сигнал при моделировании записывают в виде последовательности $(x(t_1), x(t_2), \dots)$. Дискретность модели может также возникнуть в том случае, если она состоит из непрерывных ком-

понентов, но информация переходит от одной компоненты к другой по заданной схеме (такие переходы возможны только по окончании соответствующих операций).

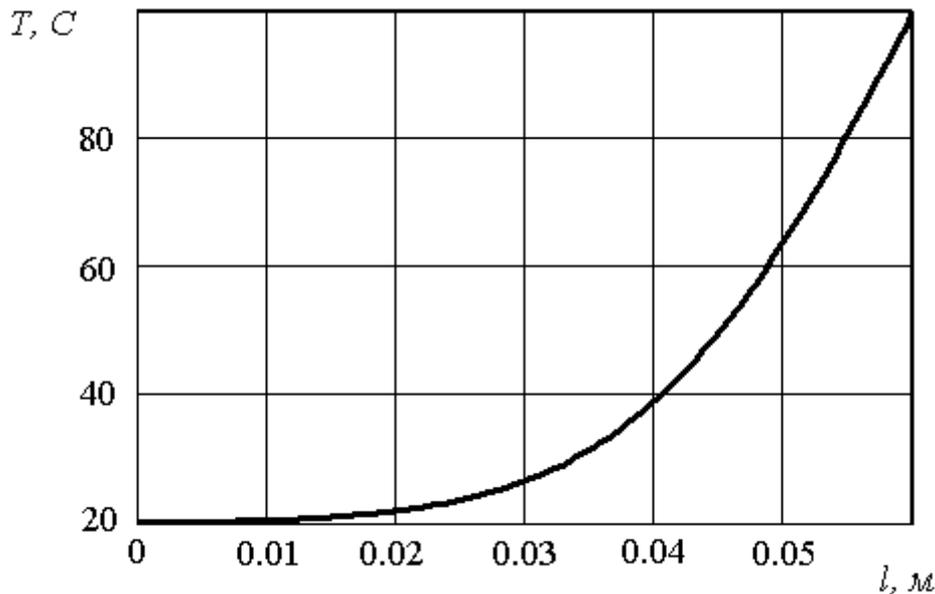


Рисунок 2.31 – Распределение температуры по толщине корпуса РЭС

Непрерывные модели применяются при изучении систем, связанных с непрерывными процессами, которые описываются с помощью систем дифференциальных уравнений, задающих скорость изменения переменных системы во времени. Непрерывные модели можно описать с помощью конечно-разностных уравнений, которые в пределе переходят в соответствующие дифференциальные уравнения. При этом программирование непрерывных моделей сводится к дискретной вычислительной задаче, которую можно символически записать в виде уравнения

$$y(t + \Delta t) = g[y(t), y(t - \Delta t), \dots, x(t), \theta],$$

где $y(t)$, $y(t - \Delta t)$ – соответственно векторы состояния системы с компонентами, определяемыми во все предыдущие моменты времени; $x(t)$ – вектор внесистемных переменных; θ – вектор параметров системы; g – функция, определяющая поведение системы.

Конечно-разностные уравнения (линейные и нелинейные, стационарные и нестационарные, уравнения первого и более высокого порядков, одномерные и многомерные) позволяют описать самые разнообразные динамические системы как с дискретным временем, так и, в пределе, с непрерывным, т.е. это достаточно универсальный метод моделирования.

Рассмотрим линейное одномерное конечно-разностное уравнение q -го порядка ($q > 1$) с постоянными коэффициентами. Предположим, что наблюдения производятся в дискретные, равноотстоящие моменты времени. Примем также, что реакция на выходе такой динамической стационарной систе-

мы появляется с некоторой временной задержкой (на b интервалов квантования) по отношению к входному сигналу. С учетом указанных предположений запишем конечно-разностное уравнение в виде

$$y(k) = \delta_1 y(k-1) + \delta_2 y(k-2) + \dots + \delta_q y(k-q) + \omega_0 u(k-b) + \omega_1 u(k-b-1) + \dots \\ \dots + \omega_p u(k-b-p),$$

где $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_q, \omega_0, \omega_1, \dots, \omega_p$ – параметры уравнения; k – номер очередного интервала квантования.

Линейное конечно-разностное уравнение высокого порядка подобного типа всегда можно заменить системой конечно-разностных уравнений первого порядка, выраженных в форме Коши, т.е. разрешенных относительно первых разностей. Это обстоятельство привело к тому, что в качестве наиболее общего вида представления математического описания стали широко использоваться конечно-разностные модели в форме Коши. Стационарная линейная система может быть описана моделью в стандартной форме:

$$\begin{cases} \eta(k+1) = \Phi \eta(k) + Gu(k); \\ y(k) = H\eta(k), \end{cases}$$

где $y(k), \eta(k), u(k)$ – соответственно векторы откликов, переменных состояния и управляющих входных сигналов.

Матрицы Φ, G и H не зависят от момента времени, т.е. являются постоянными. Они могут включать неизвестные параметры модели, подлежащие оцениванию. Приведенную модель называют также канонической формой модели стационарной линейной системы с дискретным временем. Если система нестационарна, то матрицы Φ, G и H будут зависеть от k .

Нелинейная импульсная система в достаточно общем случае может быть описана моделью

$$\begin{cases} \eta(k+1) = v[\eta(k), u(k), k, \theta]; \\ y(k) = \varphi[\eta(k), u(k), k, \theta], \end{cases}$$

где $v[\], \varphi[\]$ – векторные функции.

Дискретизация возможна не только по аргументу – времени, но и по уровню (величине) сигналов. В этом случае сигналы имеют конечное число значений в некоторой заданной области существования. Подобные сигналы называют дискретными по величине или квантованными. И если непрерывному скалярному сигналу y_n соответствует плавная кривая, то квантованному скалярному сигналу y_k отвечает кусочно-постоянная линия (рисунок 2.32).

Системы (модели), у которых входные и выходные сигналы являются непрерывными по времени и по величине, называют непрерывными. Если же входные и выходные сигналы дискретны по времени, то системы называют системами с дискретным временем или импульсными. Системы, у которых входные и выходные сигналы дискретны или по времени, или по величине, называют дискретными. Существуют также и системы промежуточного типа, у которых свойства сигналов как функций от времени различны. Например,

часть сигналов может быть непрерывной во времени, тогда как остальные сигналы могут быть дискретными. Такая система называется дискретно-непрерывной по времени.

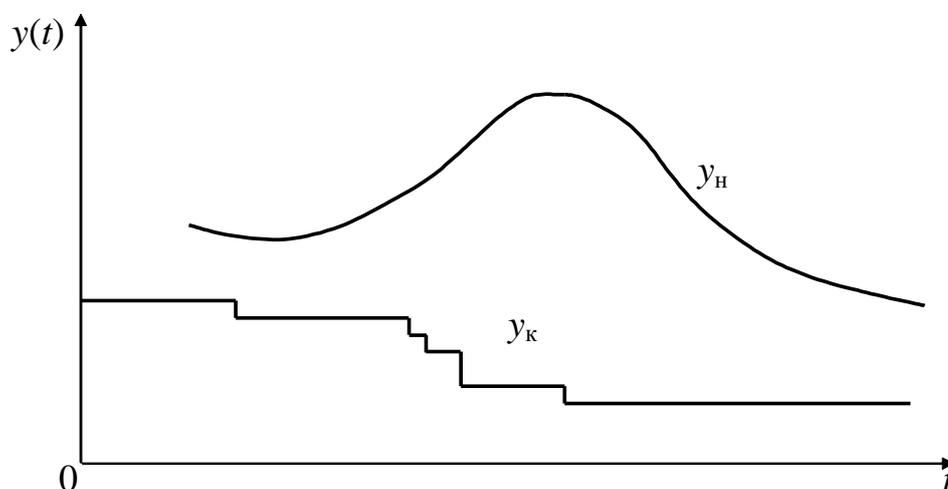


Рисунок 2.32 – Непрерывный (y_n) и дискретный по величине (y_k) сигналы

Пример моделей непрерывных и дискретных во времени. Рассмотрим непрерывную во времени модель несимметричного умножителя напряжения, которая применяется при малых токах нагрузки (в режиме, близком к холостому ходу) [11]. Аналитические выражения для описания указанной модели выглядят следующим образом. Связь между входным и выходным напряжением:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 2U_{\text{ВХ}}n_i, \quad (2.3)$$

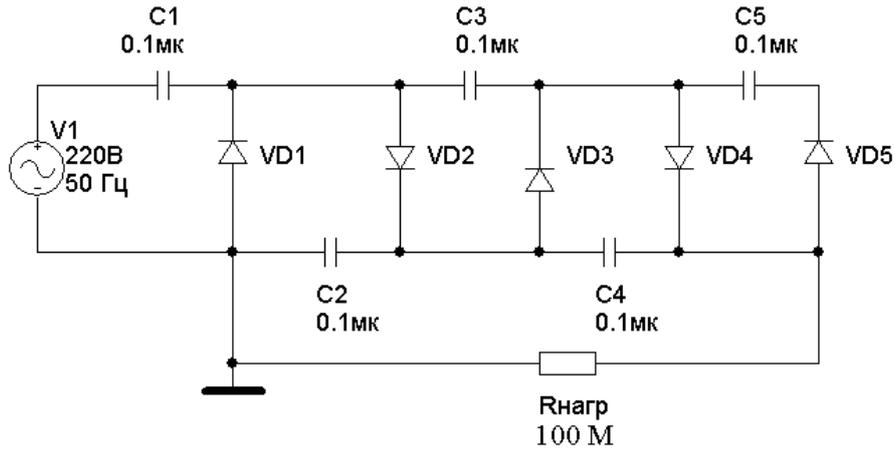
где n_i – число конденсаторов с четными номерами.

Коэффициент пульсаций определяется приближенной формулой:

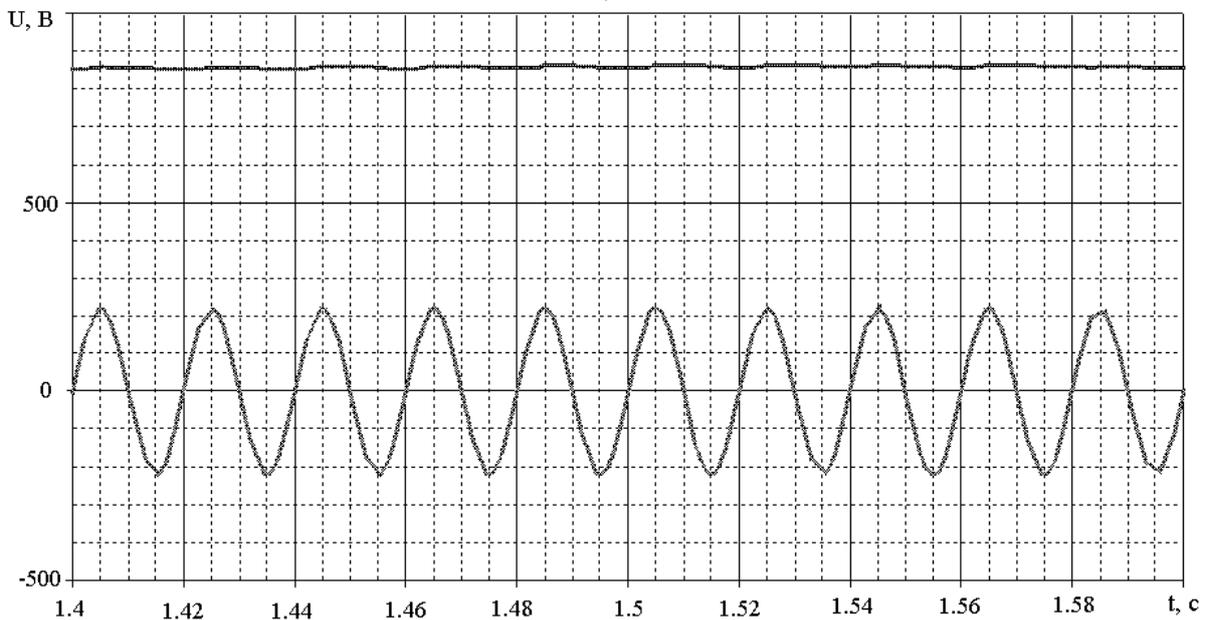
$$K_n = \frac{1600 \cdot n_i^2}{R_{\text{нагр}} C}, \quad (2.4)$$

где $R_{\text{нагр}}$ – сопротивление нагрузки; $C = \frac{2(n_i + 2)}{R_{\text{нагр}} f}$ – емкость конденсатора каждого плеча; f – частота источника питания.

В модели, представленной на рисунке 2.33, а выпрямленное напряжение в 4 раза больше амплитуды источника напряжения (вторичной обмотки трансформатора), так как коэффициент умножения, равный числу конденсаторов с четными номерами, в данном случае составляет 2 (рисунок 2.33, б). Заметим, что выходной сигнал умножителя напряжения изменяется по закону аналоговых функций (2.3), (2.4), что является характерной чертой непрерывных во времени моделей.



а)



б)

а) – схема электрическая принципиальная; б) – осциллограммы входного и выходного напряжения

Рисунок 2.33 – Выпрямитель с умножением напряжения

Дискретную во времени модель продемонстрируем на примере восьмиразрядного аналого-цифрового преобразователя (рисунок 2.34, а). Аналого-цифровой преобразователь – устройство, предназначенное для преобразования непрерывно изменяющейся во времени аналоговой физической величины в эквивалентные ей значения числовых кодов. В аналитической форме процесс аналого-цифрового преобразования может быть представлен выражением [11]:

$$D_i = \left[\frac{256 \cdot U_{\text{вх}}(t)_{t=n_i T_D}}{U_{\text{опор}}} \right] \pm \delta D_i,$$

где D_i – десятичный эквивалент шестнадцатиричного числа на выходной шине данных; результат в квадратных скобках – округление до ближайшего целого числа; δD_i – погрешность преобразования на i -ом шаге; 256 – максимальное число, которое можно представить на восьми разрядах (2^8); $U_{\text{вх}}(t)$ – значение входного сигнала в момент времени t ; $U_{\text{опор}}$ – значение опорного напряжения АЦП; $n_i = 0, 1, 2, \dots$ – целые числа; $T_{\text{д}}$ – период дискретизации.

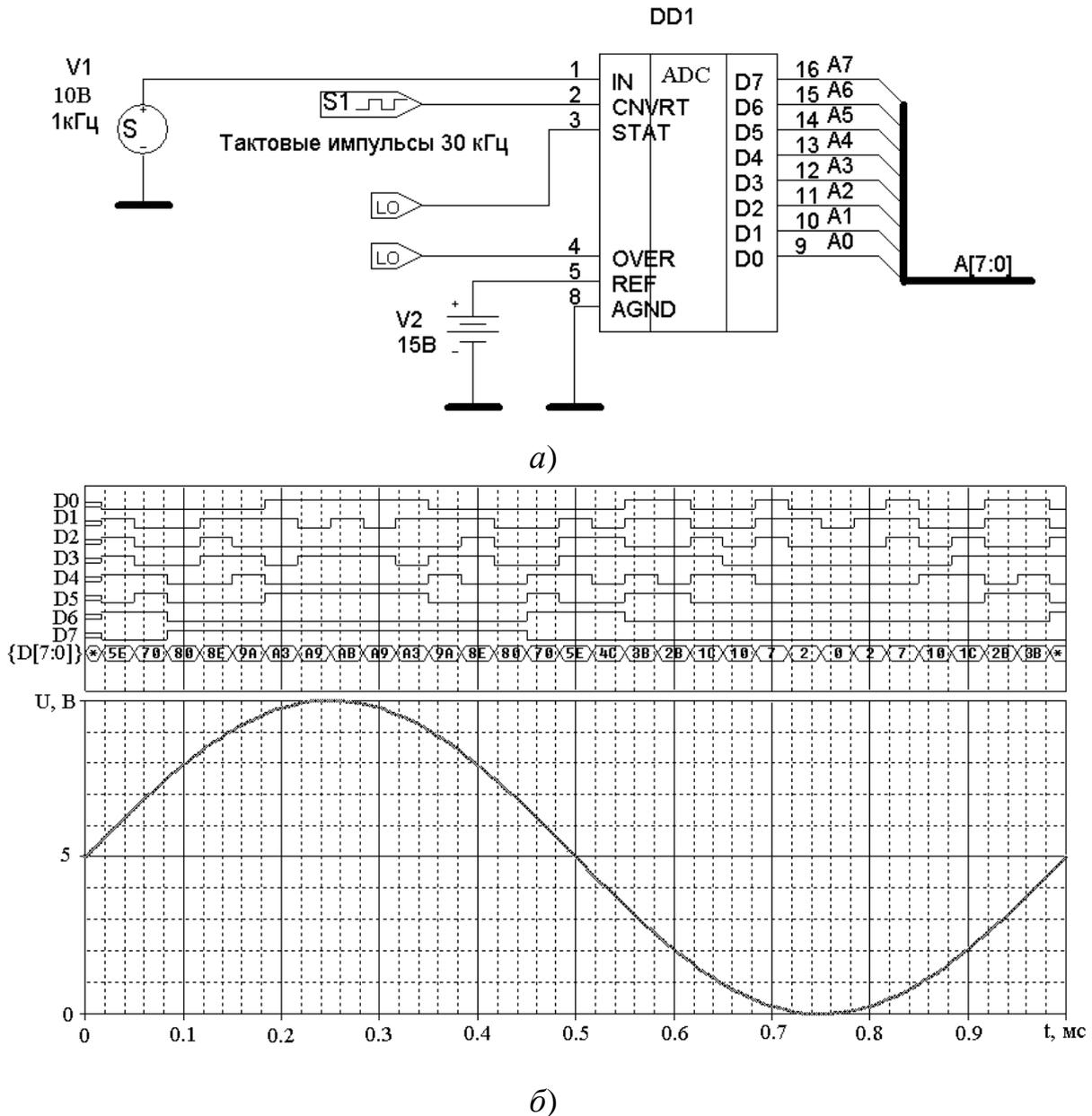
В данном примере амплитуда входного аналогового сигнала $U_{\text{вх}} = 10$ В; частота $f = 1$ кГц; частота тактовых импульсов $f_{\text{т}} = 30$ кГц; опорное напряжение $U_{\text{опор}} = 15$ В. Таким образом, минимальное дискретное значение аналого-цифрового преобразования $D_{\text{min}} = 0$; максимальное дискретное значение – $D_{\text{max}} = (171)_{10} = (\text{AB})_{16}$ (рисунок 2.34, б).

Заметим, что дискретная во времени модель АЦП преобразует электрический сигнал путем квантования по времени и уровню исходной аналоговой функции $U_{\text{вх}}(t)$.

Детерминированные и случайные модели. По наличию в модели случайных элементов, т.е. в зависимости от способа задания параметров, исходной информации, начальных условий и способа нахождения характеристик системы, математические модели можно подразделить на два больших класса: детерминированные и случайные (вероятностные, стохастические). В детерминированных моделях все исходные данные, ограничения и целевая функция (т.е. некоторое соотношение, количественно характеризующее поставленную перед системой цель) задаются в виде конкретных чисел, векторов или числовых функций.

В детерминированных моделях используются различные классические методы математики: дифференциальные, линейные, разностные и интегральные уравнения, операторы для сведения к алгебраическим моделям и др. При совместном рассмотрении этих соотношений состояния системы в заданный момент времени однозначно определяются через параметры системы, входную информацию и начальные условия.

По степени математической абстракции детерминированные модели можно разделить на сложные, описывающие все причинные связи какой-то реальной системы и позволяющие точно прогнозировать поведение системы в зависимости от изменения переменных (или параметров), и упрощенные, – в которых выбирается ряд основных, существенных зависимостей; устанавливаются и математически описываются связи между отдельными параметрами, соответствующие причинно-следственным закономерностям; другие, несущественные, связи отбрасываются (идеализированные модели).



а) – схема включения; б) – входной и выходной сигналы

Рисунок 2.34 – Восьмиразрядный аналого-цифровой преобразователь

Между этими двумя моделями существует ряд моделей, отличающихся степенью детализации. Первые модели, являясь наиболее точными и достоверными в чистом виде, из-за сложности не могут широко применяться в моделировании. На практике чаще всего применяются упрощенные идеализированные модели. При этом считается, что имеются существенные и несущественные факторы: существенные учитываются, несущественные отбрасываются. Между принятыми в модели факторами и результирующими показателями устанавливается жесткая детерминированная связь. Широкое распространение идеализированных моделей вызвано их простотой и возможностью логического обоснования.

Любому реальному процессу присущи случайные флуктуации. Однако выбор детерминированной или вероятностной математической модели зависит от того, учитываются ли случайные факторы. Выделение детерминированных моделей в отдельный класс объясняется широким их применением и разнообразием математических методов решения детерминированных задач.

Если хотя бы один параметр модели или ограничительная функция имеет в качестве своих значений случайный вектор или случайную величину, то это случайная (стохастическая) модель. В этом случае под однозначностью определения характеристик моделируемого процесса понимается однозначное определение распределений вероятностей для характеристик процесса при заданных распределениях вероятностей для начальных условий и возмущений.

Стохастический характер модели связан с наличием в объекте и в среде различных неконтролируемых, но существенных факторов, которые можно моделировать статистически. Состояние системы в этом случае $Y = F(X, U, E(t))$, где $E(t)$ – случайный процесс, моделирующий имеющуюся неопределенность объекта и среды. Эта неопределенность может быть связана как с быстрым изменением параметров объекта, так и с помехами, накладывающимися на измеряемые значения сигналов на входе и на выходе объекта.

Стохастический объект и его модель ведут себя неоднозначно в одинаковых ситуациях, что моделируется случайным вектором $E(t)$, статистические свойства которого должны быть заданы. В простейшем случае

$$Y = F(X, U) + E(t).$$

Переход от детерминированной модели к стохастической осуществляется таким образом, чтобы она отражала в себе случайный характер данных и самой модели. Способ перехода выбирается в зависимости от сведений об изучаемой модели: уверенности в правильности и надежности данных и модели. При этом возможно, что эти сведения ошибочны.

Например, в случае детерминированного безынерционного объекта, когда возмущение и реакция могут рассматриваться как случайные величины X и Y соответственно, математическая модель, описывающая объект, дается в виде условного математического ожидания Y относительно X , т.е. объект описывается уравнением вида

$$M\{Y | X\} = f(X),$$

где $M\{Y | X\}$ – условное математическое ожидание Y относительно X , f – неслучайный закон преобразования.

Так, для усилительного элемента, на входе которого действует случайная величина X , выходной сигнал Y имеет вид

$$Y = M\{Y | X\} = KX.$$

В общем случае для стохастических объектов оператор является случайным (например, коэффициенты линейного дифференциального уравнения, весовые функции и т.д.).

Пример детерминированной и вероятностной модели. Рассмотрим активный фильтр низких частот на основе неинвертирующего усилителя (рисунок 2.35, а). Хорошо известна классическая детерминированная модель для описания верхней частоты полосы пропускания фильтра [11]:

$$f_B = F(R_{OC}, C_{OC}) = \frac{1}{2\pi R_{OC} C_{OC}}. \quad (2.5)$$

Детерминированная модель (2.5) позволяет однозначно определить ширину полосы пропускания, поскольку исходные данные задаются в виде конкретных чисел. В частности, если номинальные значения резистора обратной связи $R_{OC} = 100$ кОм, а емкости обратной связи – $C_{OC} = 75$ нФ, то верхняя частота полосы пропускания равна $f_B = 21.22$ Гц (рисунок 2.35, б). Максимальный коэффициент передачи также описывается детерминированной зависимостью:

$$K = \frac{K_{OY}}{1 + K_{OY} K_{OC}} = \frac{K_{OY}}{1 + K_{OY} \frac{R1}{R1 + R_{OC}}},$$

где K_{OY} – коэффициент усиления операционного усилителя; K_{OC} – коэффициент передачи цепи обратной связи.

Если принять $K_{OY} = 50\,000$ и $R1 = 1$ кОм, то максимальный коэффициент передачи составит $K = 100$ (40 дБ).

Детерминированная модель (2.5) дает идеализированное представление о функционировании активного RC-фильтра. Для более адекватного описания системы может служить вероятностная (случайная) модель. Пусть партия электрорадиоэлементов R_{OC} и C_{OC} в условиях серийного производства RC – фильтра имеет случайный 10-процентный разброс параметров. Известно, что разброс параметров подчинен нормальному (гауссовскому) распределению. В этом случае для определения верхней частоты полосы пропускания необходимо использовать вероятностную модель:

$$f_B = G(R_{OC}, C_{OC}) = P(R_{OC\ MIN} < R_{OC} < R_{OC\ MAX}, C_{OC\ MIN} < C_{OC} < C_{OC\ MAX}); \quad (2.6)$$

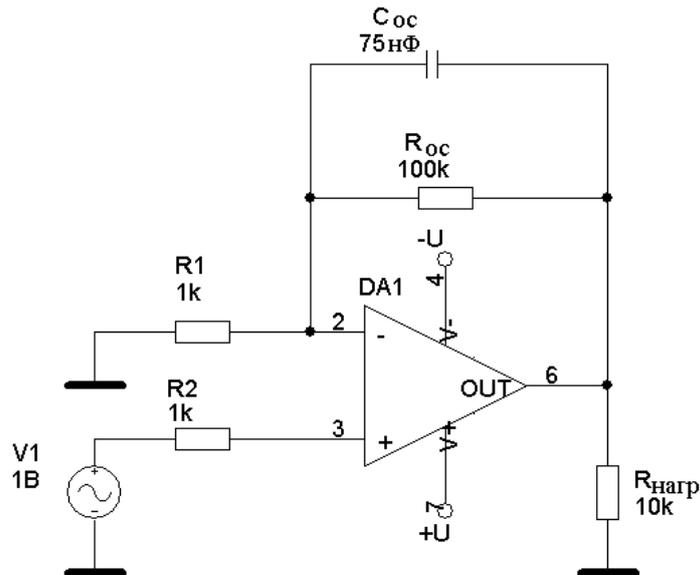
$$K = H(R_{OC}) = P(R_{OC\ MIN} < R_{OC} < R_{OC\ MAX}); \quad (2.7)$$

$$R_{OC\ MIN} = 0.9 R_{OC}; R_{OC\ MAX} = 1.1 R_{OC};$$

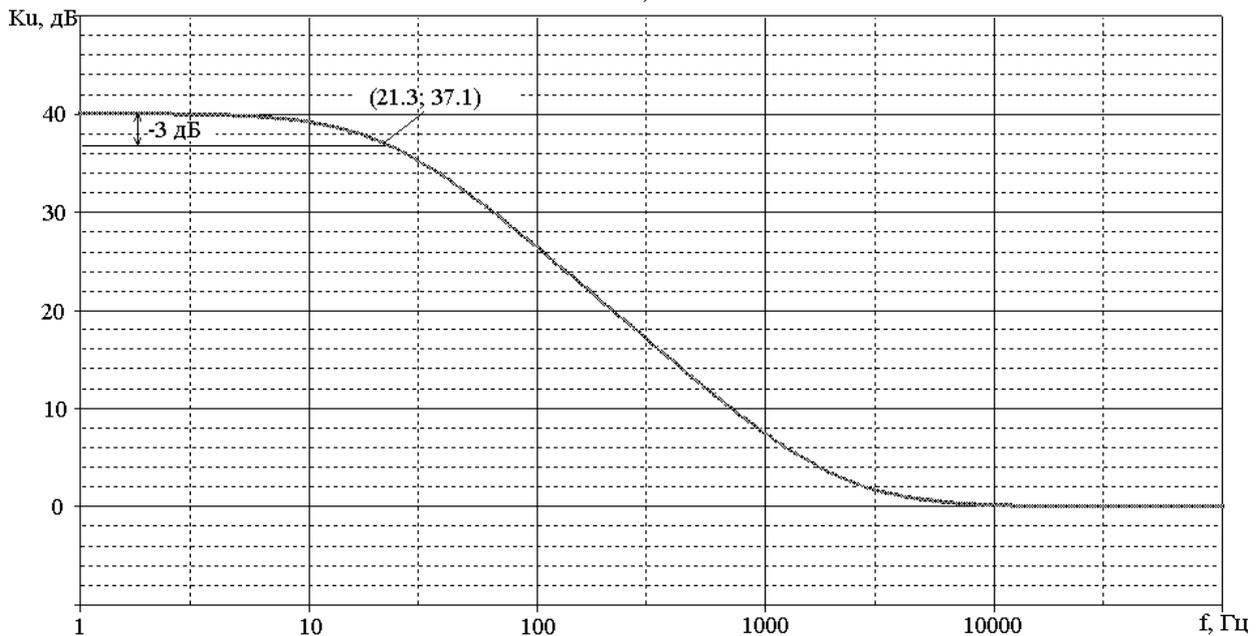
$$C_{OC\ MIN} = 0.9 C_{OC}; C_{OC\ MAX} = 1.1 C_{OC}.$$

Случайный разброс аргументов R_{OC} , C_{OC} обуславливает случайные значения функций (2.6), (2.7), а именно – девиацию верхней частоты полосы пропускания и максимального коэффициента передачи (рисунок 2.35, в). Множество значений функции нескольких случайных аргументов наглядно

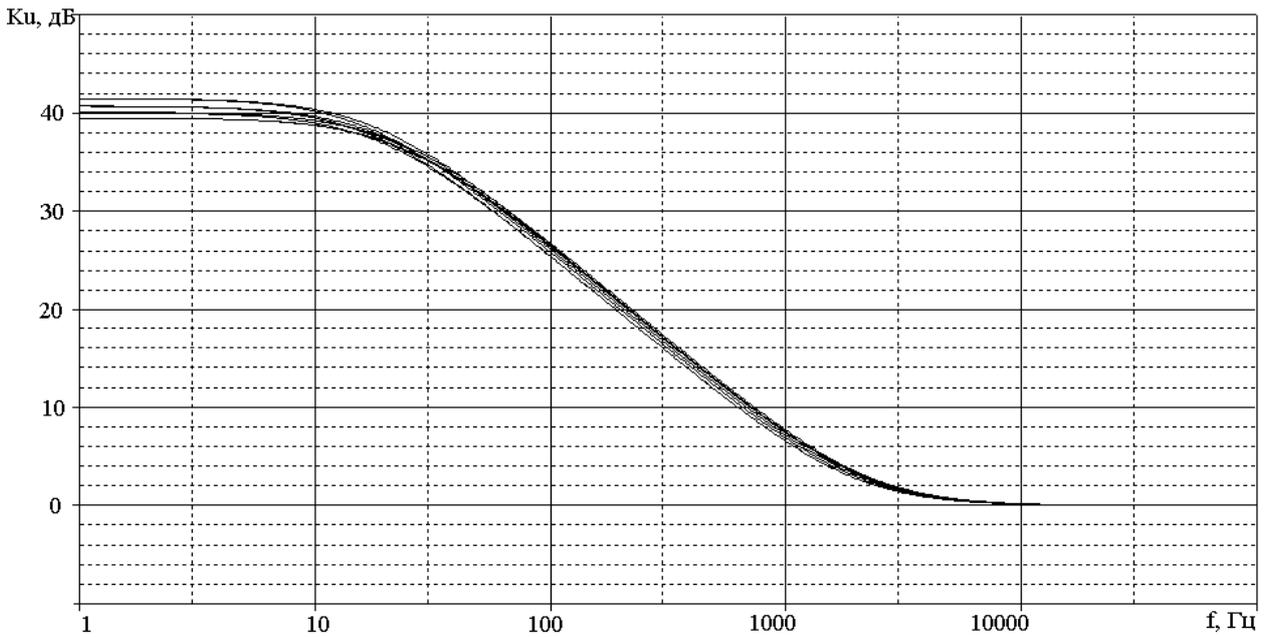
представляют с помощью гистограммы плотности распределения. На рисунке 2.35, а показана гистограмма плотности вероятности верхней частоты фильтра, обусловленная случайным разбросом значений R_{oc} , C_{oc} . Гистограмма построена на основе ста испытаний, математическое ожидание верхней частоты $M[\Delta f] = 21.46$ Гц, среднеквадратическое отклонение $\sigma[\Delta f] = 2.84$ Гц. Заметим, что математическое ожидание верхней частоты фильтра, полученное с помощью вероятностной модели практически совпадает с аналогичным параметром, полученным с помощью детерминированной модели, что подтверждает преимущество и адекватность этих моделей.



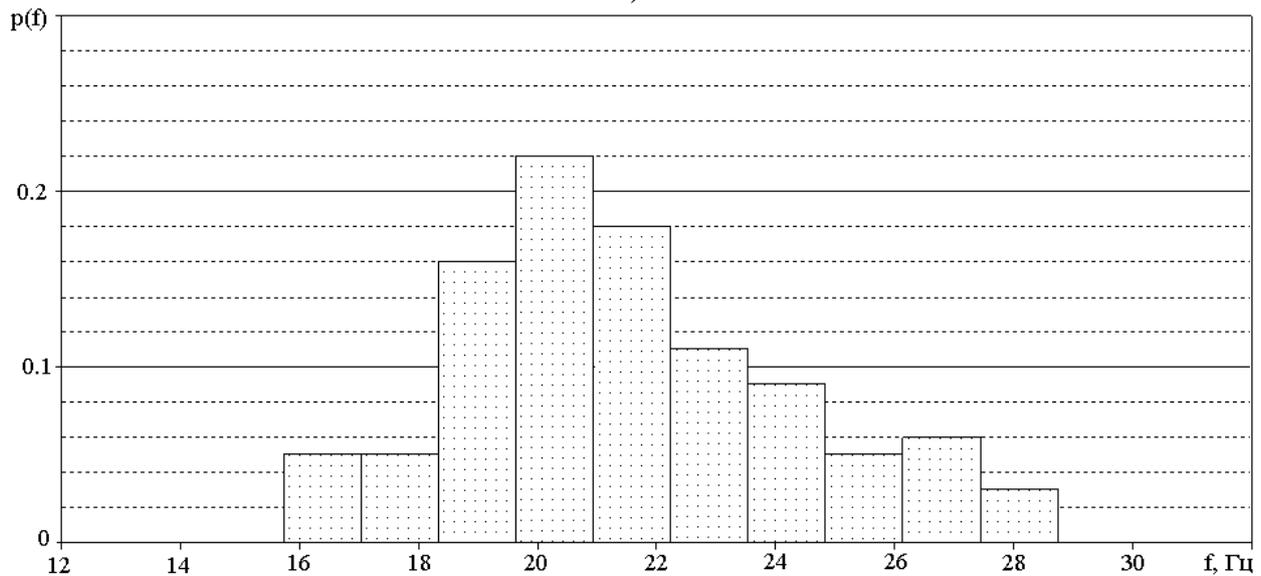
а)



б)



в)



n samples = 100	mean = 21.4626	minimum = 15.7324	median = 21.1571	maximum = 28.7418
n divisions = 10	sigma = 2.84108	10th %ile = 18.2914	90th %ile = 25.7751	

г)

- а) – схема электрическая принципиальная;
 б) – функция, реализуемая детерминированной моделью;
 в) – функция, реализуемая вероятностной моделью;
 г) – плотность вероятности верхней частоты фильтра, обусловленная случайным разбросом параметров C_{oc} и R_{oc}

Рисунок 2.35 – Активный фильтр низких частот

Информационные модели. С помощью информационных (процедурных) моделей моделируются сложные устройства и комплексы типа вычислительных машин, радиолокационные станции, системы управления большими

промышленными установками, летательными аппаратами и т.д. Функционирование таких систем представляет собой цепь событий, происходящих в дискретные моменты времени и заключающихся в изменении состояний элементов. Дискретное представление пространства и времени обуславливает дискретность фазовых переменных, которыми являются величины, характеризующие состояния элементов. Роль элементов и внутренних параметров выполняют системы и выходные параметры некоторых подсистем. Так, элементами ЭВМ можно считать арифметическое устройство, оперативную память, устройство ввода и вывода и т.п. Фазовые переменные, характеризующие состояния этих элементов, могут принимать только два значения: «занято», если в данный момент устройство работает, или «свободно», если устройство находится в состоянии ожидания. Примерами выходных параметров служат вероятность обслуживания поступивших в систему заявок (сообщений), среднее время простоя в очереди на обслуживание, быстродействие устройства. Для построения математических информационных моделей широко используют математическую логику, теорию массового обслуживания, методы теории автоматического управления.

При анализе сложных промышленных производств особый интерес представляют информационные процедурные модели, а также модели режимов и обеспечения безопасности работы. Информационные процедурные модели определяют содержание, формат и скорость (или частоту) потока информации. Эти модели охватывают также контроль и проверку информации, учет и отчетность по ней, получение разрешений и представление некоторых видов информации, меры предосторожности против потерь информации в аварийных случаях и порядок работы по ее восстановлению при неисправностях или поломках.

Процедурные модели режимов и обеспечения безопасности работы описывают действия, изменяющие состояние комплекса оборудования предприятия, а также совокупность предписаний об ограничениях, налагаемых на ход работы по соображениям безопасности. К типичным режимам относятся пуск, останов оборудования, изменения нагрузки. При разработке этих моделей человек-оператор рассматривается как составная часть комплекса оборудования; ему отведены следующие функции: обеспечение ввода данных в ЭВМ; слежение за выходными данными с помощью измерительной аппаратуры и ЭВМ; привлечение к работе резервного оборудования в случае неисправности основного; отыскание и устранение ошибок в программе и неполадок в ЭВМ. Эти функции отведены оператору, так как он может выполнять их лучше и с большей экономией средств, чем любая автоматизированная система.

Пример информационной процедурной модели [12]. На радиотехнических предприятиях в зависимости от оснащенности производства применяют различные типовые технологические процессы сборки и монтажа узлов и блоков радиоаппаратуры на печатных платах:

1) пооперационную сборку с ручной установкой компонентов на печатную плату и индивидуальной пайкой;

2) пооперационную сборку с частичной механизацией операций заготовки электрорадиоэлементов;

3) комплексную механизированную подготовку и вставку выводов электрорадиоэлементов в печатную плату и групповую пайку;

4) полную автоматизацию всех процессов сборки, монтажа, пайки и контроля.

Последовательность типовых технологических процессов сборки и монтажа узлов и блоков РЭС показана на рисунке 2.36.

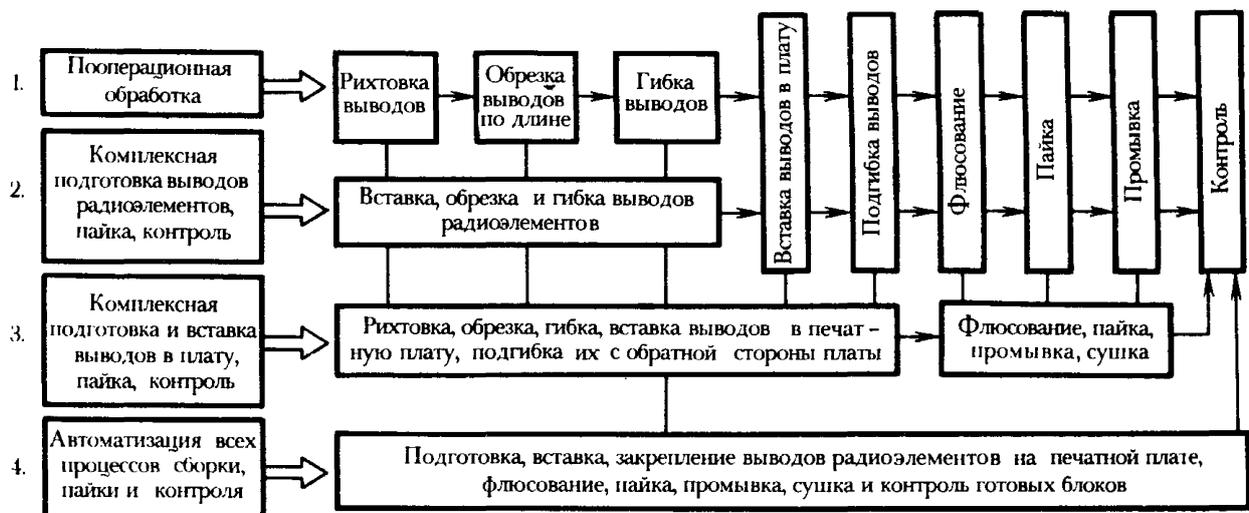


Рисунок 2.36 – Информационная процедурная модель – последовательность типовых процессов сборки и монтажа узлов и блоков РЭС на печатных платах

2.3.2 Теоретические основы моделирования систем РЭС

Построение любой модели для сложного РЭС начинают с блочного формализованного описания объекта моделирования, т.е. составлению полного описания предшествует анализ отдельных «элементарных» процессов, протекающих в объекте моделирования. Полная модель РЭС получается как комбинация вариантов моделей отдельных блоков.

Решаемые с помощью моделирования задачи исследования сложных РЭС подразделяются на три класса:

- 1) хорошо структурированные или количественно сформулированные задачи, в которых существенные зависимости выяснены настолько точно, что могут быть выражены в числах или символах;
- 2) неструктурированные или качественно выраженные задачи, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик, количественные зависимости между которыми не известны;
- 3) слабо структурированные или смешанные задачи, содержащие как качественные, так и количественные элементы.

Структура модели большого РЭС показана на рисунке 2.37, где Y – вектор выходов. Для определения структуры математической модели в таком виде (т.е. как преобразователь типа «черного ящика» со многими входами и выходами) необходимо выяснить, какие именно входы и выходы объекта будут включены в его модель.



Рисунок 2.37 – Структура модели большого РЭС

При моделировании сложных РЭС часто применяют декомпозицию моделей [5]. Для определенности процесса декомпозиции введем численную меру сложности модели. В основу этой меры положим трудоемкость синтеза модели, т.е. затраты, необходимые для создания модели. Назовем эту меру **сложностью**. Сложность на стадии анализа (стадии «черного ящика») должна учитывать лишь число входов n и выходов m модели (для простоты не будем различать управляемые и неуправляемые входы). Пусть сложность имеет вид $L = L(n, m)$. Например, $L = n^\gamma m$, где $\gamma > 1$, так как число входов сильнее влияет на сложность, чем число выходов. Величину γ следует определять в зависимости от того, во сколько раз увеличивается трудоемкость синтеза модели при увеличении числа ее входов на единицу.

Функцию сложности в некоторых случаях можно считать аддитивной, т.е. если модель объекта состоит из нескольких (g) подсистем, то общая сложность равна сумме сложностей этих подсистем, т.е. $L = \sum_{i=1}^g L_i$, где L_i – сложность i -й подсистемы исходного объекта.

Учитывая сказанное, процесс декомпозиции модели можно рассматривать как процесс минимизации ее сложности, т.е. решение следующей минимизационной задачи:

$$L_D \rightarrow \min_{D \in \{D\}} \Rightarrow D^*,$$

где D – операция декомпозиции; $\{D\}$ – множество допустимых вариантов декомпозиции; D^* – оптимальная декомпозиция, минимизирующая сложность L декомпозируемой системы.

Пример. Рассмотрим пример декомпозиции РЭС на две различные подсистемы ПС1 и ПС2 N различными способами (рисунок 2.38). Это означает, что множество $\{D\}$ состоит из N различных вариантов, для которых числа связей k и q принимают различные значения. Хорошей декомпозицией следует считать ту, в которой эти числа минимальны. Действительно, используя приведенную выше меру сложности, получаем:

$$L = L(k, q) = (n + q)^k + k^q(m + q).$$

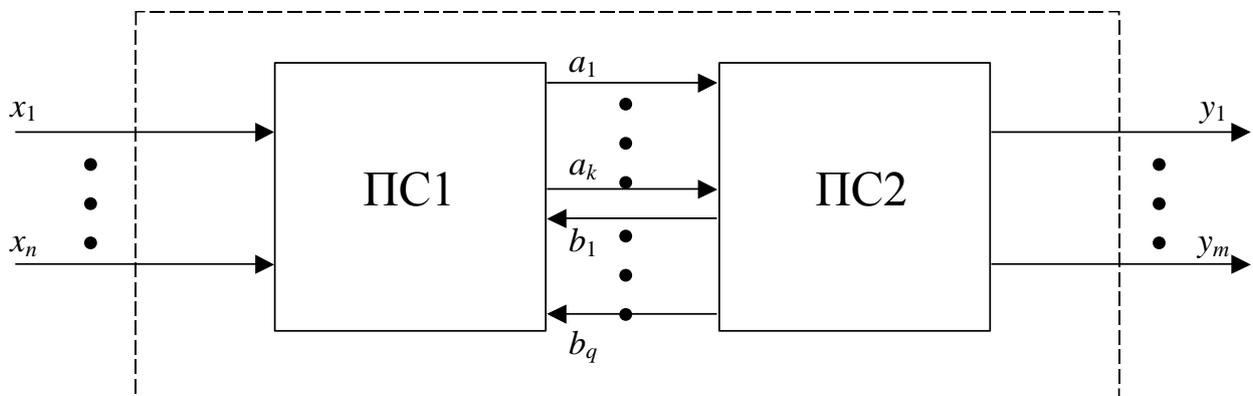


Рисунок 2.38 – Пример декомпозиции сложного РЭС на две подсистемы

Оптимальной декомпозицией D^* из $\{D\}$ будет та, которая минимизирует $L(k, q)$. Пусть D_i – i -я декомпозиция, которая определяется двумя числами:

$$D_i = \langle k_i, q_i \rangle, i = 1, \dots, N.$$

Решение получаем в виде $D^* = D_i$, если

$$L(k_i, q_i) = \min_{i=1, \dots, N} \{L(k_i, q_i)\}.$$

Таким образом, цель декомпозиции модели состоит, прежде всего, в том, чтобы упростить последующий синтез модели объекта «расщеплением»

ее на более простые подсистемы. Этот процесс должен производиться с учетом априорной информации о структурных особенностях объекта.

Рассмотрим множество систем $C = \{C_k\}$, $k = 1, \dots, K$. Для любой отдельной системы $C_{k_0} \in \{C_k\}$ остальные C_k , для которых $k \neq k_0$, есть среда M . C_k можно рассматривать как множество непересекающихся подсистем. Подсистему также можно рассматривать состоящей из множества непересекающихся подсистем низшего уровня.

Для подсистем самого нижнего уровня в иерархии определений, задающих разбиение множества $\{C_k\}$ на непересекающиеся подмножества, описания соответствуют их экспериментальным свойствам. Систему, для которой все свойства определены экспериментально (т.е. описание ее дано не через описание множества подсистем, ее составляющих), назовем *элементом* \mathcal{E} . В иерархии определений элементы находятся на самом нижнем уровне:

$$C_k = \{\mathcal{E}_{c, k, l}\}, \quad l = 1, \dots, L_{c, k}.$$

Описание свойств подсистем и систем более высоких уровней может быть дано через описание свойств подсистем более низкого уровня.

Экспериментируя с некоторой подсистемой C_k как с элементом (т.е. не разделяя на подсистемы), можно получить ее описание и тем самым уменьшить количество подсистем в модели.

Состояние всей совокупности подсистем $\{C_k\}$, а значит, и всей системы C , находящейся на самом высоком уровне в системе определений, обозначим X :

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n\}; \quad X \in \{X\},$$

где $\{X\}$ – пространство состояний совокупности рассматриваемых систем C_k ; $\{X_k\}$ – пространство состояний C_k ; $\{X_M\}$ – пространство состояний среды M (эти пространства имеют общие координаты); x_j – координата вектора пространства состояний – действительное число, обозначающее величину, полученную при физических измерениях или наблюдениях.

Любой подсистеме C_k соответствует совокупность свойств (совокупность закономерностей ее функционирования):

$$\Omega = \{\omega_h\}, \quad h = 1, 2, \dots, H.$$

где ω_h – закономерность функционирования C_k в определенных условиях.

Свойства C_k проявляются в результате взаимодействия со средой; в различных условиях могут проявляться различные свойства – закономерности функционирования системы или элемента.

Закономерность ω_h представляет собой *совокупность описаний* множества частных закономерностей (ω_q), проявляемых системой в условиях, которые соответствуют отдельным конкретным экспериментам. Закономер-

ность ω_h – это функциональное соотношение, которое может быть задано как в виде формулы (некоторой аналитической зависимости), так и в виде таблицы отдельных пар чисел, соответствующих ω_q (значения аргумента и функции, заданные на некотором подмножестве или всем пространстве состояний $\{X_q\}$).

Таким образом, $\omega_h = \{\omega_q\}$, $q = 1, 2, \dots, Q_h$, где ω_q – экспериментальный физический факт, выявляющий элементарное свойство системы и проявляющийся в определенных условиях.

Началу процесса функционирования C_k в соответствии с ω_q , т.е. конкретной реализации физической закономерности, однозначно соответствует начальное состояние среды – $X_{M,t}^0$ и начальное состояние подсистем C_k – $X_{C,t}^0$, где состояние M – это $X_M = (x_{M1}, \dots, x_{Md})$, а состояние C_k – это $X_C = (x_{c1}, \dots, x_{cy})$.

В каждый момент времени t система C и среда M находятся в одном определенном состоянии $(X_{C,t}, X_{M,t})$, которое в общем случае может быть известно лишь с некоторой вероятностью.

Событием в C назовем всякое изменение состояния X_C . Изменение можно зафиксировать только сравнением векторов, соответствующих состояниям C в различные моменты времени t и $t + \varepsilon$ ($\varepsilon > 0$).

Рассмотрим события, происходящие в результате взаимодействия системы и среды. Обозначим событие в C_k как $X_{C,t,t+\varepsilon} = \langle X_{C,t}, X_{C,t+\varepsilon} \rangle$; событие в среде M – как $X_{M,t,t+\varepsilon} = \langle X_{M,t}, X_{M,t+\varepsilon} \rangle$.

Результат взаимодействия – это пара событий (событие в отдельной системе C_k и событие в среде):

$$\langle \omega_{C,M,t,t+\varepsilon} \rangle = \{ X_{C,t,t+\varepsilon}, X_{M,t,t+\varepsilon} \}.$$

При моделировании удобно наблюдать за изменениями в полной системе C через изменения в отдельных подсистемах C_k .

Всякое взаимодействие отдельной подсистемы C_{k0} с другими $C_k \in M$ порождает пары событий, наблюдаемых в C_{k0} и в M , разделенных между собой во времени интервалом $\tau = t' - t$, имеющем, в общем случае, случайную продолжительность.

Взаимодействием элементов системы, или взаимодействием элемента системы со средой, назовем пары событий, отнесенные к различным моментам времени t и t' ($t' \geq t$). Причем событию $\langle \omega_{C,M,t} \rangle$, отнесенному к моменту t (процесс изменений в $\langle X \rangle$, заканчивающийся в момент t), будет всегда с определенной вероятностью соответствовать событие $\langle \omega_{C,M,t'} \rangle$ (процесс заканчивается в момент t').

Любое свойство системы проявляется в определенных условиях в результате взаимодействия со средой. Конкретному эксперименту ω_q всегда соответствуют в определенный момент времени t определенные *условия*, возникающие в результате некоторого предшествующего события в C . Эти условия заключаются в следующем:

1) система C должна находиться в одном из допустимых для данного эксперимента ω_q состояний $X_q \in \{X\}_q$;

2) для каждой из координат вектора $X_q - X_{q,j}$ определяется значение функции $\psi_{q,j}$ в момент времени t :

$$\psi_{q,j} = 1, \text{ если } x_{q,j} \in \{x_j\}^*, \omega, q, j;$$

$$\psi_{q,j} = 0, \text{ если } x_{q,j} \notin \{x_j\}^*, \omega, q, j,$$

где $\{x_j\}^*, \omega, q, j$ – множество допустимых состояний по координате j в момент времени t .

Событие в системе C , соответствующее появлению условий, определяющих проявление свойства ω_q , выявляется функцией

$$*\omega_q = *\omega_q(\psi_{q,1}, \psi_{q,2}, \dots, \psi_{q,j}, \dots, \psi_{q,N}).$$

Здесь $*\omega_q$ принимает значение 1, если $X_q \in \langle X_q \rangle$, и 0 – в противном случае. Если $*\omega_q = 0$, то никаких событий не происходит; если $*\omega_q = 1$, т.е. возникают условия, в которых начинается физический процесс, соответствующий ω_q , то наблюдаемое событие

$$\langle \omega_{C,M,t,t+\varepsilon} \rangle = \{ X_{C,t,t+\varepsilon}, X_{M,t,t+\varepsilon} \}.$$

Событию в $C_k X_{C,t,t+\varepsilon}, t'$, которое рассматривается в описании ω_q , соответствует оператор

$$\varphi_q^*(X_{t'-\varepsilon'}, \varepsilon + \varepsilon' \leq \tau,$$

где φ_q^* задает отображение $X_{t'-\varepsilon'}$ в $\{X\}_q, t'$.

Оператор $\varphi = \varphi^*(\varphi^*(X_t))$ задает отображение X_t в $\{X\}_q, t'$.

Конкретный вид функций $*\omega$ и φ для всех ω_q , т.е. для всех возможных взаимодействий по всем C_k , задает пересечение $\{X_C, K\}$ и $\{X_M\}$ по координатам и тем самым определяет структуру C (множество элементов системы и их взаимодействия).

Изменения структуры системы определяются изменением состава C , т.е. свойств элементов системы в результате их взаимодействий. Описание изменений системы C состоит в описании изменений $*\omega, \varphi$ для различных φ_q при всевозможных взаимодействиях. Если считать элементарными терминами составляющие ω_q : $*\omega, \varphi, \varphi^*$, то изменения структуры могут описываться

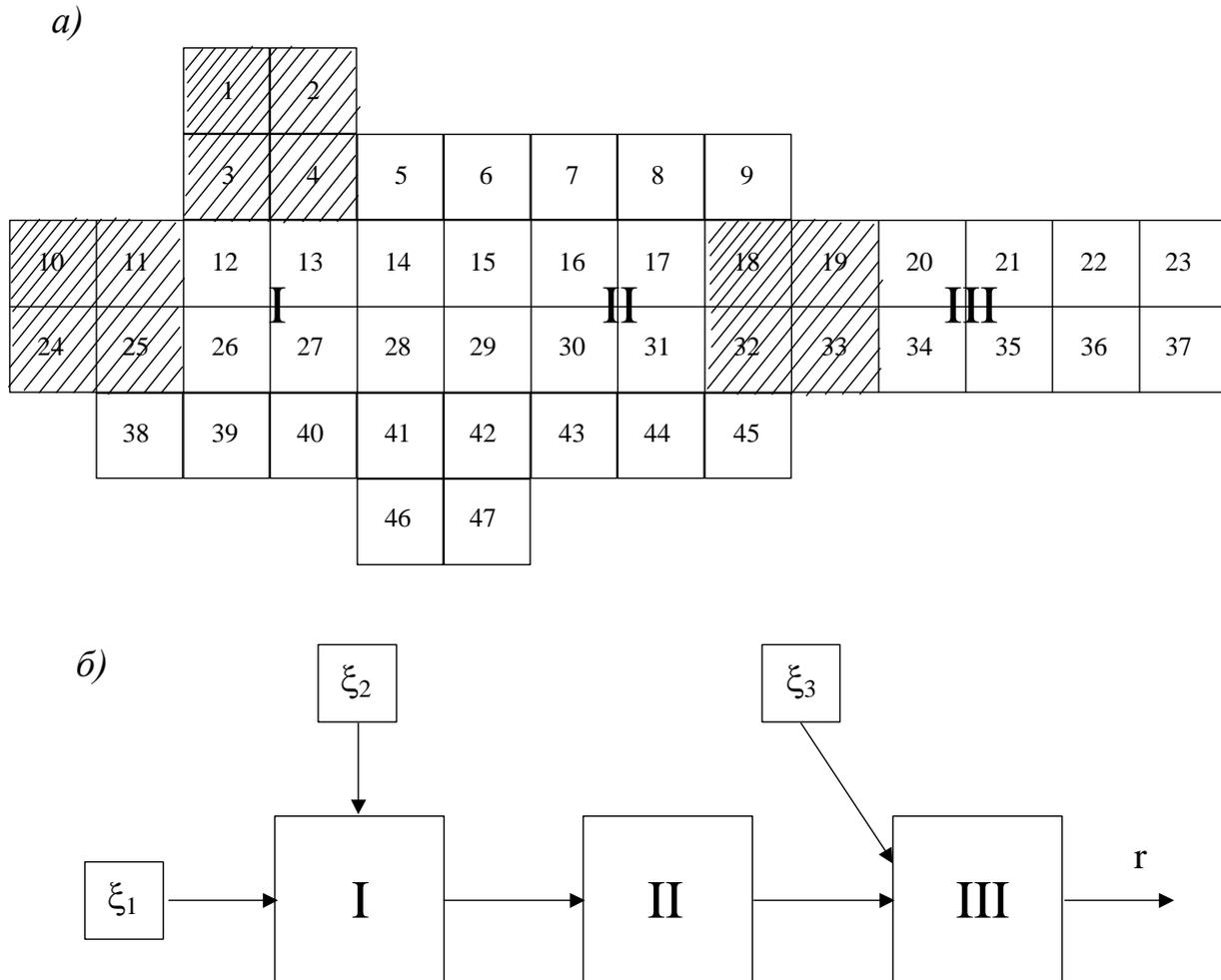


Рисунок 2.39 – Исходное РЭС как сумма подсистем 1-47 (a) и их декомпозиция (б)

Рассмотрим способы замены блока, воздействующего на исследуемую часть системы. Это воздействие зависит не только от структуры блока, но и от реакции со стороны исследуемой части. Поэтому характеристики воздействия в общем случае нельзя однозначно определить при автономном исследовании блока, и его нельзя заменить одним, не зависящим от исследуемой части эквивалентом.

Блок модели, воздействующей на исследуемую часть системы, можно заменить множеством упрощенных эквивалентов, не зависящих от исследуемой части. Каждый эквивалент формирует одно из возможных воздействий в пределах заданного диапазона, а моделирование проводится в нескольких (по числу воздействий) вариантах.

Применим рассмотренные правила к схеме рисунка 2.39. При удалении конечных элементов (22, 23, 36, 37 на рисунке 2.39, a), составляющих описание взаимодействующего с системой «потребителя», часто невозможно наглядно представить результаты моделирования. Поэтому функционирование этих элементов следует отразить при конструировании критерия r интерпретации результатов (рисунок 2.39, б).

Ряд элементов (14, 15, 28, 29) заменяются пассивными связями, транслирующими без искажения информацию, которой обмениваются сохранившиеся элементы. Некоторая часть элементов заменяется внешними воздействиями. Например, элементы 10, 11, 24, 25 заменены воздействием ξ_1 , элементы 1-4 – воздействием ξ_2 . Возможны комбинированные замены: элементы 18, 19, 32, 33 заменены пассивной связью и воздействием ξ_3 . Оставшиеся элементы группируются в блоки I, II, III. Описания этих блоков могут быть полностью воспроизведены в модели или, если это необходимо, заменены упрощенными операторами, характеризующими отдельные аспекты функционирования соответствующей части системы.

Пусть характеристиками состояний подпроцессов в блоках A_i будут соответственно функции $z_{ij}, j = 1, 2, \dots, r_i$. В качестве параметров для описания подпроцессов A_i выберем соответственно величины $\beta_{il}, l = 1, 2, \dots, h_i$. Совокупность математических моделей для подпроцессов A_i , рассматриваемых совместно для всех $i = 1, 2, \dots, m$, в общем случае еще не составляет математической модели для процесса A . Эта совокупность характеризует отдельные изолированные подпроцессы A_i :

$$\Phi_{A_i q}(z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ir_i}, \beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{ih_i}, t) = 0.$$

Кроме этих соотношений, необходимо иметь соотношения вида

$$\Psi_p(x_1, x_2, \dots, x_n, a_1, \dots, a_k, z_{11}, \dots, z_{mr}, \beta_{11}, \dots, \beta_{mh}, t) = 0, \\ p = 1, 2, \dots, s,$$

связывающие характеристики z_{ij} подпроцессов A_i с характеристиками x_1, x_2, \dots, x_n процесса A . Совокупность соотношений двух последних видов может служить математической моделью процесса A . Получившаяся таким образом блочная модель (рисунок 2.39, б) предназначена для моделирования взаимодействия блоков через немногочисленные связи, пропускающие ограниченную и обозримую информацию.

Блочные модели являются естественным средством для исследования управляемых систем, конструктивно расчлененных на отдельные аппараты и установки. В связи с этим процесс построения моделей иерархичен: каждый блок (аппарат) в свою очередь допускает блочное представление. Это облегчает управление моделью и организацию (разделение) работ по ее программированию. Каждый блок может быть исследован автономно: аналитически, экспериментально или посредством специального «внутреннего» моделирования. При этом описание некоторых блоков может быть задано стохастически.

Совокупность алгоритмов, моделирующих элементы, с учетом алгоритмов их взаимодействия определяет исходный моделирующий алгоритм системы. В большинстве случаев исходный алгоритм нельзя положить в ос-

нову модели системы из-за его громоздкости и трудностей реализации на средствах используемой вычислительной техники, поскольку конечные цели моделирования элементов и всей системы различны. Исследователи, занимающиеся оценкой характеристик какого-либо конкретного элемента, разрабатывают моделирующий алгоритм так, чтобы получить оценки характеристик именно этого элемента с максимальной или заданной точностью. Конечные же цели моделирования системы в том, чтобы суммарная ошибка оценки выходных показателей системы не превосходила некоторых наперед заданных величин. В суммарную ошибку входят ошибки случайные (из-за конечного числа реализаций на модели) и детерминированные (обусловленные неточностями структурного описания элементарных процессов).

Обычно стремление точнее описывать процессы в элементах сопровождается усложнением моделирующих алгоритмов, что приводит к увеличению времени счета одной реализации и при ограниченном времени, отведенном на моделирование, – к уменьшению числа реализаций на модели системы. Это, в свою очередь, сопровождается увеличением случайных ошибок в получаемых оценках. Поиск компромиссного соотношения между случайными и детерминированными ошибками с учетом ошибок моделирования, обусловленных ограниченным объемом имеющихся данных, практически всегда связан с анализом допустимых упрощений, как исходных алгоритмов элементов, так и алгоритмов их взаимодействия.

Важное прикладное значение в проектировании РЭС имеет частный случай процесса декомпозиции технической системы на подсистемы, который называется *компоновка*. С задачей компоновки конструктору РЭС приходится сталкиваться уже на этапе эскизного проектирования, когда распределяются конструктивные ресурсы РЭС (количество и типы компонентов, масса, объем и др.). Если подойти к решению формально, то при распределении электрорадиоэлементов может оказаться, что, например, катушка индуктивности какого-то колебательного контура окажется в одном блоке, а емкость в другом. Очевидно, правильное решение задачи разбиения возможно лишь при учете функционального назначения электрорадиоэлементов в схеме.

Часто при компоновке требуется обеспечить конструктивно-технологические ограничения, вызванные требованиями энергетической, тепловой и механической совместимости некоторых модулей, условиями простоты эксплуатации и т.п. Вследствие этого некоторые компоненты должны быть жестко закреплены за определенными структурными уровнями. Решая задачу распределения ресурсов, нельзя не принимать во внимание вопросы электрического соединения компонуемых модулей между собой. Очевидно, чем больше электрических соединений расположено внутри структурных уровней, тем меньше суммарная длина соединений и число разъемных соединений между структурными уровнями. В этом случае проще обеспечить и ограничение на количество связей между структурными уровнями, которое обусловлено числом контактов в выбранных соединительных разъемах или

заданным числом выводов стандартного корпуса проектируемой микросхемы.

Для формального решения задачи компоновки необходимо перейти от электрической принципиальной схемы устройства к графу [7]. При этом каждый компонент представляется вершиной графа, а межкомпонентные соединения – ребрами графа (см. рисунок 2.23). Если в качестве критерия оптимальной компоновки принят минимум числа внешних связей между конструктивными частями (что наиболее распространено), то задача компоновки математически формулируется как задача разрезания графа $G(X, U)$ на подграфы $G_i(X_i, U_i)$, $i \in I = \{1, 2, 3, \dots, l\}$ с максимальной связностью. Здесь

X – множество вершин графа;

U – множество его ребер;

l – число кусков, на которое разбивается граф.

При разрезании графа должны быть выполнены следующие условия:

$$\begin{aligned} G_i &\neq \emptyset; & i \in I; \\ G_i &\neq G_j; & X_i \cap X_j \neq \emptyset; & U_i \cup U_j = |U_{ij}|; \\ & i, j \in I; & i \neq j; & \bigcup_{i \in I} G_i = G, \end{aligned}$$

где $|U_{ij}|$ – множество ребер, попадающих в разрез между подграфами G_i и G_j .

Под оптимальным понимается такое разрезание графа G , при котором:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l |U_{ij}| = \min; \quad i \neq j,$$

т.е. число соединительных ребер всех кусков графа минимально.

Для оценки качества разбиения графа G на куски пользуются также коэффициентом разбиения $\Delta(G)$:

$$\Delta(G) = \frac{\sum_{i=1}^l |U_{ii}|}{K},$$

который представляет собой отношение суммарного числа внутренних ребер (ребер подмножества U_{ii}) к суммарному числу соединительных ребер (ребер подмножества U_{ij}). Очевидно, что оптимальным разбиениям для одного и того же графа соответствуют наибольшие значения $\Delta(G)$.

Суть последовательных алгоритмов компоновки заключается в следующем. Сначала по определенному правилу выбирают вершину или группу вершин, к которым затем присоединяют смежные вершины графа для образования первого куска. Затем процесс повторяют до получения заданного разбиения.

Суть итерационных алгоритмов компоновки заключается в выполнении первого случайного (или приближенного) разбиения графа на куски с после-

дующими переустановками вершин или групп вершин из одного куска в другой с целью улучшения заданного показателя качества.

Пример последовательного алгоритма компоновки системы РЭС. Пусть задан граф схемы РЭС (рисунок 2.40) $G(X, U)$ и подмножество запрещенных ЭРЭ, жестко закрепленных за определенными кусками $Q \subset X, |Q| = q$. Требуется найти такое разбиение графа G на l кусков G_1, G_2, \dots, G_l , чтобы число соединительных ребер графа $K \rightarrow K_{\min}$ и любые две запрещенные вершины лежали в различных кусках.

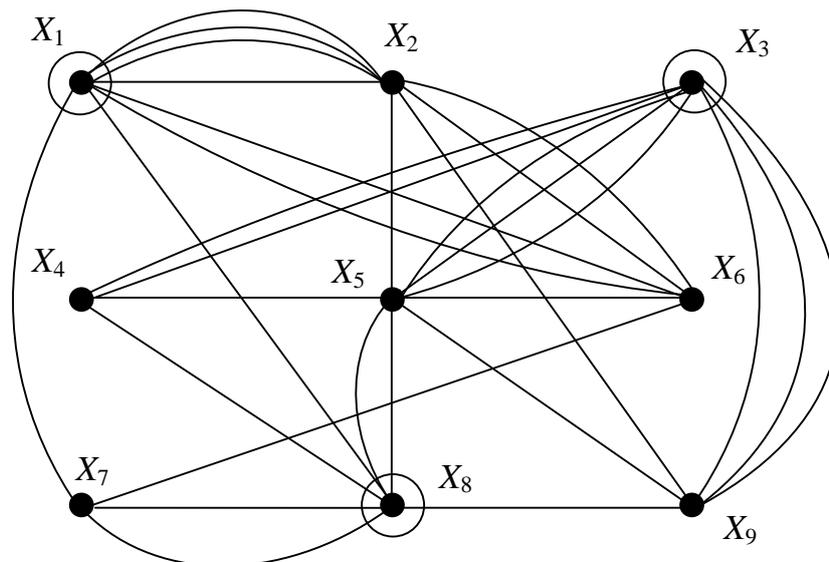


Рисунок 2.40 – Граф схемы РЭС

Матрица смежности графа имеет вид:

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	
x_1	0	4	0	0	0	2	1	1	0	$\rho(x_1) = 8$
x_2	4	0	0	0	1	2	0	0	1	$\rho(x_2) = 8$
x_3	0	0	0	2	3	0	0	0	3	$\rho(x_3) = 8$
x_4	0	0	2	0	1	0	0	1	0	$\rho(x_4) = 4$
x_5	0	1	3	1	0	1	0	2	1	$\rho(x_5) = 8$
x_6	2	2	0	0	1	0	1	0	0	$\rho(x_6) = 6$
x_7	1	0	0	0	0	1	0	2	0	$\rho(x_7) = 4$
x_8	1	0	0	1	2	0	2	0	1	$\rho(x_8) = 7$
x_9	0	1	3	0	1	0	0	1	0	$\rho(x_9) = 6$

Необходимо разбить граф на три равных куска. Множество запрещенных вершин: $Q = \{x_1, x_3, x_8\}$.

Построение первого куска G_1 . Выбирается запрещенная вершина x_1 : $X_1 = \{x_1\}$. Рассматривается множество смежных вершин $\Gamma x_1 = \{x_2, x_6, x_7\}$. Вер-

шина x_8 в Γx_1 не включается, так как она является запрещенной. Относительный вес вершин множества Γx_1 определяется по формуле:

$$\delta(x_g) = \rho(x_g) - \sum_{k=1}^{n_1} r_{gk},$$

где $\rho(x_g)$ – локальная степень вершин x_g ; $\sum_{k=1}^{n_1} r_{gk}$ – число ребер, соединяющих вершину x_g с вершинами множества X_1 ; $n_1 = |X_1|$.

$$\delta(x_2) = \rho(x_2) - \sum_{k=1}^1 r_{2,j} = 8 - 4 = 4;$$

$$\delta(x_6) = \rho(x_6) - \sum_{k=1}^1 r_{6,j} = 6 - 2 = 4;$$

$$\delta(x_7) = \rho(x_7) - \sum_{k=1}^1 r_{7,j} = 4 - 1 = 3.$$

Выбирается вершина x_7 , имеющая наименьший относительный вес и помещается в кусок G_1 . Тогда $X_1 = \{x_1, x_7\}$. Если бы несколько вершин имели одинаковые минимальные веса, то следовало бы выбрать ту из них, которая бы имела наибольшую локальную степень. Строится множество смежных вершин первого куска (запрещенные вершины сюда не включаются):

$$\Gamma x_1 \cup \Gamma x_7 = \{x_2, x_6\}.$$

Определяется относительный вес для полученного множества:

$$\delta(x_2) = \rho(x_2) - \sum_{k=1}^2 r_{2,j} = 8 - 4 - 0 = 4;$$

$$\delta(x_6) = \rho(x_6) - \sum_{k=1}^2 r_{6,j} = 6 - 2 - 1 = 3.$$

Вершина x_6 с наименьшим относительным весом помещается в G_1 ; тогда $X_1 = \{x_1, x_6, x_7\}$. Так как $|X_1| = 3$, то кусок G_1 сформирован. После удаления его из графа G получаем граф $G^* = G \setminus G_1$ с матрицей смежности:

	x_2	x_3	x_4	x_5	x_8	x_9	
x_2	0	0	0	1	0	1	$\rho^*(x_2) = 2$
x_3	0	0	2	3	0	3	$\rho^*(x_3) = 8$
$R^* = x_4$	0	2	0	1	1	0	$\rho^*(x_4) = 4$
x_5	1	3	1	0	2	1	$\rho^*(x_5) = 8$
x_8	0	0	1	2	0	1	$\rho^*(x_8) = 4$
x_9	1	3	0	1	1	0	$\rho^*(x_9) = 6$

Построение второго и третьего куска G_2 и G_3 . Из графа G^* выделяются части G_2 и G_3 . Из множества G^* выбирается очередная запрещенная вершина x_3 и помещается в $X_2 = \{x_3\}$. Тогда $\Gamma_{x_3} = \{x_4, x_5, x_9\}$. Относительные веса вершин Γ_{x_3} :

$$\delta^*(x_4) = 4 - 2 = 2;$$

$$\delta^*(x_5) = 8 - 3 = 5;$$

$$\delta^*(x_9) = 6 - 3 = 3.$$

Вершина x_4 с наименьшим относительным весом $\delta^*(x_4)$ помещается в кусок G_2 , тогда $X_2 = \{x_3, x_4\}$. Составляется множество $\Gamma_{x_3} \cup \Gamma_{x_4} = \{x_5, x_9\}$ и определяются относительные веса его вершин:

$$\delta^*(x_5) = 8 - 3 - 1 = 4;$$

$$\delta^*(x_9) = 6 - 3 - 0 = 3.$$

В множество G_2 включается вершина x_9 , имеющая наименьший относительный вес $\delta^*(x_9)$. Тогда $X_2 = \{x_3, x_4, x_9\}$. Так как $|X_2| = 3$, построение куска G_2 закончено. Оставшиеся вершины образуют кусок G_2 с вершинами $X_3 = \{x_2, x_5, x_8\}$. Граф G после разбиения показан на рисунке 2.41.

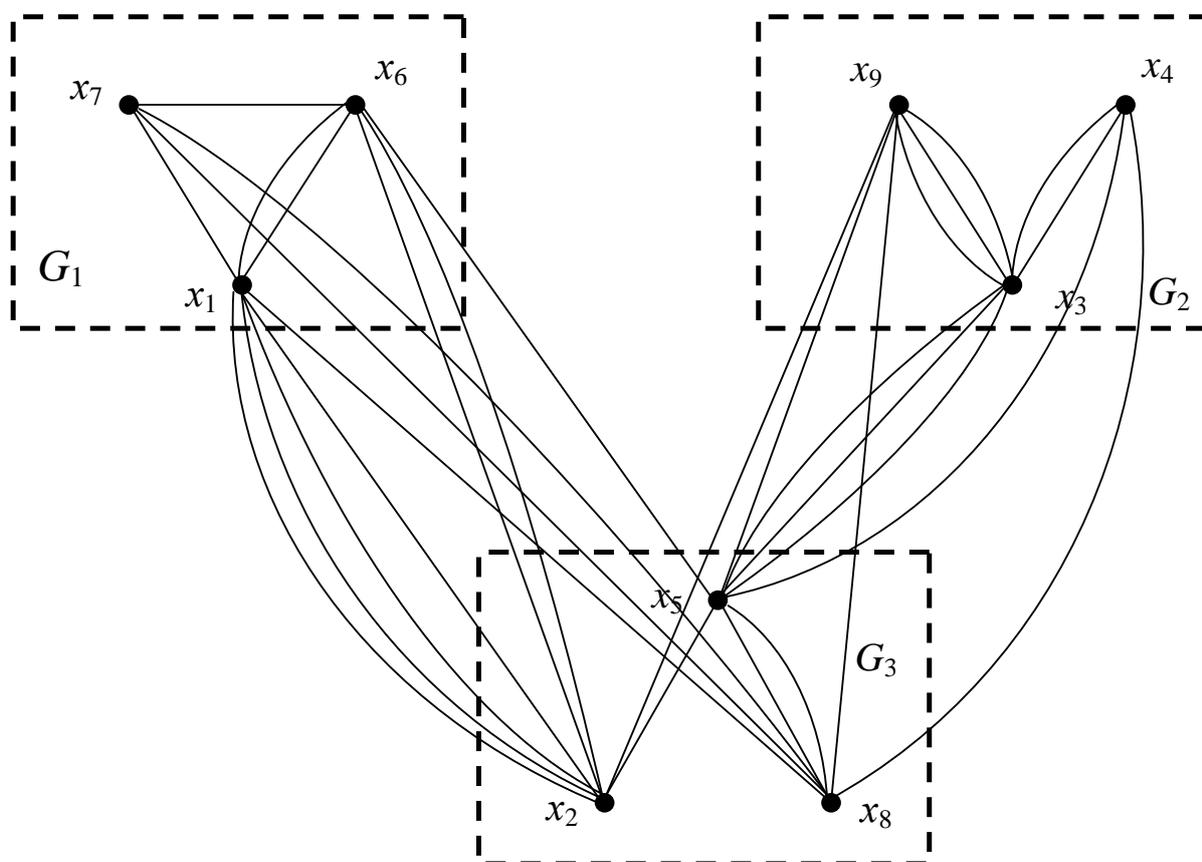


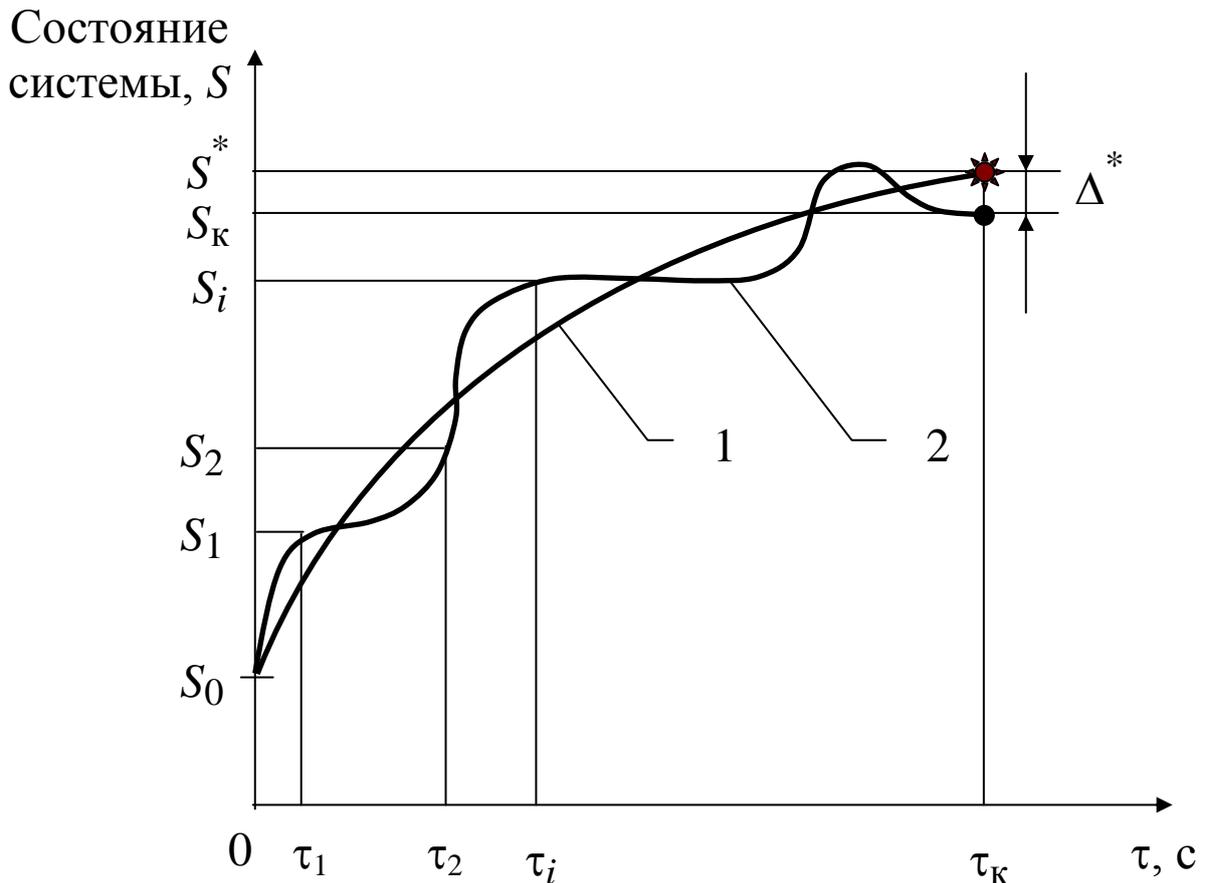
Рисунок 2.41 – Компоновочное разбиение графа схемы РЭС

Число соединительных ребер $K = 18$, коэффициент разбиения

$$\Delta(G) = \frac{\sum_{i=1}^l |U_{ii}|}{K} = \frac{12}{18} \approx 0.67.$$

2.4 Способы управления системами

Для того, чтобы управлять системой, необходимо иметь ее адекватную модель. Степень адекватности зависит от цели управления. В общем случае графическая модель процесса управления системой приведена на рисунке 2.42



1 – идеальная траектория; 2- реальная траектория

S_0, S^* - реальное и конечное (целевое) состояние;

Δ^* - ошибка достижения цели;

$S_i = f(\tau_i)$ – функция состояния системы от времени

Рисунок 2.42 – Графическая модель процесса управления системой

Как следует из рисунка 2.42, процесс управления системой – это целенаправленное изменение ее состояния в нужном направлении развития. Конкретный вид функции $S_i = f(\tau_i)$ – это траектория управления, которая зависит от способа управления.

Существуют следующие способы управления:

- итерационный;

- управление по отклонению;
- программный;
- целевой;
- структурный.

Комбинации указанных способов дают комплексные методы управления – программно-целевой, программно-структурный, структурно-целевой и т.п.

Итерационный способ управления – это способ проб и ошибок. Он характерен для случая, когда нет адекватной модели управляемой системы. Данный способ не гарантирует достижения системой целевого состояния даже при больших ресурсных затратах.

Управление по отклонению предполагает наличие обратной связи в системе, позволяющей измерять в каждый момент времени состояние системы S_i , сравнивать с заданной траекторией управления и вырабатывать управляющие воздействия в нужном направлении. На рисунке 2.43 приведены возможные виды управления по отклонению в зависимости от вида управляющего устройства (человек или технический объект).

В программном управлении изменение функции $S_i = f(\tau_i)$ осуществляется по предварительно разработанной программе, исходя из изучения поведения адекватной модели системы. В этом случае обратной связи в системе управления может не быть, т.к. все данные о состоянии системы черпаются из ее модели.

Целевое управление предполагает изменение целей развития системы S_i^* на различных этапах управления. Цели могут изменяться в зависимости от внешних факторов, ресурсов и состояния системы.

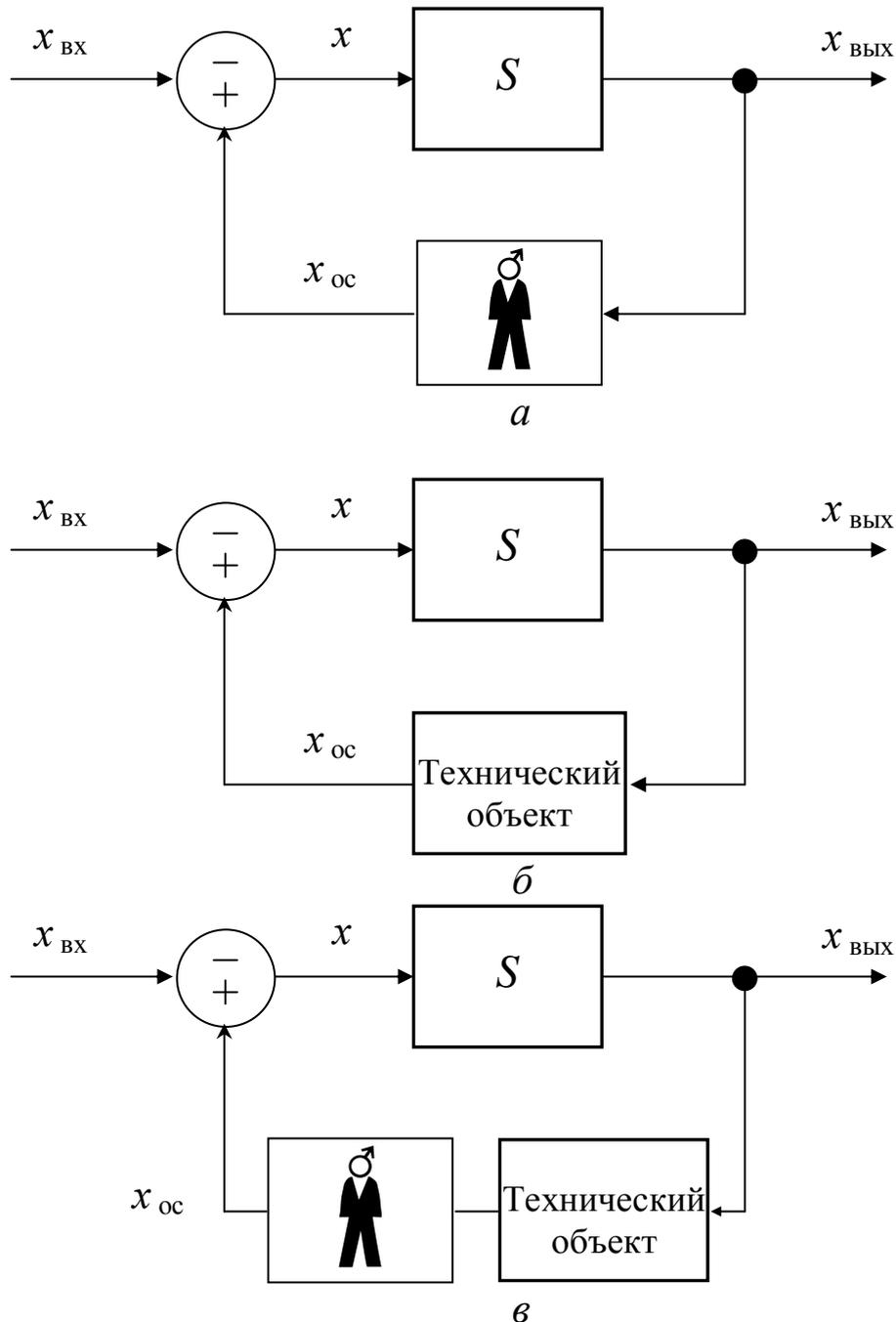
При структурном управлении для достижения состояния S^* меняется структура системы, т.е. ее количественный состав и связи между частями.

В программно-целевом управлении цели меняются по разработанной программе, в программно-структурном по программе меняется структура, а в структурно-целевом управлении изменяются цели развития каждой составной части системы.

Например, если рассмотреть управление качеством вновь разрабатываемых телевизионных приемников, то управление итерационным способом может быть реализовано за счет информационного анализа существующего уровня качества телевизоров на мировом уровне и многочисленных попыток модернизации конкретных их типов на конкретных предприятиях.

Управление качеством по отклонению предполагает наличие системы, которая непрерывно отслеживает качество выпускаемых телевизоров, исходя из рекламаций и анализа спроса на те или иные марки. Программное управление качеством предполагает наличие программы развития качества технических объектов на определенный период времени. При целевом управлении устанавливаются временные интервалы, в течение которых должны меняться

количественные показатели качества и устанавливаются их конкретные значения. В программно-целевом управлении разрабатывается программа развития количественных показателей качества, в программно-структурном управлении структура телевизора изменяется по заранее принятой программе, а в структурно-целевом управлении – последовательно улучшаются количественные показатели составных частей выпускаемых телевизионных приемников.



а) – ручное управление; б) – автоматическое управление;
 в) – автоматизированное управление

Рисунок 2.43 – Виды управления по отклонению

Для математического описания управления системами создана и успешно используется теория автоматического управления, системные основы которой рассмотрены ниже.

В основу управления системами РЭС положен принцип поддержания постоянного значения управляемого сигнала y или его изменение по определенной программе. При этом программа либо заранее задается, либо изменяется во время эксплуатации системы в зависимости от конкретных условий. Программы управления могут быть **временными**, т.е. $y = y(t)$, и **параметрическими**, т.е. задаваться в текущих координатах: $y = y(s_1, s_2, \dots, s_n)$, где s_1, s_2, \dots, s_n - некоторые физические параметры, характеризующие текущее состояние РЭС в процессе управления.

Закон управления, т.е. алгоритм формирования наиболее целесообразного сигнала управления z , должен обеспечивать требуемую точность, устойчивость и качество процесса управления. Математически закон управления может быть представлен уравнением управляющего устройства. Различают **линейные** и **нелинейные** законы управления. Линейные законы описываются линейными уравнениями, для которых разработаны многочисленные прикладные методы исследования устойчивости, точности и качества процесса управления. Для формирования линейных законов управления применяются конкретные схемы технических устройств. Нелинейные законы описываются разнообразными нелинейными уравнениями. Несмотря на отсутствие общей теории нелинейных законов, исследования и опыт применения отдельных частных видов нелинейных законов показывают, что их использование в системах управления значительно расширяет возможности целесообразного изменения точности и качества процессов управления. Нелинейные законы управления можно сгруппировать следующим образом:

а) функциональные, при которых управляющее воздействие на объект выражается в виде нелинейной функции от отклонения управляемой величины, поступающей на вход системы управления;

б) логические, при которых управляющее воздействие изменяется по сложному логическому алгоритму;

в) оптимизирующие, при которых управляющее воздействие способствует оптимальному управлению объектом по какому-либо параметру, характеризующему систему управления или объект управления;

г) параметрические, когда закон управления выражается в виде нелинейной функции текущих координат, в которых задается параметрическая программа.

Следует отметить, что нелинейные законы управления могут быть связаны как с изменением параметров системы управления, так и с изменением ее структуры.

Теория систем управления изучает общие принципы построения систем

управления и методы исследования процессов в этих системах [13]. Перед ней ставятся задачи разработки методов синтеза, анализа, коррекции, экспериментального исследования и наладки систем управления. С помощью методов синтеза можно осуществлять выбор схемы взаимодействия элементов системы управления, а также параметров и характеристик этих элементов таким образом, чтобы система в целом удовлетворяла заданным требованиям к ее поведению в статике и динамике. Методы анализа систем управления позволяют определить их качественные показатели, а в случае их отличия от заданных - указать пути улучшения статических и динамических свойств системы. Изменение же статических и динамических свойств осуществляется с помощью методов коррекции. Методы экспериментального исследования и наладки систем управления дают возможность наиболее рационально и оптимально исследовать и настроить систему в реальных условиях работы.

В настоящее время разработка и проектирование систем управления представляет собой довольно сложную задачу, решение которой может быть достигнуто разными путями. Чтобы спроектировать систему управления, удовлетворяющую всем требованиям технического задания, обычно приходится просчитывать и сравнивать между собой несколько вариантов поэлементной и принципиальной схемы. Многозначность решения делает проектирование систем управления творческой инженерной задачей. Сложность ее решения в значительной степени зависит от вида дифференциальных уравнений, описывающих статические и динамические характеристики систем управления. Однако современный уровень развития математики часто оказывается недостаточным для разрешения некоторых задач теории систем управления. Тогда используют экспериментальное исследование и моделирование, которые облегчают расчеты и способствуют созданию приближенных инженерных методов решения задач.

При синтезе и анализе системы управления ее расчленяют на типовые звенья, которые различаются динамическими свойствами.

Типовые динамические звенья описываются определенными дифференциальными уравнениями. Это позволяет рассматривать качественные показатели системы управления вне зависимости от физической природы ее элементов. Поэтому в основу классификации звеньев положен вид дифференциального уравнения, которым могут описываться разнообразные устройства как по своей функции, так и по своему конструктивному оформлению.

Широко применяется операторная (символическая) форма записи дифференциальных уравнений. В операторной форме дифференциальные уравнения приобретают более простой вид, уменьшается объем записи, а при исследовании систем управления во многих случаях сокращаются промежуточные математические преобразования. В такой форме операцию дифференцирования обозначают следующим образом:

$$\frac{d}{dt} = p; \quad \frac{d^2}{dt^2} = p^2; \quad \dots; \quad \frac{d^n}{dt^n} = p^n,$$

а операцию интегрирования — обратной величиной:

$$\int_0^t dt = \frac{1}{p}; \quad \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} dt_1 dt_2 = \frac{1}{p^2}.$$

Используя операторную форму записи, можно, например, дифференциальное уравнение

$$a_0 \frac{d^3 x}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + a_2 \frac{dx}{dt} + a_3 x = f(t)$$

представить в виде

$$a_0 x p^3 + a_1 x p^2 + a_2 x p + a_3 x = f(t)$$

или

$$(a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3)x = f(t).$$

В общем виде дифференциальные уравнения звеньев систем управления записываются как

$$d(p)x_{\text{ВЫХ}} = kx_{\text{ВХ}}$$

или

$$d(p)x_{\text{ВЫХ}} = m(p)x_{\text{ВХ}},$$

где $x_{\text{ВХ}}$, $x_{\text{ВЫХ}}$ - соответственно входной и выходной параметры звена системы управления; k - коэффициент пропорциональности; $d(p)$ и $m(p)$ - операторные полиномы (многочлены) от p .

Если дифференциальные уравнения составлены при нулевых начальных условиях, то символ p можно рассматривать как алгебраическое число. Это позволяет для решения дифференциальных уравнений использовать алгебраические методы.

Основной характеристикой динамического звена является его передаточная функция, которая находится из дифференциального уравнения при нулевых начальных условиях как отношение изображений по Лапласу выходного и входного сигналов:

$$W(p) = \frac{x_{\text{ВЫХ}}(p)}{x_{\text{ВХ}}(p)}. \quad (2.8)$$

Зная передаточную функцию звена, можно определить его выходную величину, переходя от изображений к оригиналам, из выражения:

$$x_{\text{ВЫХ}} = W(p) \cdot x_{\text{ВХ}}.$$

Для оценки динамических свойств звеньев используют **временные** и **частотные** характеристики. К временным характеристикам звеньев относятся их переходные функции. Переходная функция звена $h(t)$ определяет его реакцию на единичную ступенчатую функцию $x_{\text{ВХ}} = 1(t)$ (рисунок 2.44, а) и характеризует переход звена от одного установившегося состояния к другому (рисунок 2.44, б). Выражение функции $h(t)$ можно получить посредством ре-

шения дифференциального уравнения, которым описывается динамика данного звена при $x_{\text{вх}}=1(t)$ и нулевых начальных условиях.

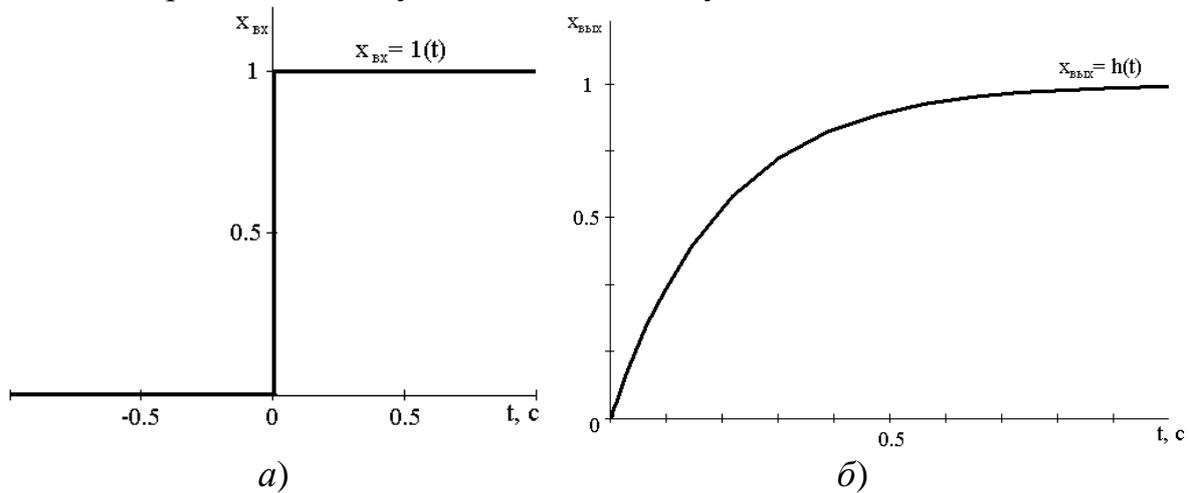


Рисунок 2.44 – Единичная ступенчатая функция (а) и отклик системы на ступенчатую функцию (б)

За единичную ступенчатую функцию принимают скачкообразное воздействие с величиной скачка, равной единице при $t > 0$:

$$x_{\text{вх}} = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ 1 & \text{при } t > 0. \end{cases}$$

Другим распространенным видом входного воздействия в системах управления является единичная импульсная входная функция или дельта-функция, представляющая собой производную единичной ступенчатой функции:

$$\delta(t) = 1'(t).$$

Дельта-функции свойственна тождественность нулю повсюду, кроме точки $t = 0$, в которой она стремится к бесконечности (рисунок 2.45, а):

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = 0, \\ 0 & \text{при } t \neq 0. \end{cases}$$

Площадь дельта-функции равна единице, т.е. $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$. Примером импульсного воздействия может быть кратковременный ток короткого замыкания генератора, который отключается плавкими предохранителями, кратковременный удар нагрузки на валу электродвигателя и т. д.

Реакция динамического звена на единичную импульсную функцию называется **функцией веса** $\omega(t)$ (рисунок 2.45, б).

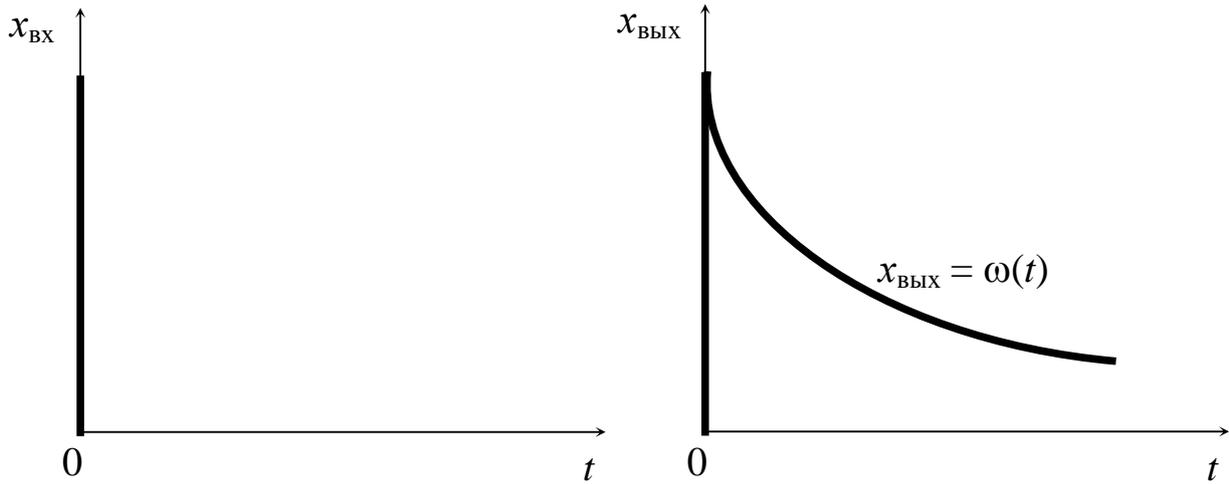


Рисунок 2.45 – Дельта-функция (а) и функция веса (б)

Связь между переходной и весовой функциями линейных звеньев выражается как:

$$\omega(t) = h'(t),$$

и наоборот:

$$h(t) = \int_0^t \omega(t) dt.$$

Рассмотрим частотную функцию, которая является важнейшей характеристикой динамического звена. При подаче на вход звена гармонического воздействия $x_{\text{ВХ}} = x_{\text{ВХ}} \sin \omega t$ ($x_{\text{ВХ}}$ – амплитуда; ω – угловая частота этого воздействия) на выходе этого звена в установившемся режиме будет получена также гармоническая функция вида $x_{\text{ВЫХ}} = x_{\text{ВЫХ}} \sin(\omega t + \varphi)$, отличающаяся от входной по амплитуде и по фазе. Представив входную и выходную гармонические функции в символической записи:

$$\begin{aligned} x_{\text{ВХ}} &= X_{\text{ВХ}} e^{j \omega t}, \\ x_{\text{ВЫХ}} &= X_{\text{ВЫХ}} e^{j(\omega t + \varphi)}, \end{aligned}$$

получим частотную передаточную функцию в виде:

$$W(j\omega) = A(\omega) e^{j\varphi} \quad (2.9)$$

или

$$W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega), \quad (2.10)$$

где $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ – модуль (амплитуда) и аргумент (фаза) частотной передаточной функции; $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ – вещественная и мнимая части частотной передаточной функции.

Поскольку частотная передаточная функция $W(j\omega)$ почти всегда дробно-рациональная, то ее модуль равен отношению модуля числителя к модулю знаменателя, т.е. отношению амплитуд выходного сигнала к входному. Аргумент или фаза этой же функции $W(j\omega)$ равны разности аргументов числителя и знаменателя, т. е. сдвигу фаз выходного сигнала относительно входного.

Для нахождения вещественной и мнимой частей передаточной функции $W(j\omega)$ необходимо освободиться от мнимости в ее знаменателе. Для этого следует умножить числитель и знаменатель частотной передаточной функции на сопряженный знаменателю множитель. Например, если частотная передаточная функция равна $W(j\omega) = \frac{k}{j\omega(1+j\omega T)}$ (k – коэффициент передачи; T – постоянная времени), то, умножая числитель и знаменатель $W(j\omega)$ на сопряженный знаменателю комплекс, получим $W(j\omega) = \frac{kj\omega(1-j\omega T)}{-\omega^2(1+\omega^2 T^2)}$, откуда после разделения на вещественную и мнимую части будем иметь:

$$P(\omega) = -\frac{kT}{(1+\omega^2 T^2)},$$

$$Q(\omega) = -\frac{k}{\omega(1+\omega^2 T^2)}.$$

Для наглядного представления частотных свойств динамических звеньев используются частотные характеристики: амплитудная частотная характеристика (АЧХ), которая определяет зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты колебаний при постоянстве амплитуды входного сигнала (рисунок 2.46, а); фазовая частотная характеристика (ФЧХ), показывающая фазовые сдвиги, вносимые звеном на разных частотах (рисунок 2.46, б); амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ), которая объединяет амплитудную и фазовую частотные характеристики при использовании их в качестве полярных координат. Каждая точка АФЧХ соответствует определенному значению частоты ω . Эту характеристику можно построить также в прямоугольной системе координат – в комплексной плоскости. При этом координатами будут показанные на рисунке 2.46, в проекции P и Q вектора A на соответствующие оси.

Согласно формулам (2.9) и (2.10) связь между названными частотными характеристиками определяется следующими выражениями:

$$A(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)};$$

$$P(\omega) = A(\omega) \cos \varphi(\omega);$$

$$Q(\omega) = A(\omega) \sin \varphi(\omega).$$

Частотная передаточная функция звена может быть непосредственно получена из его передаточной функции (2.8) путем замены оператора p на $j(\omega)$, т.е. $W(j\omega) = W(p) \Big|_{p=j\omega}$.

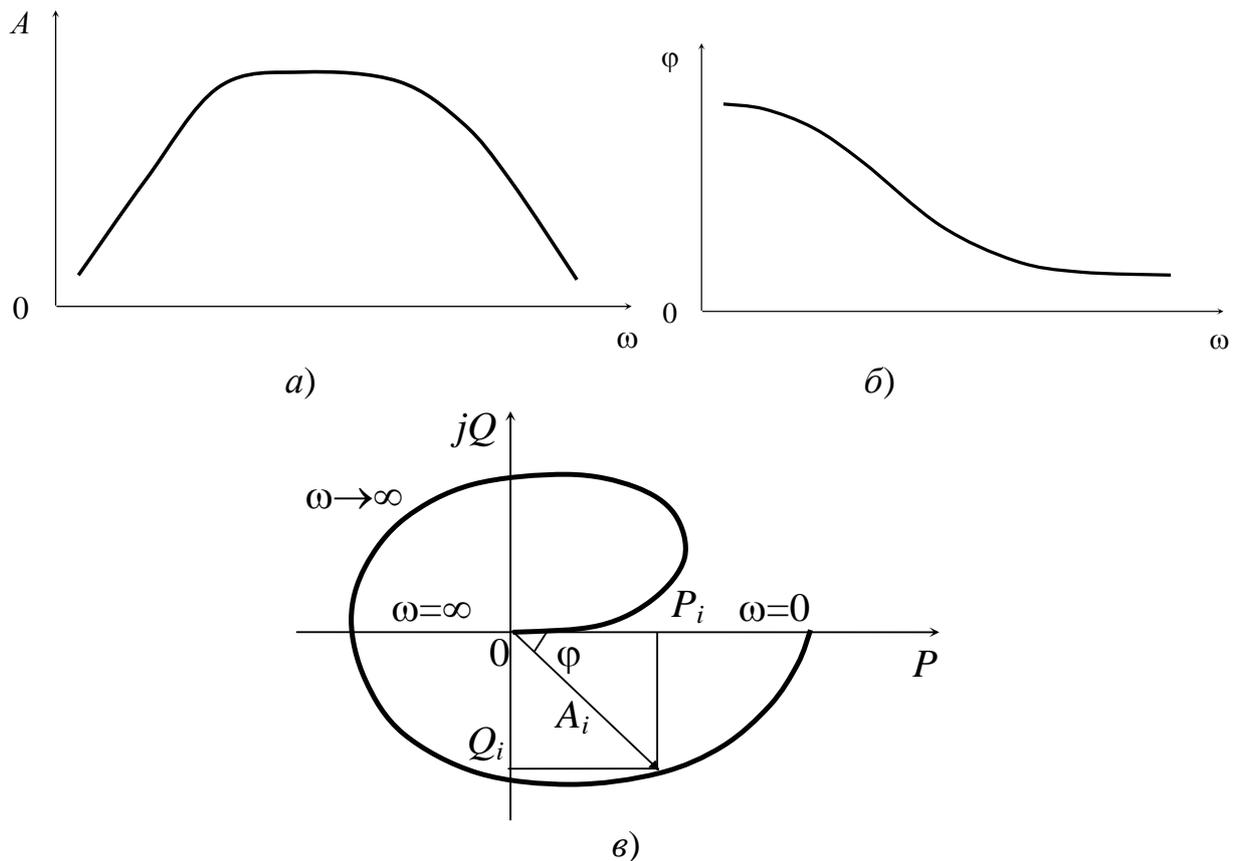


Рисунок 2.46 – Амплитудно-частотная (а), фазо-частотная (б) и амплитудно-фазовая (в) характеристики

Рассмотрим временные и частотные характеристики основных динамических звеньев.

Безынерционное звено описывается уравнением:

$$x_{\text{ВЫХ}} = k \cdot x_{\text{ВХ}},$$

где k – коэффициент передачи (усиления) звена. Передаточная функция этого звена постоянна:

$$W(p) = k.$$

К безынерционным звеньям можно отнести (рисунок 2.47, а, б) делитель напряжения, операционный усилитель, постоянная времени которого пренебрежимо мала, и т.д. Переходная функция безынерционного звена является ступенчатой (рисунок 2.47, в): $x_{\text{ВЫХ}} = h(t) = k \cdot 1(t)$.

Фазовые сдвиги в безынерционном звене отсутствуют при любой частоте входного сигнала, т.е. $\phi = 0$. Поэтому ФЧХ этого звена совпадает с осью частот и, следовательно, может не учитываться при расчетах.

Апериодическое звено описывается уравнением:

$$(Tp + 1) \cdot x_{\text{ВЫХ}} = k \cdot x_{\text{ВХ}},$$

где T – постоянная времени звена.

Передаточная функция этого звена записывается как:

$$W(p) = \frac{k}{1+Tp}. \quad (2.11)$$

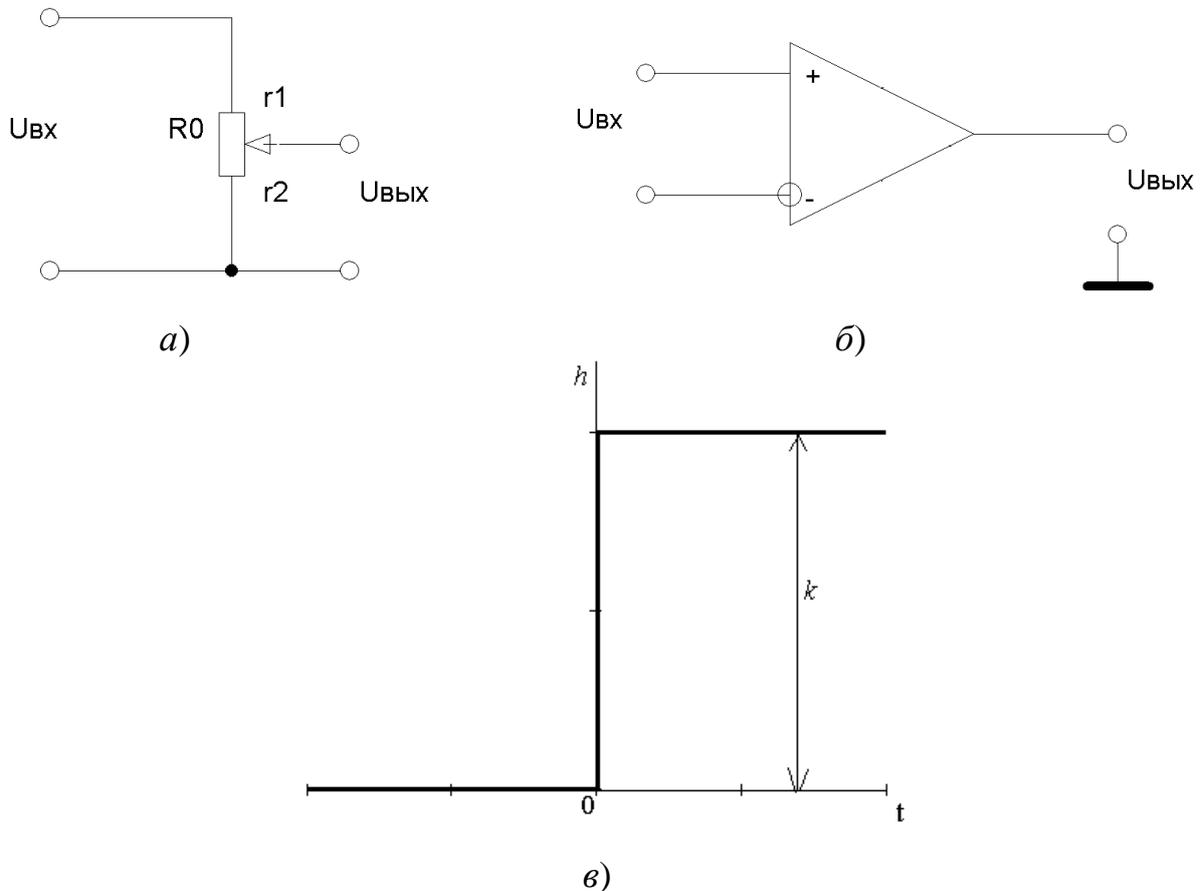


Рисунок 2.47 – Примеры безынерционных звеньев

Примерами такого типа звена могут быть RC - и RL -цепи, изображенные на рисунке 2.48, а, б. Переходная функция апериодического звена описывается уравнением экспоненты (рисунок 2.48, в):

$$x_{вых} = h(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right).$$

Величина отрезка, отсекаемая на асимптоте касательной к экспоненте при $t = 0$, равна постоянной времени T . Причем касательную можно провести из любой точки экспоненты, перенося в эту же точку начало координат. Практически время переходного процесса считается равным примерно трем постоянным времени, т.е. $t_{\Pi} \approx 3T$, а в более точных расчетах $t_{\Pi} = 4T \div 5T$.

Колебательное звено описывается дифференциальным уравнением:

$$(T^2 p^2 + 2cTp + 1) \cdot x_{вых} = k \cdot x_{вх},$$

где c – параметр затухания, $0 < c < 1$. Передаточная функция этого звена:

$$W(p) = \frac{k}{1 + 2cTp + T^2 p^2}.$$

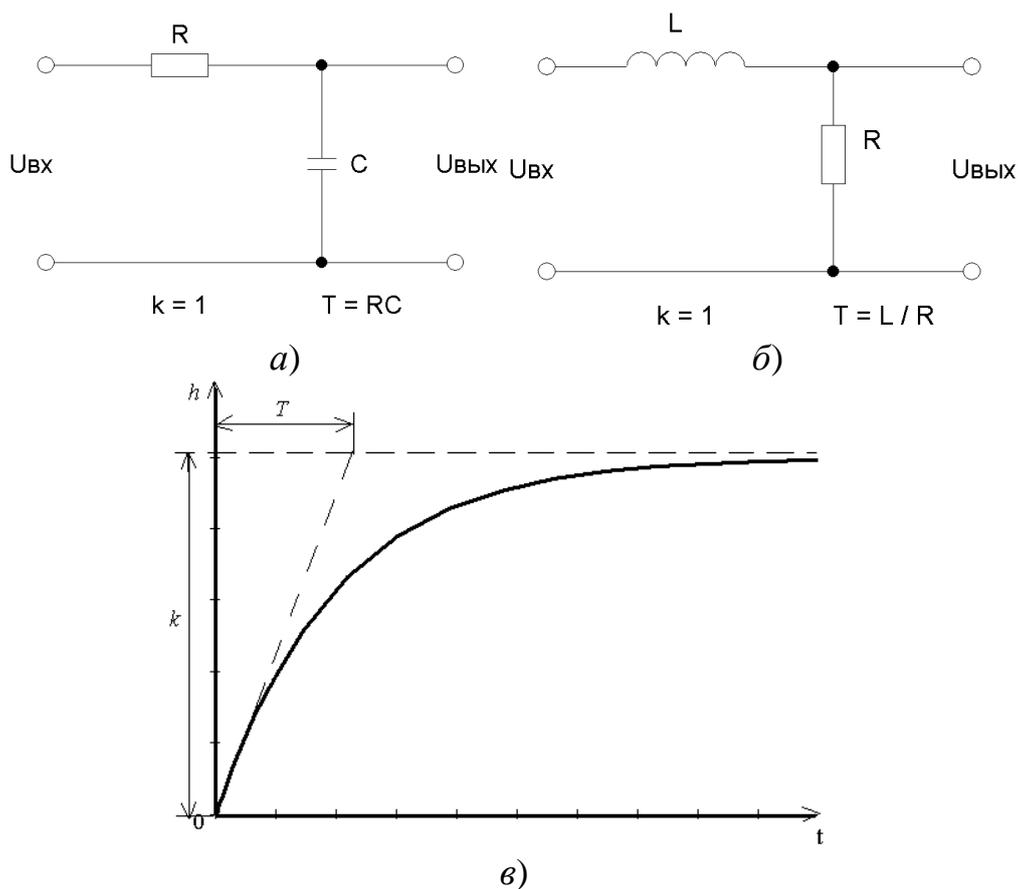


Рисунок 2.48 – Примеры апериодических звеньев

Примером колебательного звена могут быть RLC -цепи (рисунок 2.49, а). Переходная функция колебательного звена (рисунок 2.49, б) описывается выражением:

$$x_{\text{вых}} = h(t) = k \left[1 - \frac{e^{-\frac{ct}{T}}}{\sqrt{1-c^2}} \sin \left(\frac{\sqrt{1-c^2}}{T} t + \arctg \frac{\sqrt{1-c^2}}{c} \right) \right].$$

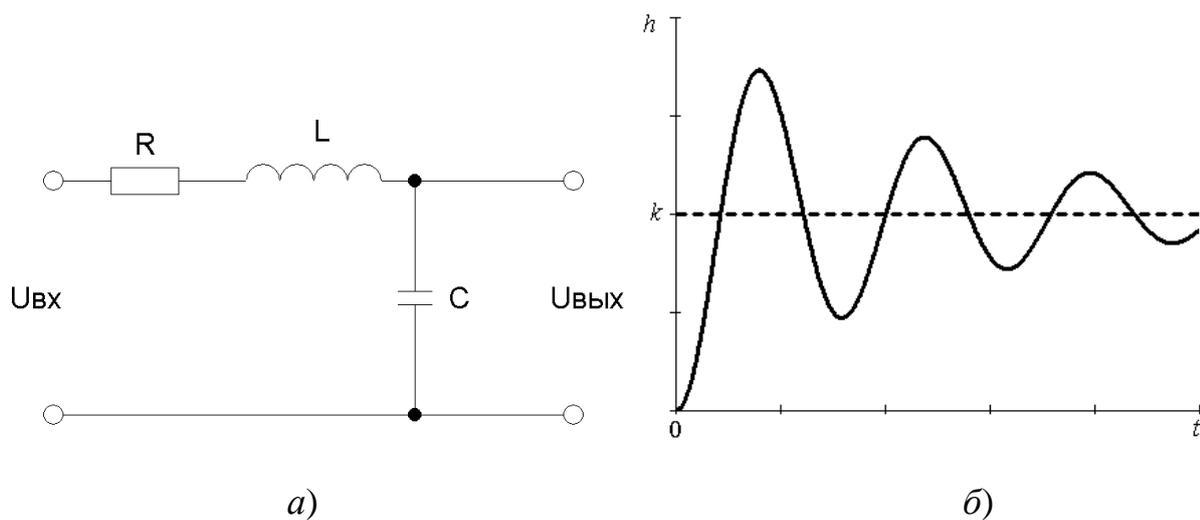


Рисунок 2.49 – Примеры колебательных звеньев

Интегрирующее звено описывается дифференциальными уравнениями:

$$\frac{dx_{\text{вых}}}{dt} = kx_{\text{вх}} \quad \text{или} \quad p x_{\text{вых}} = k x_{\text{вх}}.$$

Выходной параметр можно определить из уравнения с помощью интегрирования:

$$x_{\text{вых}} = k \int_0^t x_{\text{вх}} dt.$$

Передаточная функция этого звена записывается как:

$$W(p) = \frac{k}{p}.$$

К интегрирующим звеньям можно отнести примеры, приведенные на рисунке 2.50, а, б: RC-цепь, интегрирующий операционный усилитель и т. д. Переходная функция рассматриваемого звена (рисунок 2.50, в) записывается как:

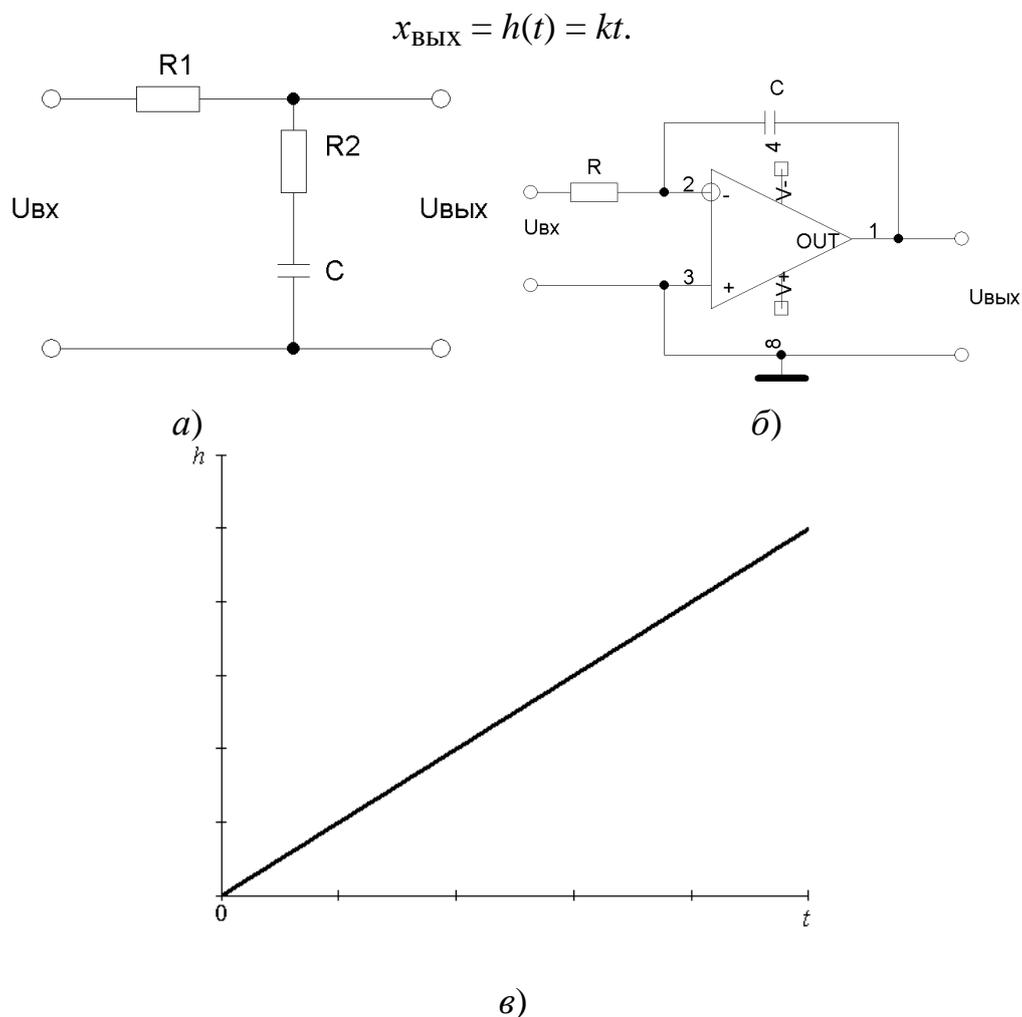


Рисунок 2.50 – Примеры интегрирующих звеньев

Дифференцирующее звено описывается уравнениями:

$$x_{\text{вых}} = \frac{k dx_{\text{вых}}}{dt} \text{ или } x_{\text{ВЫХ}} = kp x_{\text{ВХ}}.$$

Передаточная функция этого звена записывается как:

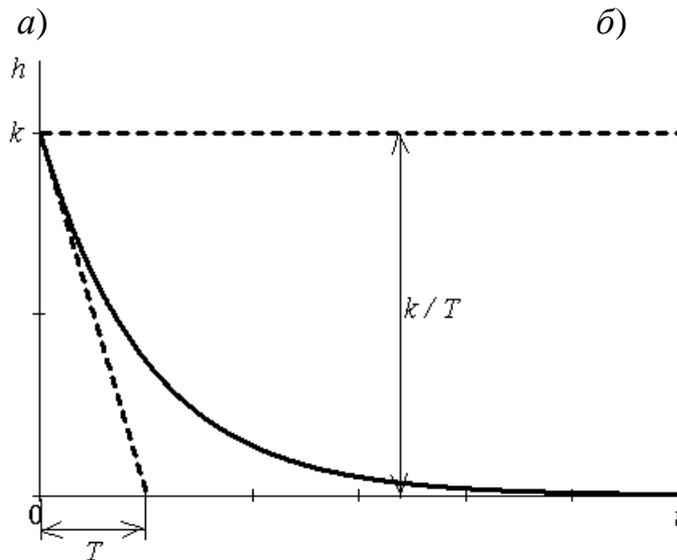
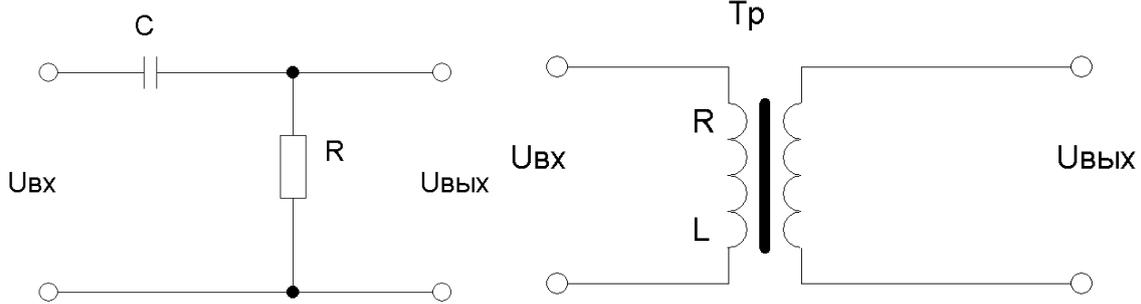
$$W(p) = kp. \quad (2.12)$$

Дифференцирующие звенья с такой передаточной функцией называются *идеальными*. Реально дифференцирующие звенья чаще всего применяются в системах управления в качестве корректирующих цепей и имеют в большинстве случаев передаточную функцию следующего вида:

$$W(p) = \frac{kp}{1+Tp}.$$

К таким звеньям можно отнести (рисунок 2.51, а, б) дифференцирующие RC-цепи, дифференцирующие трансформаторы и т.д. Переходная функция реального дифференцирующего звена описывается выражением (рисунок 2.51, в):

$$x_{\text{вых}} = h(t) = \frac{ke^{-\frac{t}{T}}}{T}.$$



в)

Рисунок 2.51 – Примеры дифференцирующих звеньев

Нетрудно заметить, что реальное дифференцирующее звено представляет собой два последовательно включенных звена: идеальное дифференцирующее (2.12) и апериодическое (2.11).

Из рассмотренных типовых звеньев *элементарными* являются безынерционное, интегрирующее и дифференцирующее. Все другие звенья можно сформировать из элементарных путем соответствующего соединения их между собой.

Звенья, у которых переходная функция со временем затухает, называются *устойчивыми*. Типовые звенья всегда устойчивы. Их действие описывается линейными дифференциальными уравнениями с положительными коэффициентами. Исключение составляет интегрирующее звено, которое, исходя из условий устойчивости, называют *нейтральным*. В *неустойчивых* звеньях переходный процесс является расходящимся. Действие этих звеньев описывается линейными дифференциальными уравнениями с отрицательными коэффициентами. Примерами неустойчивых звеньев являются звенья с передаточными функциями:

$$W(p) = \frac{k}{1+Tp}; \quad W(p) = \frac{k}{1-Tp}; \quad W(p) = \frac{k}{1-2cTp+T^2p^2}.$$

Для устойчивых и неустойчивых звеньев одного типа АЧХ одинаковы, а ФЧХ различны. На одной и той же частоте вынужденных колебаний сдвиг фаз в устойчивом звене по абсолютной величине меньше, чем в неустойчивом, поэтому устойчивые звенья являются минимально-фазовыми, а неустойчивые – неминимально-фазовыми. Важно также отметить, что ФЧХ типовых звеньев не зависит от коэффициентов передачи этих звеньев.

При исследовании системы управления ее можно разбить на комбинацию динамических звеньев с определенными передаточными функциями. В простейшем случае считается, что динамические звенья направленные и независимые, т.е. такие, сигналы которых проходят только от входа к выходу. Подключение последующих звеньев не влияет на характер переходных и устанавливающихся процессов в предыдущих звеньях. Следовательно, исходные уравнения звеньев и их передаточные функции останутся неизменными. В системах управления используются следующие соединения динамических звеньев: *последовательное, параллельное и соединение обратной связью*.

При последовательном соединении звеньев (рисунок 2.52, а) выходной сигнал предыдущего звена является входным сигналом последующего. Результирующая передаточная функция равна произведению передаточных функций отдельных звеньев:

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \dots$$

или

$$W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p). \quad (2.13)$$

При параллельном соединении (рисунок 2.52, б) на вход всех звеньев подается общий сигнал, на выходе образуется сигнал, являющийся суммой выходных сигналов звеньев. Результирующая передаточная функция равна сумме передаточных функций звеньев:

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) + W_3(p) \dots$$

или

$$W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p). \quad (2.14)$$

При соединении обратной связью (рисунок 2.52, в) выходной сигнал первого звена является входным для второго. Причем входной сигнал первого звена образуется в результате сложения или вычитания входного и выходного сигналов второго звена. Результирующая передаточная функция будет описываться выражением:

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \mp W_1(p) \cdot W_2(p)}. \quad (2.15)$$

Знак минус в этой формуле ставится при положительной обратной связи, т.е. при сложении сигналов, а знак плюс – при отрицательной обратной связи, т.е. при вычитании сигналов. Если второе звено отсутствует в цепи обратной связи, то передаточная функция примет вид:

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \mp W_1(p)}.$$

Для систем управления с комбинированным включением звеньев следует использовать формулы (2.13) – (2.15).

Для составления дифференциальных уравнений, которые характеризуют процессы в системах управления, требуется разделить систему на типовые звенья с определенной комбинацией их включения, т.е. составить структурную схему. Количество типовых звеньев, к которым сводится система управления, определяется необходимой точностью ее описания. Например, при наличии двух разных апериодических звеньев с разными постоянными времени, в случае отличия последних друг от друга на порядок или более, можно заменить их одним апериодическим звеном с большей постоянной времени. Если же необходимо уточнить расчет, то следует отказаться от этого упрощения и включить в структурную схему оба исходных апериодических звена. В большинстве случаев системы управления можно привести к последовательному соединению типовых звеньев, образующему замкнутую цепь. Такие системы управления называются *одноконтурными*. Другие системы управления приводятся к комбинации последовательно и параллельно соединенных типовых звеньев и называются *многоконтурными*.

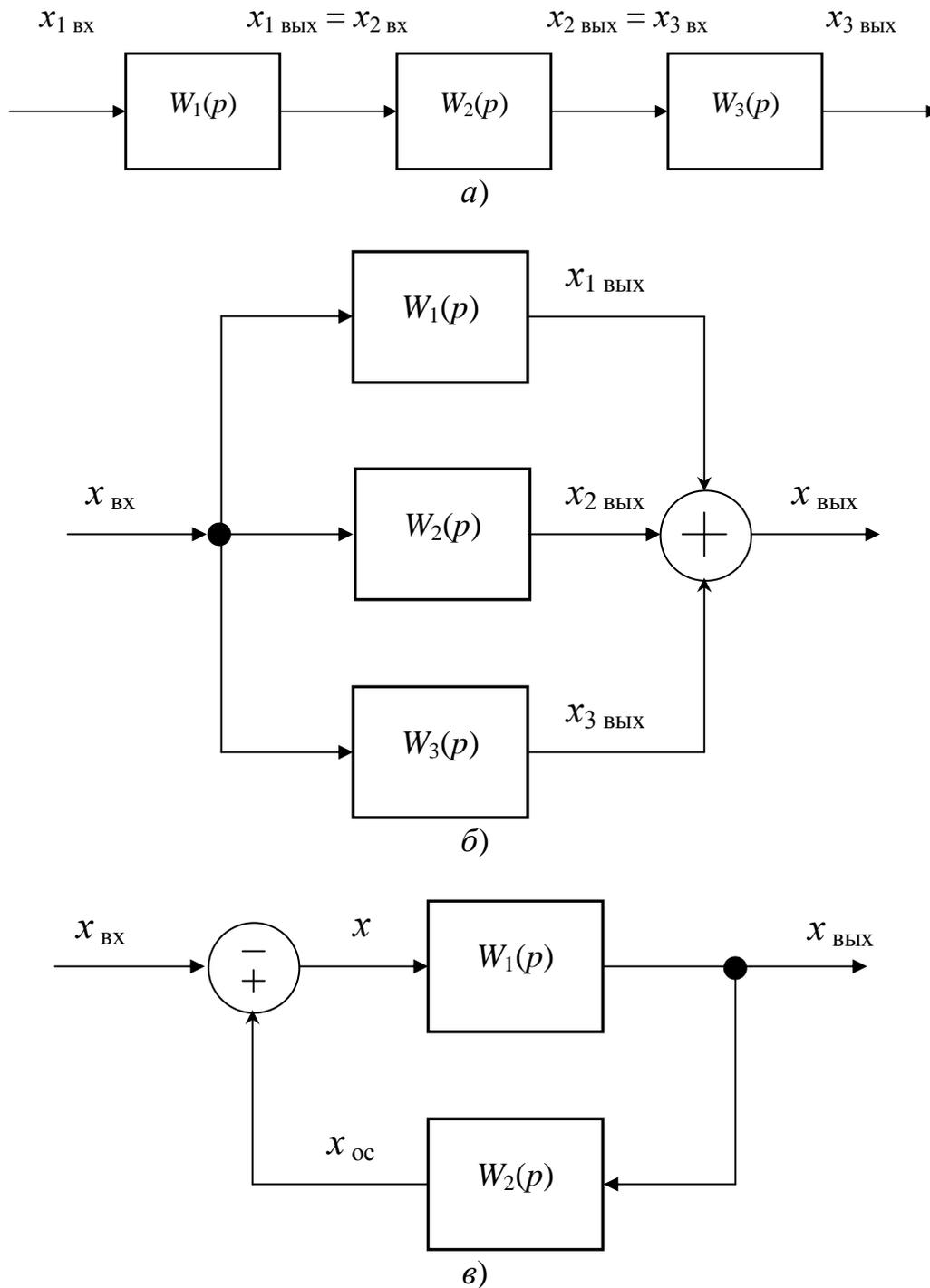


Рисунок 2.52– Способы соединения звеньев системы

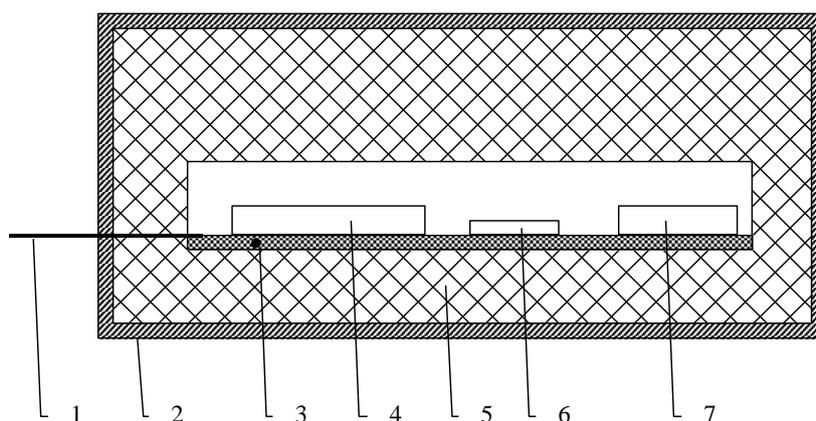
Многоконтурная система путем преобразований может быть приведена к эквивалентной одноконтурной.

После составления структурной схемы системы управления реальные элементы этой системы, представленные в виде комбинации типовых звеньев, могут быть описаны дифференциальными уравнениями, которые отражают связь между выходным и входным сигналами этих звеньев. Общее число таких уравнений будет соответствовать числу звеньев или, что то же самое, числу переменных, характеризующих систему управления. Из составленной

системы уравнений звеньев необходимо исключить все зависимые переменные, кроме одной. Удобнее это начинать с уравнения для последнего звена системы. Затем подставляют полученные значения переменных и их производных в дифференциальные уравнения предыдущих звеньев. Таким образом, дойдя до первого звена системы управления, получают дифференциальное уравнение с одной переменной, при этом порядок уравнения будет соответствовать числу переменных в системе управления. Обычно звенья в структурной схеме располагаются так, чтобы оставшаяся переменная характеризовала отклонение управляемой величины.

Следует заметить, что в зависимости от сигналов, принятых за входной и выходной, а также от принятых при составлении дифференциальных уравнений допущений один и тот же элемент системы управления можно описать разными уравнениями, а значит, и отобразить различными типовыми звеньями.

Пример анализа системы автоматического регулирования теплового режима микротермостата [6]. По конструктивным признакам микротермостат является подогревным, одноконтурным, в интегральном гибридно-пленочном исполнении (рисунок 2.53) [14].



1 - выводы; 2 - корпус; 3 - термостатируемая подложка; 4 - термостатируемые ЭРЭ; 5 - теплоизоляция; 6 - нагреватель; 7 - датчик

Рисунок 2.53 - Гибридно-пленочный микротермостат

Структурная схема системы автоматического регулирования (САР) теплового режима микротермостата (рисунок 2.54), представляет собой совокупность электрической и тепловой подсистем. САР подвержена влиянию внешних воздействий: задающему сигналу по температуре статирования $T_{ЗД}$ и возмущающему воздействию температуры среды $T_{Ср}$. Электрическая подсистема - это схема регулирования температуры, состоящая из трех последовательных звеньев: датчика Д, усилителя УС, нагревателя Н. Тепловая подсистема включает три последовательных звена и параллельное им четвертое звено, которые соответствуют основным конструктивным элементам микро-

термостата: датчику Д, термостатируемой подложке П, нагревателю Н, корпусу К. Работа системы направлена на поддержание постоянства температуры подложки $T_{\text{П}}$ (объекта термостатирования).

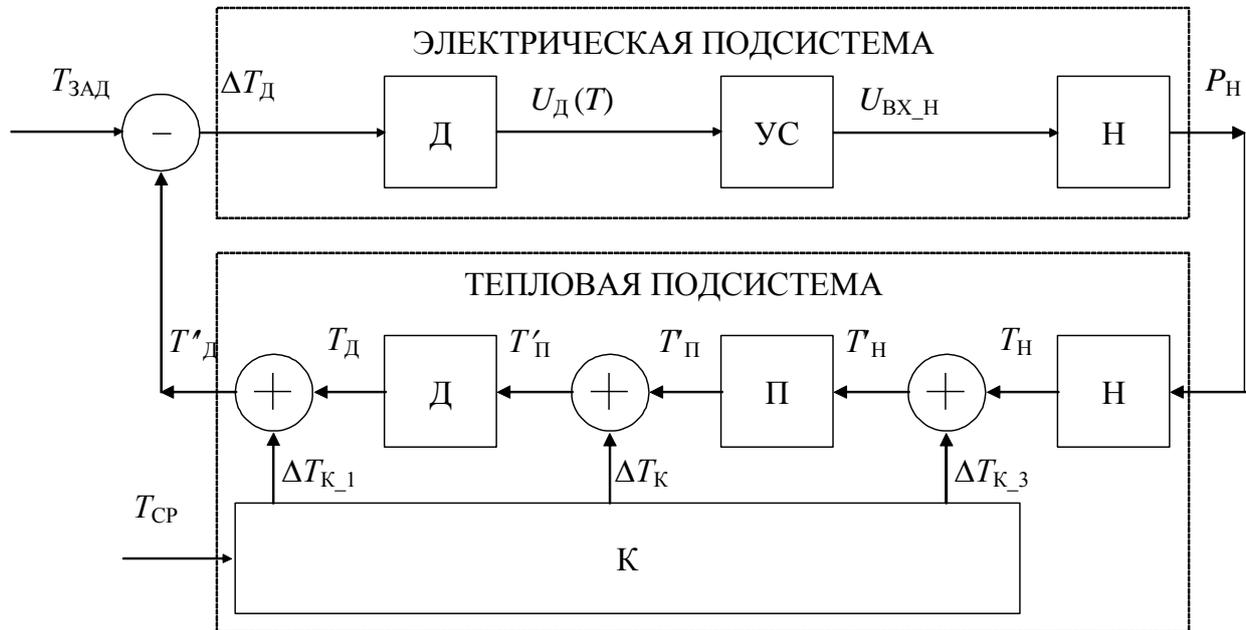


Рисунок 2.54 - Структурная схема микротермостата

Найдем передаточную функцию рассматриваемой САР. Для электрической подсистемы передаточная функция равна произведению передаточных функций отдельных звеньев:

$$W_{\text{Э}}(p) = W_{\text{Д}}_{\text{Э}}(p) \cdot W_{\text{УС}}(p) \cdot W_{\text{Н}}_{\text{Э}}(p),$$

где $W_{\text{Д}}_{\text{Э}}(p)$, $W_{\text{УС}}(p)$, $W_{\text{Н}}_{\text{Э}}(p)$ - передаточные функции соответственно для датчика, усилителя, нагревателя в электрической подсистеме.

Для нахождения передаточной функции тепловой подсистемы воспользуемся правилом переноса воздействий из одной точки в другую [13]. После соответствующего преобразования тепловой подсистемы ее передаточная функция равна:

$$W_{\text{Т}}(p) = \frac{W_{\text{К}}(p) + W_{\text{К}}(p) \cdot W_{\text{Д}}_{\text{Т}}(p) + W_{\text{К}}(p) \cdot W_{\text{Д}}_{\text{Т}}(p) \cdot W_{\text{П}}(p) + W_{\text{Н}}_{\text{Т}}(p) \cdot W_{\text{П}}(p) \cdot W_{\text{Д}}_{\text{Т}}(p)}{1 - W_{\text{Н}}_{\text{Т}}(p) \cdot W_{\text{П}}(p) \cdot W_{\text{Д}}_{\text{Т}}(p)},$$

где $W_{\text{Н}}_{\text{Т}}(p)$, $W_{\text{П}}(p)$, $W_{\text{Д}}_{\text{Т}}(p)$ - передаточные функции соответственно для нагревателя, подложки, датчика в тепловой подсистеме.

Результирующая передаточная функция САР равна произведению передаточных функций электрической и тепловой подсистем, с учетом того, что тепловая подсистема является контуром обратной связи:

$$W_{\text{МЗЩ}}(p) = \frac{W_{\text{Э}}(p)}{1 - W_{\text{Э}}(p) \cdot W_{\text{Т}}(p)} =$$

$$= \frac{W_{ДЭ}(p) \cdot W_{УС}(p) \cdot W_{НЭ}(p)}{1 - W_{ДЭ}(p) \cdot W_{УС}(p) \cdot W_{НЭ}(p) \cdot [W_{К}(p) + W_{К}(p) \cdot W_{ДТ}(p) + W_{К}(p) \cdot W_{ДТ}(p) \cdot W_{П}(p) + W_{НТ}(p) \cdot W_{П}(p) \cdot W_{ДТ}(p)]}$$

На основании структурной схемы микротермостата составим эквивалентную электрическую схему замещения тепловой подсистемы и объединим ее с электрической подсистемой (рисунок 2.55).

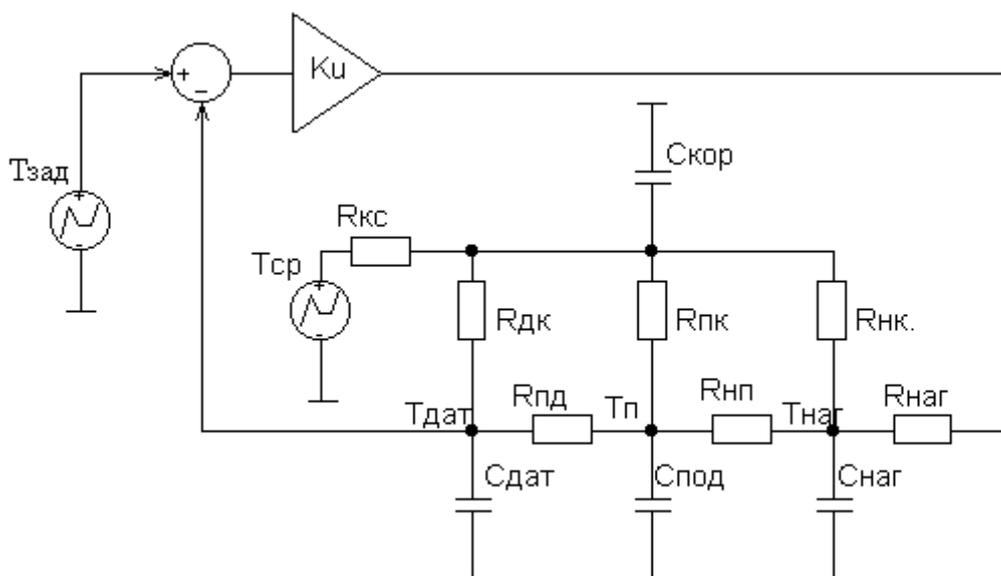


Рисунок 2.55 – Эквивалентная электрическая схема замещения микро-термостата

Преобразование внешних воздействий. Внешние воздействия, оказываемые на микротермостат, имеют различную природу. Используя метод электротепловой аналогии [15], задающий сигнал и возмущающее воздействие температуры среды моделируются с помощью источников напряжения:

$$T_{ЗАД} [K] \Rightarrow U_{ЗАД} [V]; U_{ЗАД} = A \cdot T_{ЗАД};$$

$$T_{СР} [K] \Rightarrow U_{СР} [V]; U_{СР} = A \cdot T_{СР},$$

где A - масштабный коэффициент.

Преобразование электрической подсистемы. Для детального анализа свойств схемы регулирования необходимо ее полное представление в соответствии с реальной электрической принципиальной схемой. Передаточные функции звеньев контура регулирования температуры можно представить в следующем виде:

$$\text{передаточная функция датчика} - K_{Д} = \frac{\Delta U_{ВХ_УС}}{\Delta T_{Д}};$$

$$\text{передаточная функция усилителя} - K_{УС} = \frac{\Delta U_{ВЫХ_УС}}{\Delta U_{ВХ_УС}};$$

$$\text{передаточная функция нагревателя} - K_{Н} = \frac{\Delta P_{Н}}{\Delta U_{ВЫХ_УС}}.$$

где $U_{ВХ_УС}$, $U_{ВЫХ_УС}$ - входное и выходное напряжение усилителя схемы регулирования, соответственно; $T_{Д}$ - температура датчика; $P_{Н}$ - мощность нагревателя.

На начальных этапах проектирования целесообразно представить схему регулирования идеализированным вариантом операционного усилителя (рисунок 2.55). Коэффициент усиления операционного усилителя равен передаточной функции всей электрической подсистемы: $K_{ОУ} = W_{Э}(p)$. При этом нет необходимости в согласовании сигналов электрической и тепловой подсистем, а значит, все коэффициенты преобразования тепловой подсистемы равны единице:

$$K_{ОУ} = \frac{\Delta U_{ВЫХ_УС}}{\Delta U_{ВХ_УС}}; \Rightarrow A = 1.$$

Преобразование тепловой подсистемы. Тепловая подсистема содержит конструктивные элементы, обладающие теплофизическими параметрами - тепловым сопротивлением, теплоемкостью. Процесс преобразования заключается в представлении конструктивных элементов микротермостата интегрирующими электрическими цепями, соединенными между собой аналогично тепловой подсистеме на рисунке 2.54.

Термостатируемая подложка. Габаритные размеры – длина $a_{П} = 18$ мм; ширина $b_{П} = 16$ мм; толщина $h_{П} = 1$ мм.

Материал – керамика марки ВК-94 на основе Al_2O_3 , SiO_2 , MnO , Cr_2O_3 .

Теплофизические параметры – удельная теплоемкость $C_{уд_П} = 900$ Дж/(кг·К); плотность $\rho_{П} = 3860$ кг/м³; коэффициент теплопроводности $\lambda_{П} = 20$ Вт/(м·К).

Датчик. Датчик представляет собой кремниевый транзистор 2Т360А.

Габаритные размеры – длина $a_{Д} = 0.75$ мм; ширина $b_{Д} = 0.75$ мм; высота $h_{Д} = 0.8$ мм.

Масса $m_{Д} = 0.003$ г.

Теплофизические параметры – удельная теплоемкость $C_{уд_Д} = 900$ Дж/(кг·К); коэффициент теплопроводности $\lambda_{Д} = 109$ Вт/(м·К).

Нагреватель. Нагреватель выполнен в виде толсто пленочного резистора на основе оксида рутения, нанесенного с обратной стороны подложки.

Площадь толсто пленочного резистора $S_{Н} = 18 \times 16$ мм.

Толщина резистивного слоя $h_{Н} = 40$ мкм.

Корпус. Корпус изготовлен из полированного алюминия.

Габаритные размеры корпуса – длина $a_{К} = 34$ мм; ширина $b_{К} = 28$ мм; высота $h_{К} = 22$ мм.

Толщина стенок корпуса $l_{К} = 0.6$ мм.

Теплофизические параметры – удельная теплоемкость $C_{уд_к} = 880$ Дж/(кг·К); плотность $\rho_k = 2710$ кг/м³.

Теплоизоляция. Материал теплоизоляции – пенопласт.

Теплофизические параметры – удельная теплоемкость $C_{уд_т} = 1260$ Дж/(кг·К); плотность $\rho_t = 120$ кг/м³; теплопроводность $\lambda_t = 0.05$ Вт/(м·К).

Толщина теплоизоляции торцевых поверхностей – 10 мм, толщина теплоизоляции боковых поверхностей – 8 и 6 мм.

Теплопроводящий клей. Теплопроводящий клей предназначен для фиксации датчика к подложке.

Теплопроводность $\lambda_{кл} = 5$ Вт/(м·К).

Толщина слоя клея $h_{кл} = 0.1$ мм.

Расчет теплофизических параметров. Теплоемкость элементов микротермостата определяется как массовая теплоемкость:

$$C_i = C_{уд_i} \cdot m_i, \quad (2.16)$$

где $C_{уд_i}$ – удельная теплоемкость материала элемента; $m_i = \rho_i \cdot S_i \cdot h_i$ – масса элемента; ρ_i – плотность материала элемента; S_i – площадь элемента; h_i – высота (толщина) элемента.

Тепловое сопротивление между элементами микротермостата с учетом теплопроводности прослойки определяется как:

$$R_{ij} = \frac{\Delta l_{ij}}{\lambda_M \cdot S_M}, \quad (2.17)$$

где Δl_{ij} – толщина прослойки между i -ым и j -ым элементами; λ_M – коэффициент теплопроводности материала прослойки; S_M – площадь прослойки.

В соответствии с (2.16) запишем выражения массовой теплоемкости для нагревателя и подложки:

$$C_H = C_{уд_H} \cdot \rho_H \cdot S_H \cdot h_H;$$

$$C_{\Pi} = C_{уд_П} \cdot \rho_{\Pi} \cdot S_{\Pi} \cdot h_{\Pi}.$$

Учитывая технологию нанесения резистивного слоя на подложку, делаем следующие выводы:

- массовая теплоемкость нагревателя много меньше массовой теплоемкости подложки:

$$\frac{C_{\Pi}}{C_H} \approx \frac{h_{\Pi}}{h_H} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-6}} = 25;$$

- тепловое сопротивление корпус-нагреватель тождественно равно тепловому сопротивлению корпус-подложка $R_{KH} \equiv R_{KP}$;

- тепловым сопротивлением нагреватель-подложка можно пренебречь $R_{HP} \rightarrow 0$.

Следовательно, исходную схему замещения микротермостата (рисунок 2.55) можно свести к системе второго порядка (рисунок 2.56).

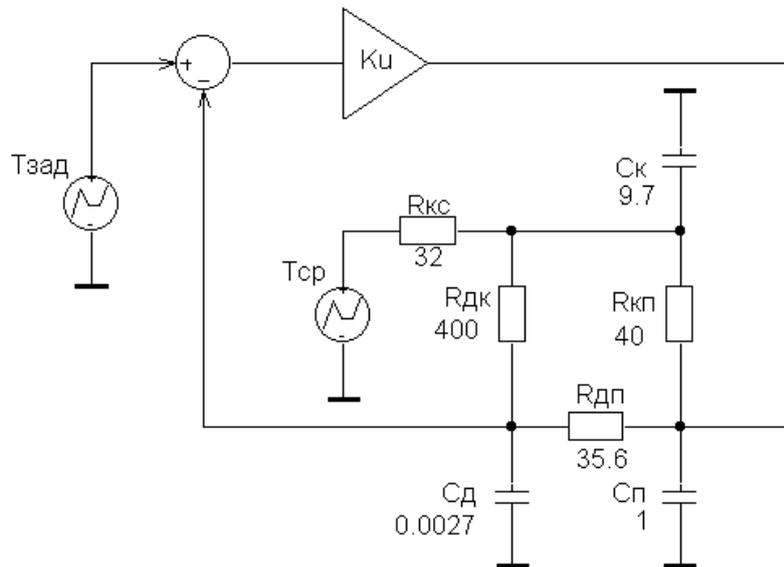


Рисунок 2.56 - Эквивалентная схема замещения

Подставив в (2.16) соответствующие величины, вычислим массовую теплоемкость подложки:

$$C_{\Pi} = 900 \cdot 3860 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \approx 1 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right].$$

Подставив в (2.17) соответствующие величины, вычислим тепловое сопротивление датчик-подложка (материалом прослойки служит теплопроводящий клей):

$$R_{\text{ДП}} = \frac{0.1 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 0.75 \cdot 10^{-3} \cdot 0.75 \cdot 10^{-3}} \approx 35.6 \left[\frac{\text{К}}{\text{Вт}} \right].$$

Подставив в (2.16) соответствующие величины, вычислим массовую теплоемкость датчика:

$$C_{\text{Д}} = 900 \cdot 0.003 \cdot 10^{-3} = 0.0027 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right].$$

Теплоемкость корпуса микротермостата определяется как сумма массовых теплоемкостей корпуса и изоляции:

$$C_{\text{К}} = C'_{\text{К}} + C_{\text{ИЗ}} = C_{\text{УД}_\text{К}} \cdot \rho_{\text{К}} \cdot V_{\text{К}} + C_{\text{УД}_\text{ИЗ}} \cdot \rho_{\text{ИЗ}} \cdot V_{\text{ИЗ}}. \quad (2.18)$$

Подставив в (2.18) соответствующие величины, вычислим суммарную массовую теплоемкость корпуса:

$$C_{\text{К}} = 880 \cdot 2710 \cdot 2 \cdot 0.6 \cdot (34 \cdot 28 + 28 \cdot 22 + 34 \cdot 22) \cdot 10^{-9} + \\ + 1260 \cdot 120 \cdot 2 \cdot [10 \cdot 34 \cdot 28 + 8 \cdot 28 \cdot 2 + 6 \cdot 18 \cdot 2] \cdot 10^{-9} \approx 9.7 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right].$$

Для типовых корпусов микротермостатов экспериментальным путем определены значения тепловых сопротивлений корпус-подложка и корпус-среда, а также тепловое сопротивление датчик-корпус для датчика в виде транзистора 2Т360А [6]. В частности, для корпуса и теплоизоляции данных размеров тепловое сопротивление корпус-подложка составляет $R_{КП} = 40$ К/Вт, тепловое сопротивление корпус-среда составляет $R_{КС} = 32$ К/Вт. Тепловое сопротивление датчик-корпус равно $R_{ДК} = 400$ К/Вт

После преобразования имеем три динамических звена:

$$\text{для датчика} - W_{ДТ}(p) = \frac{1}{1 + \tau_{ДТ}p}; \tau_{ДТ} = R_{ДП} \cdot C_{Д};$$

$$\text{для подложки} - W_{П}(p) = \frac{1}{1 + \tau_{П}p}; \tau_{П} = R_{ПП} \cdot C_{П};$$

$$\text{для корпуса} - W_{К}(p) = \frac{1}{1 + \tau_{К}p}; \tau_{К} = R_{КС} \cdot C_{К};$$

$$C_{ЭРЭ} = A_C \cdot C_T; R_{ЭРЭ} = A_R \cdot R_T; R_{ЭРЭ} \cdot C_{ЭЛ} = R_T \cdot C_T;$$

где p - комплексная переменная; $\tau_{Д}$, $\tau_{П}$, $\tau_{К}$ - постоянные времени; A_C [К·Ф/Дж], A_R [Вт·Ом/К]- масштабные коэффициенты преобразования теплоемкости в электрическую емкость и теплового сопротивления в электрическое сопротивление, соответственно.

Применение программных комплексов схемотехнического моделирования (например, OrCAD) по отношению к эквивалентной электрической схеме позволяет эффективно провести анализ САР и оценить основные характеристики микротермостата.

Оценку пускового режима микротермостата проведем в виде анализа отклика системы на импульсную функцию:

$$U_{ВХ} = \begin{cases} U_{СР}, & 0 < \tau < \tau_{ВКЛ}; \\ U_{ЗАД}, & \tau > \tau_{ВКЛ}, \end{cases}$$

где $U_{СР} = A \cdot T_{СР}$ - преобразованная температура среды; $U_{ЗАД} = A \cdot T_{ЗАД}$ - преобразованная задающая температура; $\tau_{ВКЛ}$ - момент времени включения микротермостата.

На основании проведенного схемотехнического анализа (рисунок 2.57) следует, что САР при выбранных параметрах элементов микротермостата обладает запасом устойчивости, время полного затухания колебаний составляет около 1 с.

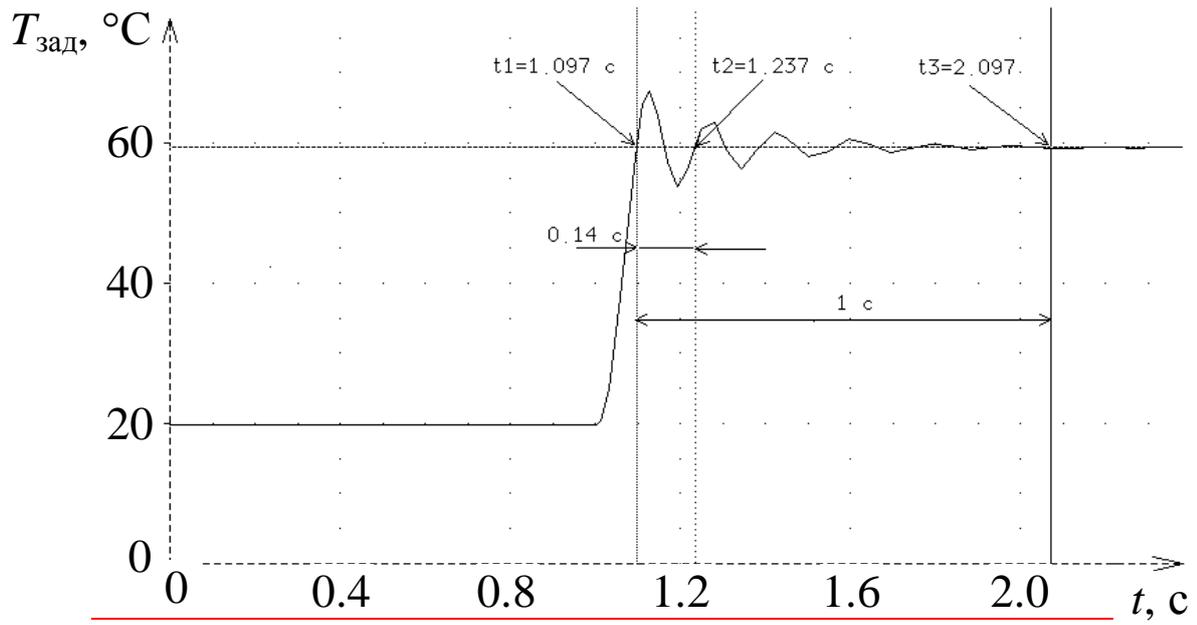


Рисунок 2.57 – Отклик системы на импульсную функцию

3 МЕТОДЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

3.1 Постановка задачи

Творчество представляет собой явление, относящееся прежде всего к конкретным субъектам и связанное с особенностями человеческой психики, закономерностями высшей нервной деятельности, умственного труда. Одни ученые считают, что мышление начинается там, где создалась проблемная ситуация, которая предполагает поиск решения в условиях неопределенности, дефицита информации. Другие утверждают, что определяющим механизмом творчества является не логика, а интуиция. «Посредством логики доказывают, посредством интуиции изобретают», – говорил А. Пуанкаре. И действительно, интуиция нередко помогает в поиске правильного решения, однако при этом следует отметить, что если раньше явление интуиции относилось к чему-то мистическому и сверхъестественному, то в настоящее время доказали, что интуиция имеет материалистическое объяснение и представляет собой быстрое решение, полученное в результате длительного накопления знаний в данной области и, следовательно, длительной подготовки. Это, скорее, итог умственной деятельности, чем начало. Таким образом, интуиция приходит в качестве вознаграждения за труд исследователя и поэтому сложному механизму творческого мышления присущи как интуиция, так и логика.

Специфический акт творчества – внезапное озарение (инсайт) – заключается в осознании чего-то, всплывающего из глубин подсознания, в схватывании элементов ситуации в тех связях и отношениях, которые гарантируют решение задач.

Поиск решения творческой задачи у заинтересованного и квалифицированного инженера всегда продолжается в подсознании, в результате чего могут быть решены самые сложные задачи, причем сам процесс обработки информации при этом не осознается. В сознании отражается лишь результат (если он получен). Поэтому исследователю иногда кажется, что на него ниспослано озарение, что удачная мысль пришла неведомо откуда. Можно констатировать, что человек использует это явление каждый раз, когда он откладывает какое-нибудь дело, чтобы дать мыслям созреть и, таким образом, расчитывает на работу своего подсознания.

Одной из проблем творчества является его мотивационная структура. Мотивации (побуждения) связаны с потребностями, которые делятся на три группы: биологические, социальные и идеальные (познавательные). Биологические потребности (например, принцип экономии сил) лежит в основе житейской изобретательности и совершенствовании навыков, но могут приобрести и самодовлеющее значение, превратившись в лень. Среди социальных потребностей мотивами к творчеству могут быть стремление к материальному вознаграждению, к почету и уважению в обществе. Идеальные – составляют потребности познания в самом широком смысле. Они ведут свое происхож-

дение от потребности в информации, изначально присущей всему живому, наряду с потребностью в притоке вещества и энергии. Удовлетворение любой потребности требует информации о путях и способах достижения цели. Но существует потребность в информации и как стремление к новому, ранее неизвестному. Наиболее важным для творчества видом мышления является воображение. Творческому воображению, фантазии принадлежит решающая роль в создании нового и развитии общества. Эта способность должна постоянно развиваться, стимулироваться и тренироваться. Различают три типа воображения: логическое (выводит будущее из настоящего путем логических преобразований); критическое (ищет, что именно в современной системе несовершенно, и нуждается в изменении); творческое (рождает принципиально новые идеи и представления, опирающиеся на элементы действительности, но не имеющие пока прообразов в реальном мире).

Активизация творческого мышления предполагает знание факторов, отрицательно влияющих на него. К числу таких факторов относится отсутствие гибкости мышления, сила привычки, узкопрактический подход, чрезмерная специализация, влияние авторитетов, боязнь критики, страх перед неудачей, чересчур высокая самокритичность, лень.

Противоположностью творческого воображения является психологическая инерция мышления, связанная со стремлением действовать в соответствии с прошлым опытом и знаниями, с использованием стандартных методов и т.д.

В связи с этим необходимо формулировать технические задания таким образом, чтобы исключать возможность психологической инерции и ее отрицательного влияния на творчество, стремиться всемерно развивать творческое воображение.

Творческая личность обладает рядом особенностей и прежде всего умением сосредоточить внимание и долго удерживать его на каком-либо вопросе или проблеме. Это одно из важнейших условий успеха в любом виде деятельности. Без упорства, настойчивости, целенаправленности немислимы творческие достижения.

Получение значимого результата самым непосредственным образом зависит от исходной мировоззренческой позиции автора, принципиального системного подхода к постановке проблемы и определению общих путей движения исследовательской мысли. В научно-техническом творчестве материалистическая диалектика как наука о наиболее общих законах развития природы, общества и мышления и системный подход составляют единое направление в развитии современного научного познания.

Фиксация проблемы начинается с точного названия объекта проектирования и описания недостатков существующего прототипа или аналогов. Заметим, что фиксация проблемы является лишь отправной точкой для отыскания недостающей информации по объекту проектирования, а вовсе не окончательной формулировкой проблемы, которая в полной мере будет выполнена на последующих этапах системного исследования.

При обосновании проблемы необходимо рассмотреть потребность в проектируемом объекте. Потребность определяется следующими факторами:

- наличием серийно выпускаемого объекта, выполняющего рассматриваемую в данной проблеме функцию;
- наличием недостатков этого объекта;
- возможными направлениями устранения этих недостатков;
- технической и технологической возможностью выхода из рассматриваемой проблемной ситуации.

Анализ потребности необходимо проводить на основе детального информационного исследования и с учетом опыта эксплуатации прототипа объекта проектирования.

В ряде случаев решение сформулированной проблемы сводится к улучшению известного устройства, называемого прототипом, путем внесения в него определенных изменений. Улучшение или модернизация ТО не охватывает другие классы задач, такие как поиск новых потребностей и формулировка новых функций ТО; разработка принципиально новых технических решений, не имеющих прототипов; постановка задач поиска новых технических решений как задач математического программирования. Заметим, что методология поиска новых технических решений (генерация вариантов) относится к задачам инженерного творчества [16].

Задачи инженерного творчества, как правило, решаются итерационным путем, т.е. делается несколько приближений к искомому решению, поскольку искомое неизвестно.

Постановка задачи - нелегкая работа. Однако нужно всегда помнить, что правильная постановка творческой инженерной задачи - это половина ее решения. Она часто связана с отсечением многих бесперспективных и тупиковых направлений поиска. Нередки случаи, когда решение задачи находят в процессе ее постановки. Поэтому не следует экономить время на анализ и постановку задачи.

Операция 1. Описание проблемной ситуации. Эта операция представляет собой самую предварительную краткую формулировку задачи, в которой должны содержаться ответы на следующие вопросы:

- а) в чем состоит затруднение или проблемная ситуация и какова ее предыстория?
- б) что требуется сделать для устранения проблемной ситуации, т.е. какую потребность нужно удовлетворить?
- в) что мешает устранению проблемной ситуации или достижению цели?
- г) что дает решение задачи для людей, предприятия, народного хозяйства и т. д.?

Пример описания проблемной ситуации:

- а) бытовая радиоэлектронная аппаратура в большинстве случаев оснащена унифицированными межкомпонентными разъемами типа RCA, еще известными под названием «тюльпан» (рисунок 3.1, а). Для соединения аудио-

видеокомпонентов через указанные разъемы используются соответствующие кабели RCA-RCA или «тюльпан-тюльпан». Оконечная часть кабеля представляет собой металлический штекер с соосным расположением контактов. Контакт общего проводника выполнен в виде внешней цилиндрической поверхности («юбка»), по центру располагается штыревой сигнальный контакт (рисунок 3.1, б). Современный этап развития бытовой аппаратуры характеризуется появлением новых цифровых форматов для воспроизведения звука и изображения, в частности DVD-video, DVD-audio, Super Audio CD, MiniDV. Указанные форматы обеспечивают исключительное качество звука и изображения, недоступное для ранее существовавших форматов [17]:

- диапазон воспроизводимых частот для аудиоаппаратуры – $10 \div 100000$ (сто тысяч) Гц;
- динамический диапазон усиления для аудиоаппаратуры – свыше 120 дБ;
- четкость воспроизводимого изображения для видеоаппаратуры - свыше 540 ТВЛ (телевизионных линий).

Проблемная ситуация заключается в том, что разъемы типа RCA рассмотренной выше конструкции уже не в состоянии передавать информационный сигнал новых форматов без видимых и слышимых искажений. Таким образом, потенциал высокого качества звука и изображения, заложенный в новых форматах раскрывается не в полной мере. Фактически, потребитель современной аудиовидеоаппаратуры переплачивает деньги за качество, которого на самом деле не получает;

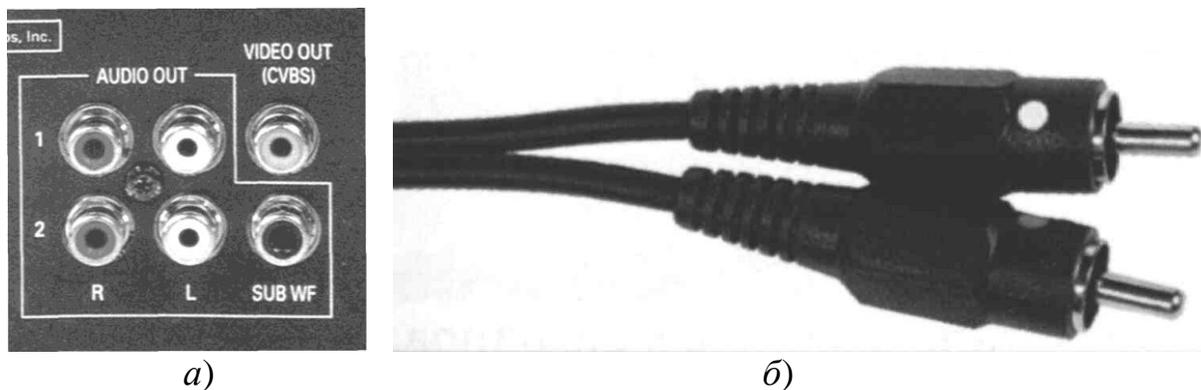


Рисунок 3.1 – Межкомпонентный разъем (а) и штекер (б) типа RCA

б) кардинальным решением поставленной проблемы явилась бы передача информационных сигналов между компонентами бытовой аппаратуры, основанная на иных физических принципах действия, через разъемы и кабели другого типа (например, оптический цифровой канал, который ограниченно уже применяется в бытовой аппаратуре);

в) однако, такое кардинальное решение неприемлемо для устранения проблемной ситуации, поскольку теряется совместимость с многочисленным

парком ранее выпущенной бытовой аппаратуры (усилители, эквалайзеры и т.п.);

г) следовательно, поставленная проблемная ситуация должна быть решена другим способом на основе уже существующих разъемов RCA. Решение проблемной ситуации позволило бы потребителям в полной мере ощутить качество и преимущества новых форматов.

Операция 2. Описание функции (назначения) ТО. Описание содержит четкую и краткую характеристику технического средства, с помощью которого можно удовлетворить возникшую потребность. При этом рекомендуется давать сначала качественное, а затем количественное описание функции, которую требуется реализовать с помощью разрабатываемого ТО.

Примеры описания функций, в том числе для кабелей типа RCA, приведены в таблице 3.1, где для каждого ТО вначале дано качественное, а затем количественное описание функций в виде отдельных компонентов а), б), в), которые следует читать подряд как одно предложение.

Таблица 3.1

Примеры описания функции

Наименование ТО	Описание функции		
	а) действие	б) объект	в) условия
1. Кабель типа RCA-RCA	передает	аналоговый информационный сигнал	между компонентами домашнего аудиовидеокомплекса
	передает	цифровой информационный сигнал	между компонентами домашнего аудиовидеокомплекса
2. Принтер	печатает	текстовую информацию	на формате А4
	печатает	графическую информацию	на формате А4 со скоростью 4 страницы в минуту
3. Амперметр	измеряет	силу электрического тока	—
	измеряет	силу постоянного тока	в диапазоне 6 – 9А с точностью до 0,1 %
4. Переменный резистор	изменяет	громкость	от минимальной до максимальной
	осуществляет балансировку нуля	операционного усилителя	в контуре автоматической регулировки усиления

Операция 3. Выбор прототипа и составление списка требований. В описании проблемной ситуации часто указывают прототип, который требуется усовершенствовать. Этот исходный прототип обычно приходится брать за основу при поиске улучшенного решения. Кроме этого, рекомендуется выбрать еще 1 - 2 дополнительных прототипа, имеющих определенные достоинства по сравнению с исходным. При этом, в первую очередь, используются существующие в практике изделия на уровне лучших мировых образцов, аналогичные технические решения в ведущем классе ТО. Ведущий класс ТО по сравнению с рассматриваемым имеет близкую функцию и более высокий технический уровень. Например, для радиоэлектроники ведущим классом может быть техника связи, для электротехники – трансформаторостроение.

При выборе дополнительных прототипов рекомендуется использовать словари технических функций, МКИ (международную классификацию изобретений), патентные описания за последние 5 - 10 лет (как по рассматриваемому, так и функционально близким классам ТО), каталоги выставок и т.д. Может быть также использована прямая мозговая атака.

Список основных требований к прототипу составляют в зависимости от уровня его описания в виде списка требований к принципу действия или техническому решению. Количественное описание функции ТО вместе со списком основных требований представляет собой *техническое задание* на разработку нового поколения ТО.

Иногда при выборе прототипа удается найти подходящее решение и тем самым снять проблемную ситуацию. В этом случае при дефиците времени и ресурсов можно прекратить решение задачи поиска улучшенного технического решения. Однако при наличии времени почти всегда имеет смысл и есть возможность улучшить найденное решение и тем самым отодвинуть время возникновения новой проблемной ситуации.

В примере в качестве прототипа взяты стандартные разъемы и кабели типа RCA, представленные на рисунке 3.1, б.

Операция 4. Составление списка недостатков прототипа. Как следует из закона прогрессивной конструктивной эволюции ТО, каждый используемый ТО обычно имеет некоторый список недостатков, устранение которых обеспечивает получение новой улучшенной модификации ТО. При выполнении этой операции необходимо стремиться выявить все недостатки прототипа, которые могут быть устранены в новом изделии, т.е. для каждого прототипа следует указать:

- критерии развития ТО;
- показатели, не соответствующие сформулированной функции;
- факторы, снижающие эффективность или затрудняющие использование прототипа;
- показатели, которые желательно улучшить.

Для каждого критерия, показателя и фактора следует дать по возможности количественную оценку с перспективой на будущее. Перечень требую-

щих улучшения критериев, показателей и факторов с их количественной оценкой будем называть **списком недостатков прототипа**.

При составлении списка недостатков целесообразно изучить конструктивную эволюции рассматриваемых ТО для более обоснованного выбора критериев развития, использовать метод обратной мозговой атаки. Полученный список недостатков необходимо упорядочить по степени важности их устранения и выделить самые важные недостатки, устранение которых будем считать **главными целями решения задачи**.

При выполнении этой операции рекомендуется использовать существующие проблемно- и объектно-ориентированные списки недостатков, а также материал книги [18].

Продолжение примера. Список недостатков применения контактной группы типа RCA:

1. Если использовать стандартную конструкцию контактной группы гнездо-штекер RCA, то возникает искажение передаваемого информационного сигнала и, как следствие, потеря качества передаваемой аудиовизуальной информации. Таким образом, контактная группа должна быть нейтральным звеном, которое передает информационный сигнал, не вызывая его искажения, и служит для соединения компонентов бытовой радиоэлектронной аппаратуры.

2. Сформулированной функции не соответствуют такие показатели как паразитные емкости и индуктивности контактной группы, а также контактное сопротивление.

3. Эффективность использования разъемного соединения типа RCA стандартной конструкции снижается из-за коррозии, которой подвержены металлические контакты; из-за неплотного соприкосновения между штекером и гнездом.

4. В новом конструктивном исполнении желательно улучшить долговечность и надежность контактной группы.

Упорядочение этих недостатков по важности их устранения: 1, 3, 2, 4. Главные цели решения задачи — устранение недостатков 1, 3.

Операция 5. Предварительная формулировка задачи. Кратко обобщаются результаты, полученные при выполнении операций 1 - 4. При этом задача традиционно содержит две части: «дано» и «требуется». Такое обобщение дает комплексное и легко обозримое представление о задаче, что способствует продуктивной работе.

Дано:

а) качественное или количественное (в зависимости от характера задачи) описание функции и ограничений, накладываемых на реализацию функций;

б) перечень и описание возможных прототипов и списки требований к ним;

в) списки недостатков прототипов.

Требуется:

в процессе решения задачи так изменить прототип, т.е. найти такое новое техническое решение, которое бы реализовало интересующую функцию и не имело (или имело в меньшей мере) недостатки, присущие прототипу.

Продолжение примера: требуется так изменить существующую конструкцию контактной группы типа RCA, чтобы:

1) обеспечивалась передача между компонентами бытовой радиоэлектронной аппаратуры информационных сигналов со следующими показателями:

- прохождение аудиосигнала в полосе частот 10 – 100 000 Гц;
- динамический диапазон передаваемых аудиосигналов – свыше 120 дБ;

2) металлические контакты были стойкими к воздействию окружающей среды;

3) сочетались два качества – механическая прочность и простота процесса соединения-разъединения.

Операция 6. Анализ функций прототипа и построение улучшенной конструктивной функциональной структуры. Проводят корректировку (улучшение) функциональной структуры (ФС), для чего необходимо ответить на вопросы:

а) какие можно ввести новые функциональные элементы, обеспечивающие устранение недостатков прототипа или существенное повышение эффективности и качества ТО? Дают название таким элементам и описывают их функции;

б) какие можно исключить элементы для устранения недостатков прототипа или повышения эффективности качества ТО?;

в) какие элементы целесообразно исключить путем передачи их функций другим элементам?;

г) для каких элементов, имеющих несколько функций, целесообразно разделение функций и введение вместо одного двух или более элементов? Дают названия новым элементам и описывают их функции.

После ответа на перечисленные вопросы строят улучшенную конструктивную ФС. При этом возможны ситуации, когда не удастся изменить ФС прототипа или появляется несколько альтернативных улучшенных ФС.

Продолжение примера. Анализ функций штекера типа RCA.

Поиск улучшенной конструктивной ФС:

- а) - фиксатор для обеспечения надежного контакта штекера и гнезда;
 - встроенный фильтр для подавления электромагнитных наводок;

б) элементов, подлежащих исключению, не имеется в связи с упрощенной конструкцией штекера-прототипа RCA;

в) элемент для захвата пальцами целесообразно исключить путем передачи его функции фиксатору;

г) – центральный штекер в виде сплошного стержня целесообразно разделить на собственно центральный стержень и на пружинящий наконечник;

- контакт общего проводника («юбку») целесообразно разделить на собственно цилиндр-«юбку» и на пружинный обжим.

Пружинящий наконечник и пружинный обжим имеют одинаковые функции – обеспечение плотного прижима центрального штекера и общего контакта к соответствующим контактам гнезда.

Улучшенная функциональная структура приведена на рисунке 3.2.

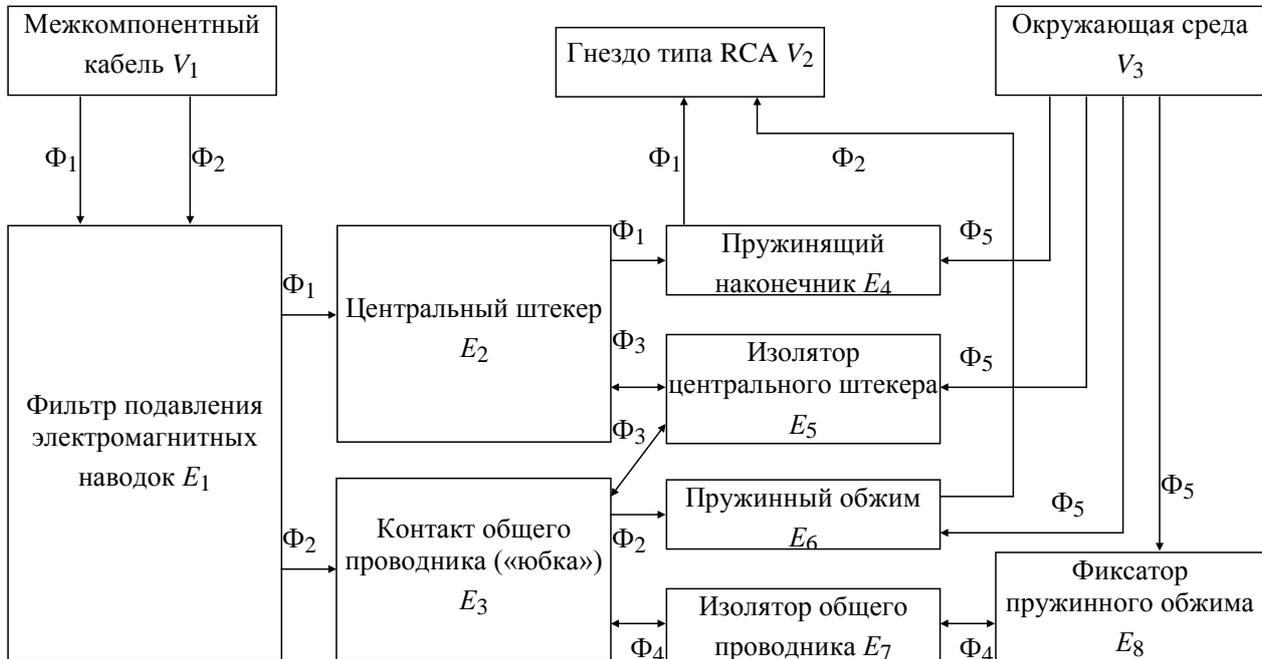


Рисунок 3.2 – Улучшенный вариант конструктивной ФС штекера типа RCA

Список функций:

- Φ1 – передача информационного сигнала;
- Φ2 – передача электрического сигнала общего проводника;
- Φ3 – изоляция центрального штекера от контакта общего проводника;
- Φ4 – изоляция контакта общего проводника от фиксатора пружинного зажима и одновременно от контакта с пальцами;
- Φ5 – воздействие окружающей среды на элементы, находящиеся снаружи.

Операция 7. Анализ функций вышестоящей по иерархии системы.

Почти всегда рассматриваемый ТО можно представить как элемент в другой, более сложной технической системе (например, деталь в узле, узел в машине, машина в технологической линии цеха и т.д.).

Для анализа необходимо:

1. Выделить вышестоящую по иерархии систему, в которой в качестве отдельных элементов (подсистем) выступают рассматриваемый ТО и другие смежные с ним объекты (другие ТО, окружающая среда, человек и т.д.).
2. Описать функции всех элементов, входящих в выделенную систему, и построить конструктивную ФС.
3. Выяснить возможность удовлетворения потребности, т.е.:
 - можно ли выполнить функцию рассматриваемого ТО путем внесения изменений в смежные объекты;

- нельзя ли какому-либо смежному объекту частично или полностью передать выполнение функции рассматриваемого ТО;

- что мешает внесению необходимых изменений и нельзя ли устранить мешающие факторы.

4. Сформулировать по аналогии с операцией 5 задачу внесения изменений в смежные объекты. Провести технико-экономическое сравнение первоначальной постановки задачи по операции 5 с задачей внесения изменения в смежные объекты. Если последняя более эффективна, то следует проработать ее по операциям 1 - 6.

Продолжение примера.

1. Контактная группа штекер-разъем RCA является составной частью системы более высокого порядка – бытового аудиовидеокомплекса. Составные элементы этой системы: DVD-проигрыватель, многоканальный усилитель с декодером цифрового звука, акустические системы, телевизор, спутниковый тюнер, видеомагнитофон, межкомпонентные кабели, пользователь, окружающая среда.

2. Описание функций вышеназванных элементов системы и построение конструктивной ФС не вызывает затруднений, в связи с чем, здесь не приводится.

3. Рассматриваемую функцию контактной группы – соединение компонентов бытовой аппаратуры и передача информационного сигнала - теоретически можно выполнить путем внесения изменений в компоненты аудиовидеокомплекса. Идея заключается в интеграции всех компонентов в один корпус, т.е. создание своеобразного радиоэлектронного «комбайна». В этом случае вся разводка выполняется внутри аппарата в виде неразъемных соединений. Какой-либо смежный объект стандартного аудиовидеокомплекса не в состоянии выполнять рассматриваемую функцию. Осуществить идею интеграции всех компонентов бытового аудиовидеокомплекса мешают следующие причины: дороговизна, громоздкость, отсутствие гибкости и универсализма в использовании.

4. В данном случае задача должна быть решена без внесений изменений в смежные объекты.

Операция 8. Выявление причин возникновения недостатков. Проводятся более углубленный анализ и изучение задачи в направлении выявления причин возникновения недостатков в прототипе, сформулированных при выполнении операции 4.

Следует сопоставить каждый недостаток и причину его возникновения и попытаться ответить на вопрос: можно ли полностью или частично избавиться от недостатка, исключив причину его возникновения?

Пример выявления причин недостатков контактной группы типа RCA дан в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Причины недостатков (дефектов) контактной группы типа RCA

Номер недостатка	Причина возникновения недостатка	Можно ли и как в принципе устранить причину возникновения недостатка
1. Коррозия металлических поверхностей контактов	Воздействие окружающей среды на контакты	1.1 Покрытие контактов антикоррозионным проводящим слоем
		1.2 Введение чехла-изолятора, закрывающего место соединения штекера и гнезда
2. Паразитные емкость и индуктивность, контактное сопротивление	Неплотное соприкосновение контактов штекера и гнезда	2.1 Оптимизация геометрической формы соприкасающихся поверхностей контактов
		2.2 Применение фиксаторов для плотного соприкосновения
3. Электромагнитные наводки, действующие на кабель RCA	Близость источников сильного электромагнитного излучения. Большая длина кабеля	Расположение внутри штекера встроенного фильтра для подавления электромагнитных наводок
4. Неудобство процесса соединения-разъединения	Скользкая поверхность внешнего изолятора для захвата пальцами	Подбор нового материала изолятора и оптимизация его геометрической формы

Операция 9. Выявление и анализ противоречий развития. Улучшение многих ТО связано с преодолением так называемых *противоречий развития*, которые могут иметь место в следующей типичной ситуации.

Улучшение какого-либо желаемого показателя ТО приводит к существенному ухудшению одного или нескольких других важных показателей (например, увеличение размера диагонали кинескопа телевизора приводит к увеличению массогабаритных показателей; снижение помех от деформации антенны радиотелескопа приводит к резкому повышению стоимости антенны).

Возможно и другое противоречие развития, когда улучшение желаемого показателя ограничено некоторым фактором. Например, возрастание быстродействия ЭВМ ограничено скоростью передачи сигналов внутри машины.

При выявлении и анализе противоречий развития выполняют следующие процедуры.

1. Из списка недостатков прототипа, выявленных в операции 4, выберите недостатки, связанные с улучшением количественных показателей и в первую очередь относящиеся к критериям развития ТО.

2. При рассмотрении каждого такого показателя ответьте на вопросы:

- какой показатель ТО существенно ухудшается при улучшении рассматриваемого показателя;

- какие факторы (константы, стандарты и т.д.) ограничивают улучшение желаемого показателя.

3. Постройте качественный или количественный график зависимости ухудшаемого показателя от улучшаемого.

Более подробно выявление и анализ противоречий развития (технические противоречия, физические противоречия) рассмотрены в книгах [16, 19-21]. При выполнении пункта 3 рекомендуется использовать программы и системы математического моделирования ТО.

Продолжение примера.

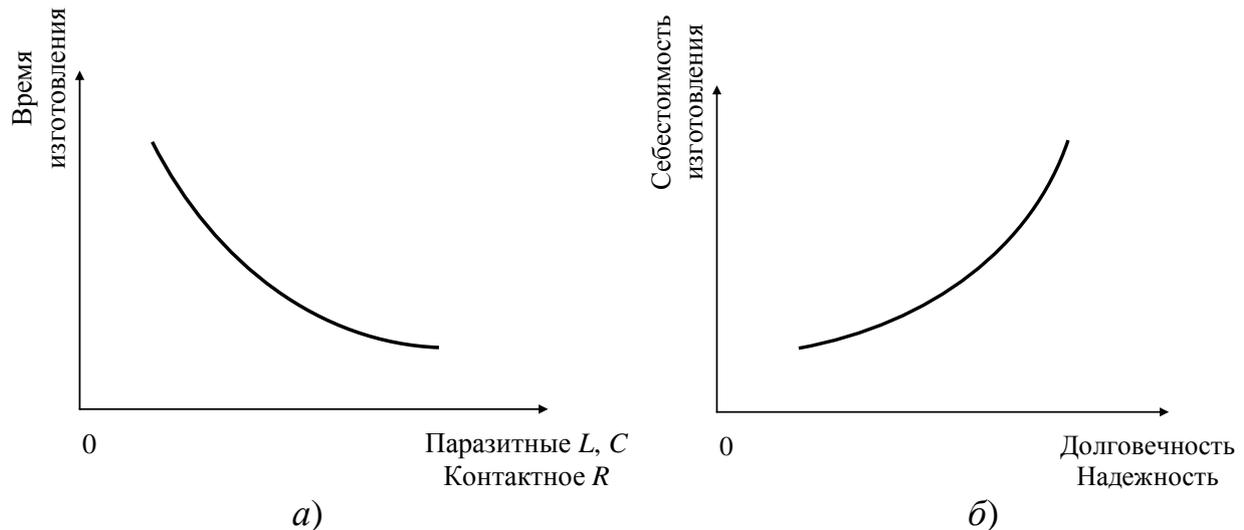
1. Недостатки прототипа контактной группы типа РСА, связанные с улучшением количественных показателей – это паразитная емкость и индуктивность, а также контактное сопротивление. Минимизация этих показателей относится к критерию развития ТО – нейтральности контактной группы.

2. При минимизации паразитных параметров существенно возрастает время на изготовление такой контактной группы из-за прецизионной конструкции изделия. Фактор дороговизны некоторых материалов для предотвращения коррозии контактной группы ограничивает улучшение надежности и долговечности изделия.

3. Графическое отображение указанных противоречий развития показано на рисунке 3.3, где даны качественные графики.

Операция 10. Уточнение списка прототипов и формирование идеального технического решения. Выявление и анализ недостатков прототипа (операции 4, 8, 9), анализ функций прототипа и вышестоящей системы (операции 6, 7) значительно расширяют представление о задаче и требованиях к прототипу. В связи с этим целесообразно еще раз вернуться к выбору наиболее подходящего прототипа для разработки улучшенного ТО и использовать рекомендации, данные в операциях 3, 6, 7. Кроме того, полезно сформулировать и представить **идеальное техническое решение**.

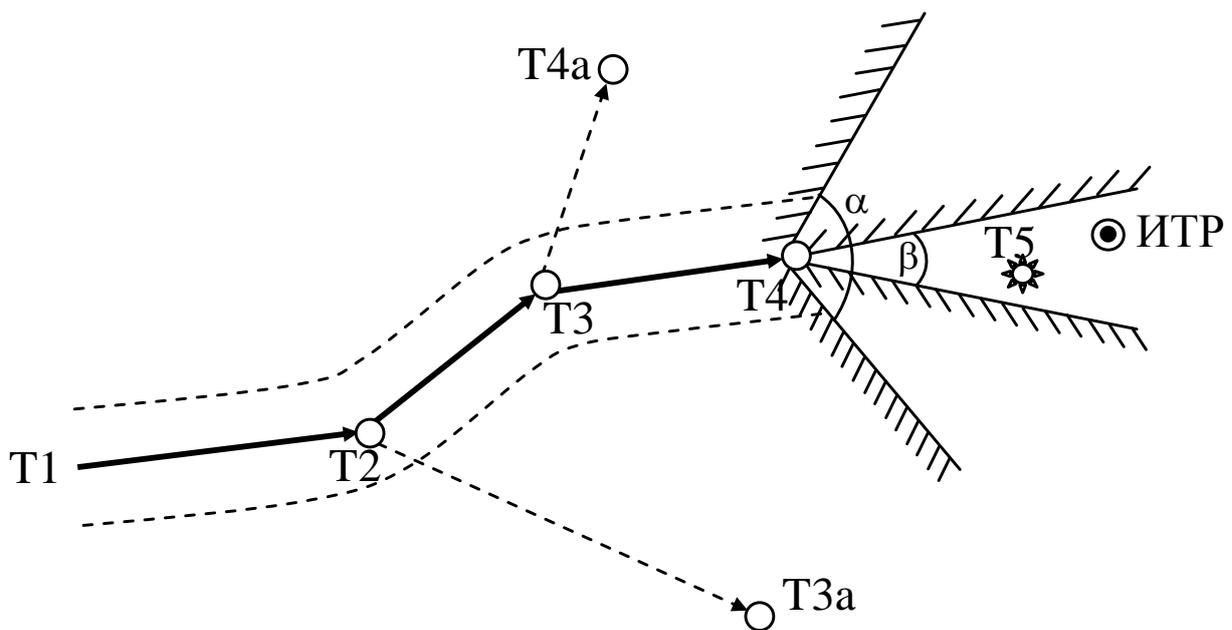
Любой класс ТО имеет вполне определенное направление (или **главную магистраль**) развития, ограниченную штриховыми линиями на рисунке 3.4. В связи с этим все изобретения можно разделить на две группы: **прогрессивные** (Т1, ..., Т4), которые лежат на главной магистрали, и **тупиковые** (Т3а, Т4а), уходящие в сторону от главной магистрали. При создании нового ТО задача заключается не в поиске вообще новых улучшенных технических решений, а в поиске решений, лежащих на главной магистрали.



a - зависимость времени изготовления изделия от значений паразитных параметров;

б - зависимость себестоимости изделия от долговечности и надежности

Рисунок 3.3 - Противоречия развития контактной группы типа RCA



T1, T2, T3 - предшествующие массовому выпуску ТО; T4 - рассматриваемый прототип; α - угол поиска без знания ИТР; β - сужение угла поиска с ориентацией на ИТР

Рисунок 3.4 - Главная магистраль развития ТО

К одному из приемов, помогающих выбору нового технического решения на главной магистрали развития, относится формулировка *идеального технического решения* (ИТР), которое конструкторы и изобретатели назы-

вают по-разному: идеальный конечный результат, идеальная машина, предельно совершенное устройство (см. раздел 3.6). ИТР является как бы ориентиром для выбора прототипа и конструирования улучшенного ТО. Так, например, академик В. А. Котельников ввел в свое время понятие «идеального приемника» и показал, что даже лучший из приемников может снизить помехи до определенного предела. Схема идеального приемника Котельникова направила поиски изобретателей по более узкому и перспективному направлению.

Определение ИТР. Будем считать техническое решение идеальным, если оно имеет одно или несколько из следующих свойств:

1. В ИТР размеры ТО приближаются или совпадают с размерами обрабатываемого или транспортируемого объекта, а чистая масса ТО намного меньше массы обрабатываемого объекта.

2. В ИТР масса и размеры ТО или его главных функциональных элементов приближаются к нулю, а в предельном случае равны нулю (когда устройства вообще нет, но необходимая функция выполняется).

3. В ИТР время обработки объекта приближается к нулю или равно нулю.

4. В ИТР КПД приближается к единице или равен единице, а расход энергии приближается к нулю или равен нулю.

5. В ИТР все части ТО все время выполняют полезную работу в полную меру своих расчетных возможностей.

6. ТО, имеющий ИТР, функционирует бесконечно длительное время без ремонта и остановок.

7. ТО, имеющий ИТР, функционирует без человека или при его минимальном участии.

8. ТО, имеющий ИТР, не оказывает никакого отрицательного влияния на человека и окружающую природную среду.

В таблице 3.3 приведены примеры приближения к ИТР.

При формировании ИТР для своего класса ТО необходимо войти в роль футуролога или писателя-фантаста и описать по возможности подробно (для реализации рассматриваемой функции) техническое решение будущего, удовлетворяющего по возможности указанным свойствам ИТР. Особое внимание следует обратить на физический принцип действия, внешний вид и основные показатели эффективности ТО. При этом целесообразно использовать прямую мозговую атаку.

Для формулировки ИТР полезно также использовать следующие правила [19]:

- не следует заранее думать – возможно или невозможно в принципе осуществить ИТР;

- как и какими путями будет реализовано ИТР.

Примеры приближения к ИТР

Прототипы ТО	Значительное приближение к ИТР
Телефон, передающий информацию по проводам	Сотовый мобильный телефон, передающий информацию без проводов
ЭВМ на лампах	ЭВМ на интегральных микросхемах с высокой степенью интеграции
Телевизор с электронно-лучевой трубкой с габаритными размерами 800×600×500 мм	Плазменные и жидкокристаллические телевизоры с габаритными размерами 800×600×50 мм
Дискета 5.25" для хранения информации объемом до 720 кБайт	Диск CD-RW для хранения информации объемом до 680 МБайт
Видеокамера формата VHS массой 3 кг с фиксацией на плече	Цифровая видеокамера формата MiniDV массой 390 г с фиксацией одной ладонью

Рекомендуется использовать прием изображения двух картинок (рисунок 3.5). При изображении второй картинке ничем не ограничивайте свою фантазию.

Как было



а)

Как стало



б)

а – автомобильный CD-ресивер с перегруженными органами управления и индикации передней панелью; *б* – автомобильный CD-ресивер со складывающейся двойной передней панелью

Рисунок 3.5 - Пример изображения двух картинок

Важность формулировки ИТР заключается в том, что оно позволяет во всем многомерном пространстве поиска выделить (определить) достаточно малый угол поиска β (см. рисунок 3.4), который обеспечивает более целенаправленную изобретательскую работу и концентрирует интуицию в наиболее перспективном направлении. Суженный угол β предотвращает выбор тупиковых технических решений (аналогичных Т3а, Т4а) и, как правило, в про-

странстве этого угла между ИТР и прототипом Т4 лежит искомое решение Т5.

Продолжение примера. Применительно к задаче с контактной группой RСА можно дать следующую формулировку ИТР. Информационные сигналы аналогового и цифрового типа передаются без особых средств и затрат между компонентами бытового аудиовидеоконкомплекса без видимых и слышимых искажений (или вообще без искажений). При этом соединение между компонентами осуществляется просто и надежно.

В соответствии с рекомендациями операции 3 определяют требования для уточненного списка прототипов. При этом для прототипов, которые были выбраны ранее, уточняют списки требований, по возможности усиливая их на основе проведенных проработок. Иногда можно ослабить несущественные требования, если это дает несоизмеримо больший выигрыш по более важным показателям.

Операция 11. Улучшение других показателей ТО. При разработке новой модели или нового поколения ТО стремятся сделать изделия, которые не только бы устраняли главные видимые недостатки (определенные в операции 4), но и имели значительные преимущества перед существующими изделиями **по комплексу всех существенных показателей.** Поэтому по отношению к выбранным в операции 10 прототипам рекомендуется провести анализ и ответить на вопросы:

- какие еще можно устранить недостатки в прототипе?
- какие показатели могут быть дополнительно улучшены и на сколько?

При ответе на эти вопросы следует рассмотреть возможности улучшения средств выполнения функций, сформулированных в операциях 6, 7; устранения недостатков, выявленных в операциях 8, 9; приближения к ИТР.

При выполнении этой операции следует также учесть рекомендации, указанные в операции 4. Кроме того, полезно использовать существующие проблемно- и объектно-ориентированные списки критериев развития ТО, списки параметров ТО и списки требований к ТО.

Операция 12. Уточненная постановка задачи. По форме она излагается, как и предварительная постановка задачи (в операции 5). При этом к исходным данным относятся:

- качественное и количественное описание функции ТО;
- перечень и краткое описание прототипов, к которым могут быть отнесены улучшенные функциональные структуры и ИТР, и списки основных требований к прототипам;
- списки главных недостатков прототипов с указанием неочевидных причин возникновения недостатков;
- списки дополнительных недостатков и показателей, которые желательно улучшить;
- формулировка противоречий развития прототипов.

3.2 Критерии развития технических объектов

Критерии развития являются одновременно важнейшими показателями, или критериями качества, т.е. имеют большое значение при оценке качества ТО. Значение критериев развития особенно важно для специалистов, которые стремятся при разработке новых изделий превзойти уровень лучших мировых достижений. Для решения этих задач критерии развития играют роль компаса, указывающего направления магистрального прогрессивного развития изделий и технологий.

Поскольку любой ТО, как правило, имеет несколько критериев развития, то принцип прогрессивного развития для каждого нового поколения ТО заключается в улучшении одних и неухудшении других критериев.

Наборы критериев развития для различных классов ТО в значительной степени совпадают, поэтому в целом развитие техники в большой мере подчинено единому набору критериев, определяющих развитие техники.

Этот единый набор включает следующие четыре группы критериев:

- функциональные критерии, характеризующие важнейшие показатели реализации функции ТО;
- технологические критерии, связанные только с возможностью и простотой изготовления ТО;
- экономические критерии, определяющие только экономическую целесообразность реализации функции с помощью рассматриваемого ТО;
- антропологические критерии, связанные с вопросами человеческого фактора или воздействия положительных и отрицательных факторов на людей, вызванного созданным ТО.

На рисунке 3.6 показана систематика критериев развития ТО, реализующих различные функции. Этот перечень не претендует на исчерпывающую полноту.

Сформулируем условия и требования, которым должны удовлетворять параметры, относящиеся к критериям развития ТО. Иначе говоря, определим условия и требования, с помощью которых для любого класса ТО можно выделить его критерии развития.

Условие измеримости. За критерии развития могут быть приняты только такие параметры ТО, которые допускают возможность количественной оценки по одной из шкал измерений [22]: шкале отношений, шкале интервалов, шкале порядка. Предпочтение отдается шкале отношений, но, если она неприемлема, то шкале интервалов и в последнюю очередь шкале порядка.

Условие сопоставимости. Критерий должен иметь единицы измерения, которые позволяют сопоставить ТО для разных времен и стран. Лучше всего подходят безразмерные величины и удельные величины, с помощью которых можно сопоставлять ТО соответственно с различными функциями и с одинаковой функцией или близкими функциями.

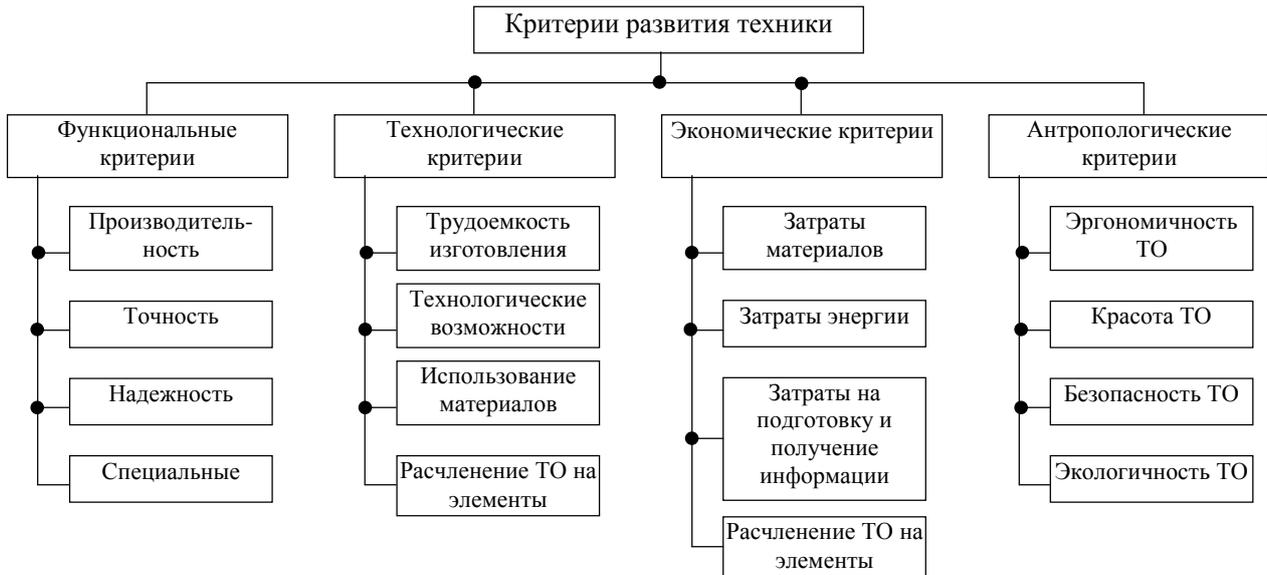


Рисунок 3.6 – Систематика критериев развития техники

Условие исключения. За критерии могут быть приняты такие параметры ТО, которые в первую очередь характеризуют его эффективность и оказывают определяющее влияние на его развитие. Если эти параметры не принимать во внимание при создании новых поколений ТО (такой мысленный эксперимент нетрудно провести), то это может привести к следующему:

- возникновению нежелательных путей развития рассматриваемого класса ТО;
- полному отсутствию развития;
- значительно меньшей мере удовлетворения потребностей человека (пользователя) или вообще полному неудовлетворению.

Условие постоянства. За критерии могут быть приняты такие параметры ТО, для которых всегда имеет место условие исключения.

Условие минимальности и независимости. Вся совокупность критериев должна содержать только такие, которые не могут быть логически выведены из других критериев или не могут быть их прямым следствием.

После выделения набора критериев развития для интересующего класса ТО конструктор или изобретатель должен дать описание каждого критерия. Такое описание включает следующие сведения.

1. Сущность критерия, время и причины его возникновения.
2. Формула или способ измерения критерия, включая указанные шкалы или единицы измерения.
3. Диапазон и характер изменения значений критерия во времени.
4. Оценка степени общности критерия по трехбалльной шкале:
 - а) критерий имеет отношение к рассматриваемому классу ТО с одинаковыми или близкими функциями;

б) критерий имеет отношение к нескольким классам ТО с различными функциями, но определенными общими свойствами;

в) критерий имеет отношение к ТО с любой функцией.

Оценка степени общности критерия указывает на возможности заимствования улучшенных технических решений из других областей техники.

5. Оценка изменения относительной значимости (актуальности) критерия в прошлом и обозримом будущем по трехбалльной шкале:

а) актуальность возрастает;

б) остается неизменной;

в) снижается.

6. Основные способы и средства улучшения критерия.

Функциональные критерии развития ТО. Для каждого ТО функциональные критерии развития представляют собой количественную характеристику основных показателей реализации функции ТО, т.е. эти критерии выявляют на основе анализа описания функции ТО. Поскольку функции ТО характеризуются самыми различными показателями, то практически невозможно дать исчерпывающий перечень функциональных критериев. В связи с этим рассмотрим только некоторые наиболее часто действующие функциональные критерии. Среди них можно выделить три группы критериев (см. рисунок 3.6): производительность, точность и надежность.

Критерий производительности всегда может быть измерен или вычислен. Структура формулы для вычисления критерия и единица измерения производительности могут быть самыми различными. Примеры приведены в таблице 3.4, где приняты следующие обозначения: N – количество операций; t – время; Pg – количество страниц; V – объем информации; Ms – количество микросхем; Ot – количество отверстий; Pd – количество подложек.

Критерий производительности представляет собой интегральный показатель уровня развития техники, который непосредственно зависит от ряда параметров, определяющим образом влияющих на производительность труда. Эти параметры представляют собой как бы частные функциональные критерии. К ним относятся:

1) скорость обработки объекта (число оборотов или операций в единицу времени, скорость движения рабочих органов машины, транспортной машины, протекания химической реакции и т.п.);

2) физические и химические параметры (температура, давление, напряжение и др.), определяющим образом влияющие на интенсивность обработки объекта (предмета обработки);

3) степень механизации труда;

4) степень автоматизации труда;

5) непрерывность процесса обработки.

Определим критерии пунктов 3 – 5, которые в отличие от критериев пунктов 1 – 2 являются комплексными и зависят от многих факторов.

Таблица 3.4

Примеры формул критерия производительности

Наименование ТО	Структура формулы	Единица измерения
Процессор ЭВМ	N/t	операций/с
Принтер	Pg/t	страниц/мин
Модем	V/t	кБит/с
Автоматическая паяльная станция	Ms/t	микросхем/с
Записывающий привод для компакт-дисков CD-ROM	V/t	МБайт/с
Сверлильный станок для изготовления сквозных отверстий печатных плат	Ot/t	отверстий/мин
Установка магнетронного напыления тонких пленок гибридных интегральных микросхем	Pd/t	подложек/час

Критерий механизации равен отношению механической работы, выполняемой только ТО, ко всей механической работе, выполняемой суммарно ТО и человеком (коллективом людей) при получении определенной продукции.

Критерий автоматизации равен отношению числа управляющих операций, выполняемых только ТО, к общему числу управляющих операций, выполняемых суммарно ТО и человеком при получении определенной продукции.

Критерий непрерывности процесса обработки, связанный с получением определенной готовой продукции, равен отношению числа операций, выполняемых с использованием непрерывных процессов, к общему числу операций с использованием непрерывных и прерывистых процессов воздействия на предмет обработки. Под непрерывными процессами здесь понимается вращательное, поступательное и поточное движение без существенного снижения скорости или безостановочная обработка; под прерывистыми процессами – возвратно-поступательное движение, операции с остановками или прерываниями технологического процесса при переходе к следующей операции и т.п. Следует заметить, что в основе критерия непрерывности процесса обработки лежит один из главных способов повышения производительности труда.

Критерии точности включают следующие частные критерии:

- точность измерения;
- точность попадания в цель;

- точность обработки материала или вещества;
- точность обработки потока энергии;
- точность обработки потока информации.

Для этих частных критериев имеются развитые способы измерения и оценки точности, которые легко найти в специальной литературе.

Критерий надежности включает частные критерии:

- безотказности;
- долговечности;
- сохраняемости;
- ремонтпригодности.

Определение этих критериев для различных ТО легко найти в специальной литературе.

Под надежностью ТО обычно подразумевают способность без отказов выполнять свою функцию с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени. Критерий надежности возрастает с увеличением времени и вероятности безотказной работы.

Критерии производительности, точности и надежности представляют собой монотонно возрастающие функции. Актуальность и вес этих критериев всегда были выше по сравнению с другими группами критериев (см. рисунок 3.6) и со временем продолжают возрастать.

Технологические критерии развития ТО. Группа технологических критериев главным образом обеспечивает всестороннюю экономию живого труда при изготовлении ТО и подготовке их к эксплуатации. Кроме того, эти критерии направлены на экономию материалов, зависящую от технологических факторов, что опять вносит определенную долю в экономию живого труда. Можно выделить четыре основных технологических критерия.

Критерий трудоемкости изготовления ТО. Критерий равен отношению суммарной трудоемкости T_C проектирования, изготовления и подготовки к эксплуатации изделия к его главному показателю эффективности Q , т.е. представляет собой удельную трудоемкость изготовления на единицу получаемой эффективности:

$$K_T = \frac{T_C}{Q}.$$

Главный показатель эффективности Q выбирают таким образом, чтобы критерий K_T объективно отражал прогрессивное развитие рассматриваемых ТО. В таблице 3.5 приведены примеры выбора показателя Q для различных ТО. Критерий K_T представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений ТО ведется по одному и тому же показателю эффективности Q .

Критерий трудоемкости является одним из самых древних, поскольку он действует и в сильной степени влияет на развитие ТО, начиная с каменного века, с первых искусственно изготавливаемых орудий – ручных рубил. Акту-

альность этого критерия на протяжении всей истории техники всегда была и остается весьма высокой и неизменной.

Имеются все основания утверждать, что критерий K_T проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО.

Таблица 3.5

Примеры показателя эффективности ТО

Наименование ТО	Показатели эффективности	
	Наименование	Размерность
Процессоры ЭВМ, копировально-множительная техника	Производительность	операций/с, страниц/мин
Трансформатор	Мощность	кВ·А
Электронный усилитель	Коэффициент усиления	дБ
Сканер	Разрешающая способность	точек/дюйм
Электродвигатель	Крутящий момент	Н·м/с
Динамическое ОЗУ	Время доступа	мс
Аккумуляторная батарея	Относительное время работы ко времени заряда	отн. ед.

Критерий технологических возможностей. Любой ТО, разработанный только с учетом функциональных и антропологических критериев (требований), может содержать не более пяти типов элементов (агрегатов, узлов, деталей):

- A_c – стандартные или покупные элементы, получаемые в готовом виде;

- A_y – унифицированные элементы, заимствованные из существующих ТО;

- A_{H1} – оригинальные (новые) элементы, изготовление которых не вызывает затруднений (могут быть изготовлены на имеющемся оборудовании), но требует разработки и отработки технологии их изготовления;

- A_{H2} – оригинальные элементы, изготовление которых вызывает значительные, но преодолимые трудности (требуется разработка новой технологии с предварительным изготовлением технологической оснастки, приобретение дефицитного оборудования и т.п.);

- A_{H3} – оригинальные элементы, изготовление которых вызывает принципиальные, пока непреодолимые трудности (отсутствует в принципе или

нельзя приобрести необходимое технологическое оборудование или подходящие материалы, требуется предварительное проведение НИР и ОКР и т.п.).

Критерий технологических возможностей, который должен отражать простоту и принципиальную возможность изготовления ТО, можно определять по формуле:

$$K_{Т.В} = \varepsilon \frac{k_c A_c + k_y A_y + k_{н1} A_{н1} + k_{н2} A_{н2}}{A_c + A_y + A_{н1} + A_{н2} + A_{н3}}, \quad (3.1)$$

где $\varepsilon = \begin{cases} 1, & \text{если } A_{н3} = 0; \\ 0, & \text{если } A_{н3} > 0; \end{cases}$ $k_c, k_y, k_{н1}, k_{н2}$ – весовые коэффициенты, причем k_c

$= 1$, $k_c > k_y > k_{н1} > k_{н2}$ (например, $k_y = 0.5$, $k_{н1} = 0.2$, $k_{н2} = 0.01$); $A_c, A_y, A_{н1}, A_{н2}, A_{н3}$ – соответственно число наименований стандартных, унифицированных и оригинальных элементов в ТО (под одним наименованием может быть несколько одинаковых элементов).

На практике широко используют частные случаи этого обобщенного критерия: критерий стандартизации, когда в числителе формулы (3.1) берется только A_c ; критерий унификации, когда в числителе берется $A_c + A_y$.

Критерий технологических возможностей в любой форме представления изменяет свои значения на отрезке $0 \leq K_{Т.В} \leq 1$. Хотя улучшение критерия связано с возрастанием значения $K_{Т.В}$, все же его нельзя отнести к монотонно возрастающим функциям, поскольку часто в новых поколениях ТО для улучшения более важных критериев приходится ухудшать критерий технологических возможностей. Основная форма представления критерия (3.1) стимулирует исключение абсолютно нетехнологичных элементов $A_{н3}$ и минимизацию элементов $A_y, A_{н1}, A_{н2}$ в соответствии с их весовыми коэффициентами.

Критерий технологических возможностей отражает фактор наследственности в технике, аналогичный фактору наследственности в живой природе, определяемому законом Дарвина. При переходе от одного поколения ТО к другому критерий $K_{Т.В}$ заставляет в наибольшей мере сохранять и использовать проверенные практикой функциональные элементы, отработанную технологию их изготовления и существующее технологическое оборудование. Поскольку за каждое конструктивное изменение в новом поколении ТО приходится «платить» значительными дополнительными затратами, связанными с изменением технологического процесса и созданием соответствующего технологического оборудования, приспособлений и инструментов, тем более имеется риск, что новые элементы не оправдают себя на практике.

Критерий технологических возможностей начал оказывать влияние на развитие техники с конца XVIII века, когда значительно возросла сложность ТО и в достаточной степени развилось «машинное производство машин», орудий труда и оружия, выпускаемых большими сериями. Актуальность кри-

терия технологичности сильно возросла в первой половине XX века и продолжает расти до сих пор.

Критерий технологических возможностей имеет отношение к любому классу ТО. Способы и средства улучшения этого критерия, которые следуют из структуры формулы (3.1), приведены в Приложении 1 (раздел 12).

Критерий использования материалов. Для изготовления элементов ТО используют различные природные материалы, отлитые заготовки, стандартные корпуса, кабели и шины, специальные профильные заготовки (валы, шары, шестерни) и др. В процессе обработки исходного материала и заготовок появляются обрезки, стружка и другие отходы, в результате чего масса готовых деталей и, соответственно, ТО получается меньше массы израсходованных материалов. В связи с этим потери, например, черных металлов в машиностроении составляют 20-25%, отходы металла в стружку при обработке резанием – до 28%. В целом коэффициент использования металла не превышает 0.55.

Поскольку доля отходов в большей мере проявляется от технологических процессов и технологического оборудования, существует и действует технологический критерий использования материалов $K_{и.м}$, равный отношению массы изделия G к массе израсходованных материалов P (при этом покупные комплектующие элементы не учитываются):

$$K_{и.м} = \frac{G}{P}. \quad (3.2)$$

В случае, когда в ТО используются материалы, значительно различающиеся по стоимости, при вычислении критерия $K_{и.м}$ рекомендуется пользоваться следующими зависимостями:

$$G_n = \sum_{i=0}^m k_i q_i, \quad (3.3)$$

$$P_n = \sum_{i=0}^m k_i p_i, \quad (3.4)$$

где $i = 0, 1, \dots, m$ – номера используемых различных материалов; q_i – масса i -ого материала, используемого в ТО; k_i – весовой коэффициент i -ого материала (можно принять $k_i = \frac{c_i}{c_0}$, где $i = 0, 1, \dots, m$); c_i – стоимость единицы массы

i -ого материала; c_0 – стоимость единицы массы основного материала; p_i – масса i -ого материала, израсходованного на изготовление элементов ТО.

Критерий $K_{и.м}$ представляет собой монотонно убывающую функцию, которая принимает значения в интервале $0 \leq K_{и.м} \leq 1$. Несмотря на тенденцию монотонного убывания, функция (3.2) иногда имеет ступенчатые (скачкообразные) возрастания, обычно связанные с переходом на новые техноло-

гические процессы со значительно большей производительностью или новые более дешевые материалы.

Критерий $K_{и.м}$ можно назвать коэффициентом полезного использования материалов, поскольку по содержанию, характеру и диапазону изменения он близок к энергетическому коэффициенту полезного действия.

Критерий использования материалов начал проявлять свое действие около 40 тыс. лет назад, когда более совершенные разнообразные каменные орудия стали в значительно большем количестве изготавливать в основном из кремня, обсидиана, агата и других нешироко распространенных и находящихся в ограниченных количествах минералов. В это время сформировалась технология экономного использования материалов. Актуальность критерия $K_{и.м}$ на протяжении всей истории техники всегда была и остается высокой и неизменной по отношению к любому классу ТО.

Способы и средства улучшения критерия даны в Приложении 1 (разделы 1, 6).

Критерий расчленения ТО на элементы. Почти каждый ТО можно выполнить из существенно меньшего числа элементов (узлов и деталей), чем он сделан на самом деле. Например, некоторые простые функциональные узлы можно изготовить в виде одной микросборки, отдельные ЭРЭ объединить в интегральную микросхему и т.п. Такая минимизация числа элементов дает, казалось бы, определенный выигрыш за счет исключения элементов сопряжения и соединения (уменьшается общая масса изделия, повышается его жесткость и надежность, уменьшается трудоемкость механической обработки и сборки и т.д.). Однако такое кажущееся упрощение конструкции, наряду с указанными положительными моментами, часто приносит несоизмеримо большие потери. Дело в том, что большое расчленение часто сокращает время и трудоемкость разработки и доводки изделия в целом, поскольку в каждом новом изделии, как бы хорошо оно ни было спроектировано, имеются более или менее совершенные узлы. Поэтому в процессе разработки и доводки нового изделия экономичнее и проще устранять недостатки отдельных более простых узлов, чем сложных узлов или изделия в целом. Большое расчленение ТО на узлы и детали облегчает и расширяет унификацию и стандартизацию с присущими им преимуществами, позволяет чрезмерно сложные (с точки зрения изготовления) по конструкции элементы собирать из простых однотипных элементов.

Следует также отметить, что при чрезмерно мелком дроблении ТО на элементы многие из этих достоинств оборачиваются недостатками.

Кроме указанных технологических причин, на расчленение ТО влияют также функциональные, экономические и антропологические факторы. Это влияние рассматривается при исследовании соответствующих критериев.

Таким образом, всегда существует оптимальное расчленение ТО на узлы и детали, которое значительно упрощает технологию разработки, доводки,

изготовления, ремонта и модернизации изделий, является основой для унификации и стандартизации.

Критерий K_r расчленения ТО на элементы обеспечивает в каждом новом поколении изделий приближение к оптимальному разделению на элементы. Ввиду сложности определения этого критерия не будем давать его аналитического выражения, которое при необходимости можно взять из книги [23].

Критерий K_r имеет отношение к любому классу ТО, которые состоят более чем из одного элемента, серийно изготавливаются и от поколения к поколению претерпевают прогрессивные конструктивные изменения. Способы и средства его улучшения даны в Приложении 1 (разделы 2, 12).

Экономические критерии развития ТО. Критерий расхода материалов. Всесторонняя экономия материалов при разработке и изготовлении ТО вызвана рядом факторов. К основным причинам уменьшения расхода материалов относятся:

- снижение стоимости ТО, поскольку стоимость материалов в ТО составляет 25 – 65% их себестоимости;
- снижение транспортных и погрузочно-разгрузочных расходов при перевозке исходного сырья и материалов для изготовления ТО и при транспортировании готовых ТО к месту их использования;
- экономия энергии при эксплуатации ТО (таких, как транспортные, обрабатывающие и другие машины и устройства), в которых значительная часть энергии затрачивается на обеспечение поступательного, возвратно-поступательного, вращательного и других видов механического движения.

Критерий расхода материала K_M равен отношению массы технической системы G к ее главному показателю эффективности Q :

$$K_M = \frac{G}{Q}, \quad (3.5)$$

т.е. представляет собой удельную массу материалов на единицу получаемой эффективности.

Показатель эффективности Q выбирают в соответствии с рекомендациями предыдущего пункта.

Следует заметить, что формула (3.5) в случаях использования в ТО материалов с значительно различающейся стоимостью оказывается малочувствительной к изменению массы дорогих материалов, которые обычно применяют в небольших количествах. В таких случаях рекомендуется определять приведенную массу G_{Π} по формулам (3.3), (3.4), данным для критерия использования материалов.

Критерий расхода материалов является одним из самых древних. Актуальность его на протяжении всей истории техники всегда была и остается весьма высокой и неизменной.

Критерий K_M , как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений ТО ведется

по одному показателю эффективности Q . Имеются все основания утверждать, что критерий K_M проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО. В Приложении 1 (разделы 1, 2, 6, 10) указаны основные, широко используемые способы абсолютного снижения расхода материалов.

Критерий расхода энергии. При изготовлении и/или эксплуатации ТО, как правило, расходуется определенное количество энергии. Поскольку удовлетворение возрастающих потребностей людей обычно жестко ограничивается имеющимися энергетическими возможностями, то указанные затраты энергии всегда стремятся свести к минимуму. В связи с этим существует и действует критерий расхода энергии:

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{W_{\Pi} + E}{TQ}, \quad (3.6)$$

где W_{Π} – полная затрата энергии за время эксплуатации ТО; E – затраты энергии при изготовлении ТО; T – время эксплуатации ТО.

Формулу (3.6) рекомендуется использовать в случаях, когда величины W_{Π} и E соизмеримы. Для многих ТО $W_{\Pi} \gg E$. В таких случаях используется более простая формула критерия:

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{W}{Q}, \quad (3.7)$$

где W – затраты энергии при эксплуатации ТО в единицу времени.

Поскольку большинство конструктивных мероприятий по улучшению критерия (3.7) сводятся к повышению доли энергии, используемой непосредственно для выполнения полезной работы, то в инженерной практике широко используют еще одну модификацию критерия расхода энергии, называемую коэффициентом полезного действия. Эта модификация критерия равна отношению полезной работы (энергии) W_0 к затраченной работе (энергии) W :

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{W_0}{W}. \quad (3.8)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) в какой-то мере можно назвать частным случаем критерия (3.7), тем более, что, например, для двигателей, генераторов, трансформаторов и других ТО, производящих энергию, критерий (3.8) равен обратной величине критерия (3.7). Несмотря на частный характер критерия (3.8), он имеет самостоятельное значение и особенно удобен при разработке улучшенных (по энергетическим показателям) модификаций ТО.

Критерии (3.6), (3.7), как правило, представляют собой монотонно убывающую во времени функцию при условии, что сравнение различных поколений ТО ведется по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Критерий (3.8) является монотонно возрастающей функцией, которая принимает значения в интервале $0 < K_{\mathcal{E}} < 1$; при этом подразумевается

сравнение ТО с одинаковыми физическими принципами действия. История техники знает немало случаев, когда переход на более перспективный источник энергии происходил со снижением КПД. Примером в радиоэлектронике может служить переход от источников вторичного электропитания (ИВЭП) без частотного преобразования энергии с КПД порядка 30 – 40% к ИВЭП с преобразованием частоты с КПД 70 – 80%.

Критерий расхода энергии является также одним из самых древних, поскольку, начиная с каменного века, люди стремились при получении единицы продукции минимизировать затраты энергии. Актуальность этого критерия на протяжении всей истории техники была и остается весьма высокой и неизменной.

Имеются все основания утверждать, что критерий (3.6) проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО.

Критерий затрат на информационное обеспечение. В последнее время в связи с широким использованием вычислительной техники проявились и возросли затраты на подготовку и обработку информации при создании и эксплуатации многих ТО. Эти затраты становятся сопоставимыми с затратами на материалы и энергию, а прибыли от них быстро возрастают. В связи с этим появилась необходимость введения критерия затрат на информационное обеспечение в виде соотношения:

$$K_{и.о} = \frac{S}{Q}, \quad (3.9)$$

где S – затраты на подготовку и обработку информации, включающие стоимость или эксплуатацию вычислительной техники, разработку (или аренду) программного и информационного обеспечения и т.д.

Критерий (3.9) представляет собой монотонно убывающую функцию. Однако критерий может иметь скачки, когда дополнительные значительные затраты S связаны с переходом на принципиально новую перспективную вычислительную технику, которая сразу не дает опережающего повышения эффективности ТО.

Критерий габаритных размеров ТО. Снижение габаритных размеров ТО и их элементов связано в первую очередь с получением следующих выгод:

- уменьшение площади и объема ТО;
- уменьшение площади земли, занимаемой непосредственно ТО или зданиями, в которых находятся ТО;
- увеличение полезного объема в ТО типа летательных или космических аппаратов, судов, подводных лодок и т.д.;
- сокращение расходов по защите ТО (расходы на материал корпуса, кожухи, чехлы, лакокрасочные покрытия и т.п.) и уходу за ними;
- сокращение расходов по транспортированию ТО.

Критерий габаритных размеров равен отношению основных габаритных размеров технического объекта V к его эффективности:

$$K_{\Gamma} = \frac{V}{Q}.$$

Если наиболее важным является снижение объема ТО, то $V = L \cdot B \cdot H$; если снижение занимаемой площади представляется более важным показателем, чем объем, то $V = L \cdot B$, если наиболее важным из габаритных параметров является уменьшение некоторого линейного размера, то $V = L$ (L, B, H – соответственно длина, ширина и высота ТО). За эффективность Q принимают те же показатели, что и в критерии использования материалов.

Критерий K_{Γ} , как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии сопоставления различных поколений ТО по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Актуальность этого критерия все время монотонно возрастает.

Критерий K_{Γ} имеет влияние на развитие подавляющего большинства ТО за исключением тех, у которых уменьшение габаритных размеров функционально ограничено, например, размерами человека, животных и других объектов, имеющих неизменные размеры.

Основные способы и средства улучшения критерия габаритных размеров даны в Приложении 1 (раздел 1, 2, 3).

Антропологические критерии развития ТО. Группа антропологических критериев обеспечивает по возможности наибольшее соответствие и приспособление ТО к человеку, снижение дискомфорта и повышение положительных эмоций, снижение или исключение вредных и опасных (непосредственных или опосредованных) воздействий ТО на человека.

Критерий эргономичности ТО. Эффективность многих ТО в значительной степени зависит от того, насколько они приспособлены к психофизиологическим качествам человека-оператора, использующего этот ТО или управляющего им при воздействии на предмет обработки, т.е. насколько в системе человек-машина использованы физические, психические и интеллектуальные возможности человека.

Свойство системы человек-машина изменять свою эффективность в зависимости от степени использования возможностей человека-оператора называют эргономичностью. Эффективность ТО при этом в первую очередь выражается через функциональные критерии развития ТО, например, производительность, надежность, точность и др.

Критерий эргономичности для конкретного ТО равен отношению реализуемой эффективности системы человек-машина к максимально возможной эффективности этой системы. Он представляет собой зависящую от времени монотонно возрастающую функцию, стремящуюся к своему пределу, равному единице. В книге [23] дан способ вычисления критерия эргономичности.

Критерий эргономичности можно интерпретировать как коэффициент полезного действия человека в системе человек-машина, тем более, что граница и характер изменения значений этого критерия такие же, как у энергетического коэффициента полезного действия.

Критерий эргономичности действует с древнейших времен по отношению ко всем ТО, с которыми взаимодействует человек-оператор. Актуальность и значимость этого критерия оставалась стабильной до начала XIX века. Начиная со второй половины XIX века стали быстро возрастать разнообразие и сложность машин, станков, аппаратов, в результате чего стали также расти и расширяться требования к человеку-оператору. Особенно усилился этот процесс во второй половине XX века, т.е. актуальность и значимость критерия эргономичности в последнее столетие возросла и продолжает расти, что вызвало формирование и развитие новой научной дисциплины – эргономики, основная прикладная ориентация которой заключается в проектировании и создании оптимальных по эффективности сложных человеко-машинных систем.

Критерий красоты ТО. Эстетическое влияние ТО здесь понимается шире, чем принято в дисциплине по технической эстетике и художественному конструированию. В книге [23] предлагается способ количественной оценки критерия красоты.

Критерий безопасности ТО. Многие ТО, а также выпускаемая ими продукция и используемое сырье оказывают или могут оказать на работающих и окружающих людей различные вредные или опасные воздействия:

- повреждение или поражение органов, приводящее к временной потере трудоспособности;
- тяжелые повреждения или поражения, приводящие к постоянной потере трудоспособности (перевод на инвалидность);
- смертельный исход (исходы).

В связи с этим существует критерий безопасности, под действием которого ТО в своем развитии имеет тенденцию понизить или исключить вредные и опасные воздействия на окружающих людей.

Критерий безопасности ТО можно определять по формуле

$$K_{\sigma} = \sum_{i=1}^n \beta_i \gamma_i \frac{S_i}{S_i^H},$$

где n - число вредных и опасных факторов; β_i - весовой коэффициент i -го фактора, который выбирается в соответствии с градацией по тяжести вредных и опасных воздействий ТО при условии, что $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$; γ_i - весовой коэффициент

i -го вредного или опасного фактора, который принимает следующие значения: $\gamma_i = 1$ при $S_i = S_i^H$, $\gamma_i = \frac{1}{\min(\beta_i)}$, S_i - величина i -го вредного или опасного фактора, вызванного рассматриваемым ТО (это может быть вероятность

легкой или тяжелой травмы, уровень радиации, звуковая или вибрационная нагрузка, концентрация отравляющих веществ в воздухе и т.д.); S_i^H - нормативное (предельно допустимое) значение i -го вредного или опасного фактора (будем так задавать значения величин S_i , S_i^H , чтобы всегда иметь $S_i^H > 0$, а допустимое значение $S_i \leq S_i^H$).

Для каждого нового класса ТО требуется проведение специальных исследований и обоснований для выбора совокупности факторов S_i ; их нормативных значений S_i^H и весовых коэффициентов β_i .

Легко видеть, что при условии ненарушения нормативов, когда все $S_i \leq S_i^H$, критерий K_G принимает значения $0 \leq K_G \leq 1$. При нарушении любого из нормативов получаем $K_G > 1$ и, если нарушение связано с фактором, имеющим относительно большой вес β_i , то $K_G \gg 1$.

Следует заметить, что когда ведется оценка вредных действий ТО на окружающих людей, то часто наряду с рассматриваемым ТО аналогичные вредные воздействия оказывают и другие существующие ТО. В таких случаях рассматривают вопрос не только о невозможности создания проектируемого ТО, но и об исключении существующих ТО, которые имеют свою долю в нарушении нормативов.

Критерий безопасности имеет отношение ко всем классам ТО, которые своим функционированием, выпускаемой продукцией или используемым сырьем оказывают или могут оказать на окружающих людей вредное или опасное воздействие.

Критерий экологичности. Критерий экологичности, или критерий сохранения окружающей среды, должен регулировать взаимоотношения между естественной природой и ТО с точки зрения комфортности и возможности жизни людей.

Критерий экологичности в общем виде можно выразить зависимостью

$$K_{э\kappa} = \frac{S_H + S_K}{S_0}, \quad (3.10)$$

где S_H - площадь территории (суши и воды), на которой по одному или нескольким факторам имеются **недопустимые** (выше нормы, но ниже критических) загрязнения или изменения; S_K - площадь территории, на которой по одному или нескольким факторам имеются **критические** загрязнения и изменения, при которых жизнь человека становится смертельно опасной или невозможной; S_0 - вся площадь страны (или интересующего региона, области и т.д.), которая должна быть постоянной величиной.

К факторам загрязнения и изменения среды относятся:

а) инородные примеси, вносимые в атмосферу, воду и землю в виде **новых** веществ, физических полей и воздействий; различные газы и пыль, выде-

ляемые заводами и транспортными машинами; загрязнение воды и земли промышленными сбросами, пестицидами; радиоактивное, шумовое и тепловое загрязнение среды и многое другое;

б) изменения в неживой природе в виде отклонений от *естественной нормы* концентрации веществ, характеристик физических полей и воздействий, рельефа и структуры поверхности земли и др.;

в) изменения в живой природе в виде отклонений от естественной нормы числа особей существующих видов на единицу площади, исчезновения существующих видов или появления новых.

До начала XIX века отношение (3.10) по существу не действовало как критерий. В XIX веке его действие постепенно возрастало, а в первой половине XX века стало ускоренно расти, и это ускорение усилилось в последнее время особенно за счет составляющей S_K . В это время собственно и возникла проблема охраны окружающей среды и стали вводить соответствующее законодательство.

Следует отметить, что жесткое влияние критерия $K_{ЭК}$ не подразумевает абсолютного прекращения нежелательных загрязнений и изменений природы, поскольку первейшие потребности растущего народонаселения нельзя удовлетворить, не производя таких изменений. Этот критерий в первую очередь должен влиять на выбор средств минимального воздействия на природу, на серьезное обоснование нормативов загрязнения и изменения среды, нарушение которых приносит несоизмеримо больший вред по сравнению с пользой или вообще недопустимо. Под средствами минимального воздействия на природу понимается также широкое использование компенсационных мероприятий, которые обеспечивают в целом уменьшение или стабилизацию критерия $K_{ЭК}$. Например, одновременно с созданием интересующих ТО, которые повышают критерий экологичности, исключают некоторые существующие ТО или проводят специальные мероприятия по восстановлению природы и т.д.

Сфера действия критерия экологичности весьма широкая. Он имеет отношение ко всем классам ТО, производство и функционирование которых загрязняет и изменяет природу.

В вопросах сохранения окружающей среды решающее значение имеет психологический фактор. Здесь в первую очередь должна быть в принципе изменена *психологическая установка* всех лиц, которые непосредственно вносят или могут внести определенное загрязнение и изменение природы, приводящее к повышению $K_{ЭК}$. Этот круг лиц для краткости назовем вредителями природы. Такие люди и в отдаленные времена сознавали, что их действия вызовут некоторые нежелательные изменения окружающей среды. Однако при этом, как правило, считалось, что природа справится с вносимыми загрязнениями и изменениями, которые будут иметь сугубо локальный харак-

тер и в итоге не окажут существенного влияния на здоровье и самочувствие людей.

Психологическая установка вредителей природы должна теперь в принципе измениться, поскольку природа в последнее время в результате суммирования многих нежелательных воздействий оказалась «предельно напряжена» по отношению ко многим факторам загрязнения и изменения. В связи с этим, в отличие от прежних времен, теперь даже небольшое, казалось бы, локальное загрязнение и изменение часто оказывается «последней каплей», вызывающей неожиданные крупные нежелательные или даже катастрофические изменения, которые у большинства людей (в том числе у самих вредителей природы, их родных и близких) вызывают повышение дискомфорта, ухудшение самочувствия и состояния здоровья.

Важность критерия экологичности заключается в том, что при решении очень многих задач поиска более эффективных конструкторско-технологических решений нужно стремиться понизить $K_{ЭК}$. Кроме того, в настоящее время открылось большое поле благородной творческой деятельности - улучшение экологии инженерными средствами, основывающимися на новых конструкторско-технологических решениях.

3.3 Методы исследования в научно-техническом творчестве

3.3.1 Теоретический метод исследования

Целью теоретических исследований является выделение в процессе синтеза РЭС существенных связей между исследуемым объектом и окружающей средой, объяснение и обобщение результатов эмпирического исследования, выявление общих закономерностей и их формализация [2, 24-25].

Теоретическое исследование завершается формированием теории, не обязательно связанной с построением ее математического аппарата. Теория проходит в своем развитии различные стадии от качественного объяснения и количественного измерения процессов до их формализации и в зависимости от стадии может быть представлена как в виде качественных правил, так и в виде математических уравнений (соотношений).

Задачами теоретического исследования являются: обобщение результатов исследования, нахождение общих закономерностей путем обработки и интерпретации опытных данных; расширение результатов исследования на ряд подобных объектов без повторения всего объема исследований; изучение объекта, недоступного для непосредственного исследования; повышение надежности экспериментального исследования объекта (обоснование параметров и условий наблюдения, точности измерений).

При проведении теоретических исследований, основанных на общедоступных методах анализа и синтеза, широко используются декомпозиция и композиция исследуемой системы (объекта, явления).

На всех этапах построения модели объекта производится его упрощение, и вводятся определенные допущения. Последние должны быть осознанными и обоснованными. Неверные допущения могут приводить к серьезным ошибкам при формулировании теоретических вопросов.

При построении моделей объекта исследования должны использоваться наиболее общие принципы и закономерности. Это позволяет учесть все допущения, принятые при получении формализованных теорий, и точно определить область их применения.

Теоретические исследования включают: анализ физической сущности процессов, явлений; формулирование гипотезы исследования; построение (разработка) физической модели; проведение математического исследования; анализ теоретических решений; формулирование выводов. Если не удастся выполнить математическое исследование, то формулируется рабочая гипотеза в словесной форме с привлечением графиков, таблиц и т.д. В технических науках необходимо стремиться к применению математической формализации выдвинутых гипотез и выводов.

В процессе теоретических исследований приходится непрерывно ставить и решать разнообразные по типам и сложности задачи в форме противоречий теоретических моделей, требующих разрешения.

В логико-психологическом аспекте задача – это несогласованные или противоречивые информационные процессы (системы), соотношение между которыми вызывает потребность в их преобразовании. В процессе решения задачи противоречия между указанными информационными процессами или системами устраняются.

Структурно любая задача включает условия и требования (рисунок 3.7). Условия – это определение информационной системы, из которой следует исходить при решении задачи. Требования – это цель, к которой нужно стремиться в результате решения. Условия и требования могут быть исходными, привлеченными и искомыми. Исходные условия даются в первоначальной формулировке задачи (исходные данные). Если их оказывается недостаточно для решения задачи, то исследователь вынужден привлекать новые данные, называемые привлеченными. Искомые данные или искомые условия – это привлеченные условия, которые требуется отыскать в процессе решения задачи.

Условия и требования задачи находятся в противоречии, они неоднократно сталкиваются, сопоставляются, сближаются между собой. Такое преобразование структурных компонентов задачи продолжается до тех пор, пока не будет решена сама задача.

Процесс проведения теоретических исследований состоит обычно из нескольких стадий. Оперативная стадия включает проверку возможности устранения технического противоречия, оценку возможных изменений в среде, окружающей объект, анализ возможности переноса решения задачи из других отраслей знания (ответить на вопрос: «Как решаются в других отраслях знаний задачи, подобные данной?»), применение «обратного» решения (ответить на вопрос: «Как решаются задачи, обратные данной, и нельзя ли использовать эти решения, взяв их со знаком минус?») или использования «прообразов» природы (ответить на вопрос: «Как решаются в природе более или менее сходные задачи?»). Вторая стадия исследования является синтетической, в процессе которой определяется влияние изменения одной части объекта на построение других его частей, определяются необходимые изменения других объектов, работающих совместно с данным, оценивается возможность применения измененного объекта по новому, и найденной технической идеи при решении других задач.

Выполнение названных предварительных стадий дает возможность приступить к стадии постановки задачи, в процессе которой определяется конечная цель решения задачи, проверяется возможность достижения той же цели решения задачи «обходными» (может быть, более простыми) средствами, выбирается наиболее эффективный путь решения задачи и определяются требуемые количественные показатели. В связи с этим при необходимости уточняются требования применительно к конкретным условиям практической реализации полученного решения задачи.

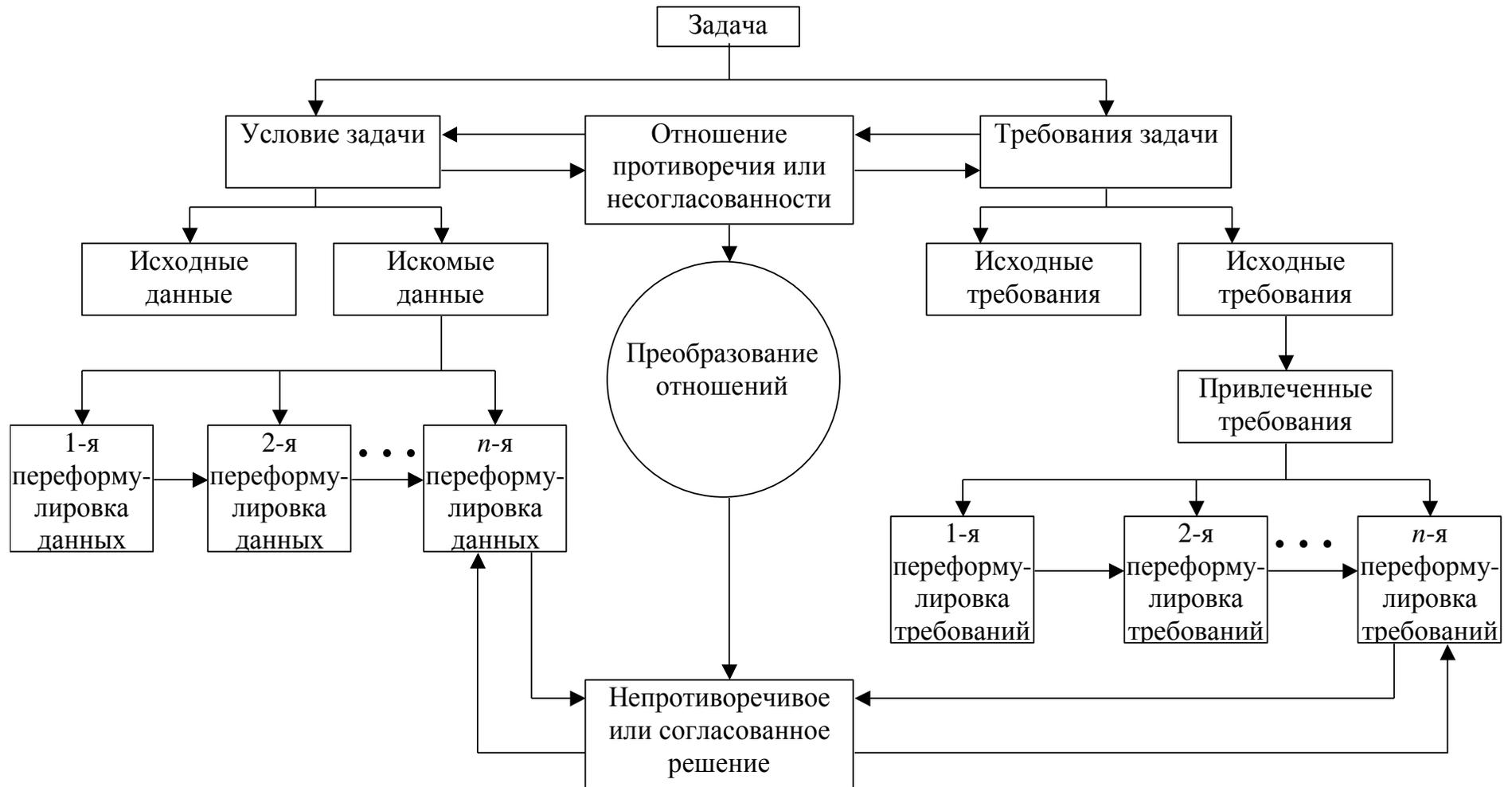


Рисунок 3.7 – Структурные компоненты решения задачи

Аналитическая стадия включает определение идеального конечного результата (ответить на вопрос: «Что желательно получить в самом идеальном случае?»), выявляются помехи, мешающие получению идеального результата, и их причины, определяются условия, обеспечивающие получение идеального результата с целью найти, при каких условиях исчезнет «помеха».

Постановка задачи является наиболее трудной частью ее решения. Умение увидеть скрытое основное отношение задачи в самом начале решения, а, следовательно, умение поставить задачу, выделить ее из огромной массы окружающих, привходящих обстоятельств и, наконец, добраться до ее завуалированной сущности – залог успеха в достижении поставленной цели. Чем быстрее задача ставится, тем быстрее она приходит в состояние предрешиения. Все это указывает на то, что четкая формулировка основного отношения задачи – важнейший этап ее решения. При этом следует иметь в виду, что преобразование расплывчатой в начале формулировки задачи в четкую, определенную (переформулировка) часто облегчает решение задач.

Решение теоретических задач должно носить творческий характер. Творческие решения часто не укладываются в заранее намеченные планы. Иногда оригинальные решения появляются «внезапно», после, казалось бы, длительных и бесплодных попыток. Часто удачные решения возникают у специалистов смежных областей знания, на которых не давит груз известных решений. Творческие решения представляют по существу разрыв привычных представлений и взгляд на явления с другой точки зрения. Следует особо подчеркнуть, что собственные творческие мысли (оригинальные решения) возникают тем чаще, чем больше сил, труда, времени затрачивается на постоянное обдумывание путей решения теоретической задачи, чем глубже увлечение исследовательской работой.

При разработке теорий наряду с вышеизложенными методами используются и другие. Немалую роль при построении любых теорий играют, например, логические методы и правила, носящие нормативный характер. К числу таких правил относятся правила вывода, образования сложных понятий из простых, установление истинности сложных высказываний и т.д. Специальными принципами построения теорий служат также принципы формирования аксиоматических теорий, критерии непротиворечивости, полноты и независимости систем аксиом и гипотез и др.

Теоретические исследования играют большую роль в процессе познания объективной действительности, поскольку они позволяют глубоко проникнуть в сущность природных явлений, создавать постоянно развивающуюся научную картину мира. Теоретическое исследование является функцией мышления, которая состоит в том, чтобы открывать, проверять, частично осваивать различные области природы, создавать и развивать мировоззрение.

В этом процессе познание природы раскрывается все более полно, но с каждой новой подтвержденной гипотезой выдвигает все больше проблем. Таким образом, с ростом объективных знаний одновременно увеличивается и область открытых вопросов, подлежащих решению, так как каждый найден-

ный ответ лишь приближает к познанию абсолютной истины, но не может достигнуть ее.

3.3.2 Экспериментальный метод исследования

Важной составной частью методов исследования являются эксперименты.

Экспериментальное исследование – один из основных способов получить новые знания о проектируемом РЭС [2, 24-25]. В его основе лежит эксперимент, представляющий собой научно поставленный опыт или наблюдение явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за его ходом, управлять им, воссоздать его каждый раз при повторении этих условий. От обычного, обыденного пассивного наблюдения эксперимент отличается активным воздействием исследователя на изучаемое явление.

Основная **цель эксперимента** – проверка теоретических положений (подтверждение рабочей гипотезы), а также более широкое и глубокое изучение проектируемого РЭС. Эксперимент должен быть проведен по возможности в кратчайший срок с минимальной затратой материальных и денежных средств при самом высоком качестве полученных результатов.

Различают эксперименты естественные и искусственные. **Естественные эксперименты** характерны для социальных явлений (социальный эксперимент) в обстановке, например, производства, конструирования и т.п. **Искусственный эксперимент** широко применяется во многих отраслях и в первую очередь в технических науках. В этом случае изучают явление, изолированное до требуемой степени, чтобы оценить его в количественном и качественном отношении.

Иногда возникает необходимость провести **поисковые экспериментальные исследования**. Они необходимы в том случае, если затруднительно классифицировать все факторы, влияющие на изучаемое явление вследствие отсутствия достаточных предварительных данных. На основе предварительного эксперимента строится программа исследований в полном объеме.

Экспериментальные исследования делятся на лабораторные и производственные.

Лабораторные опыты проводят с применением типовых приборов, специальных моделирующих установок, стендов, оборудования и т.д. Эти исследования позволяют наиболее полно и доброкачественно, с требуемой повторностью изучить влияние одних характеристик при варьировании других. Лабораторные опыты при достаточно полном научном обосновании эксперимента (математическое планирование) позволяют получить хорошую научную информацию с минимальными затратами. Однако такие эксперименты не всегда полностью моделируют реальный ход изучаемого процесса, поэтому возникает потребность в проведении производственного эксперимента.

Производственные экспериментальные исследования имеют целью изучить процесс в реальных условиях с учетом воздействия различных случайных факторов производственной среды. Вследствие, как правило, громоздкости опыта требуется особо тщательное продумывание и планирование эксперимента. Важную роль играет обоснование минимально необходимого количества измерений. К производственным исследованиям относят также специальные полевые экспедиции по обследованию эксплуатируемых объектов. Например, для изучения процессов деформаций и разрушений конструкции радиолокаторов создают специальные экспедиции, которые обследуют конструкции в осенние и весенние периоды повышенного увлажнения.

Одной из разновидностей производственных экспериментов является сбор материалов в организациях, которые накапливают по стандартным формам те или иные данные. Ценность этих материалов заключается в том, что они систематизированы за многие годы по единой методике. Такие данные хорошо поддаются обработке методами статистики и теории вероятностей.

В ряде случаев производственный эксперимент эффективно проводить методом анкетирования. Для изучаемого процесса составляют тщательно продуманную методику. Основные данные собирают методом опроса производственных организаций по предварительно составленной анкете. Этот метод позволяет собрать очень большое количество данных наблюдений или измерений по изучаемому вопросу. К результатам анкетных данных следует относиться с особой тщательностью, поскольку они не всегда содержат надежные данные. Особую роль здесь играет метод статистической чистки измерений.

Производственные экспериментальные исследования могут быть заменены опытами на специальных полигонах. Полигонные испытания позволяют производить исследования без нарушения технологического производственного ритма, что повышает эффективность использования применяемого в эксперименте оборудования, машин, приборов.

Объем экспериментов может быть различным. В лучшем случае для подтверждения рабочей гипотезы достаточно лабораторного эксперимента, в худшем – приходится проводить серию экспериментальных исследований: предварительные (поисковые), лабораторные, полигонные, на эксплуатируемом объекте.

В ряде случаев на эксперимент затрачивается много средств. Исследователь производит огромное количество наблюдений и измерений, получает множество диаграмм, графиков, выполняет неоправданно большое количество испытаний. На обработку и анализ такого эксперимента затрачивается много времени. Иногда оказывается, что выполнено много лишнего, ненужного. Все это возможно, когда экспериментатор четко не обосновал цель и задачи эксперимента. В других случаях результаты длительного обширного эксперимента не полностью подтверждают рабочую гипотезу исследования. Как правило, это также свойственно эксперименту, четко не обоснованному

целью и задачами. Поэтому, прежде чем приступить к экспериментальным исследованиям, необходимо разработать методологию эксперимента.

Методология эксперимента – это общие принципы, структура эксперимента, его постановка и последовательность выполнения экспериментальных исследований. Методология эксперимента включает в себя следующие основные этапы: разработку плана-программы эксперимента; оценку измерений и выбор средств для проведения эксперимента; проведение эксперимента; обработку и анализ экспериментальных данных, установление адекватности.

Приведенное количество этапов справедливо для традиционного эксперимента. Наряду с этим широко применяют математическую теорию эксперимента, позволяющую резко повысить точность и уменьшить объем экспериментальных исследований. В этом случае методология эксперимента включает такие этапы: разработку плана-программы эксперимента, оценку измерений и выбор средств для проведения эксперимента, математическое планирование эксперимента с одновременным проведением экспериментального исследования, обработкой и анализом полученных данных.

План-программа эксперимента включает наименование темы исследования, рабочую гипотезу, методику эксперимента, перечень необходимых материалов, приборов, установок, список исполнителей эксперимента, календарный план работ и смету на выполнение эксперимента. В ряде случаев включают работы по конструированию и изготовлению приборов, аппаратов, приспособлений, методическое их обследование, а также программы опытных работ на заводах, строительстве и т.д.

Основу плана-программы составляет **методика эксперимента**. Методика представляет собой систему приемов или способов для последовательного наиболее эффективного экспериментального исследования и включает в себя: цель и задачи эксперимента; выбор варьирующих факторов; обоснование средств и необходимого количества измерений; описание проведения эксперимента, обоснование способов обработки и анализа результатов эксперимента.

Определение цели и задач эксперимента – один из наиболее важных этапов. На основе анализа информации, гипотезы и теоретических разработок обосновывают цель и задачи эксперимента. Вся информация позволяет в той или иной степени судить об ожидаемых закономерностях изучаемого процесса, а, следовательно, и определить задачи эксперимента. Четко, конкретно обоснованные задачи – это большой вклад в их решение. Количество задач не должно быть слишком большим (3-4 задачи), в большом исследовании их может быть 8-10.

Выбор варьирующих факторов – это установление основных и второстепенных характеристик, влияющих на исследуемый процесс. Вначале анализируют расчетные (теоретические) схемы процесса. На основе этого классифицируют все факторы и составляют из них убывающий по важности для данного эксперимента ряд. Правильный выбор основных и второстепенных

факторов играет важную роль в эффективности эксперимента, поскольку эксперимент сводится к нахождению зависимостей между этими факторами. В отдельных случаях трудно сразу выявить роль основных и второстепенных факторов. При этом необходимо выполнить небольшой по объему предварительный поисковый опыт.

Основным принципом установления степени важности характеристики является ее роль в исследуемом процессе. Для этого изучают процесс в зависимости от какой-то одной переменной при остальных постоянных. Такой принцип проведения эксперимента оправдывает себя только в тех случаях, когда переменных характеристик мало (1-3). Если же переменных величин много, целесообразен принцип многофакторного анализа.

Обоснованное применение средств измерений – это выбор необходимых для наблюдений и измерений приборов, оборудования, машин, аппаратов и др. Экспериментатор должен быть хорошо ознакомлен с выпускаемой измерительной аппаратурой.

В отдельных случаях возникает потребность в создании уникальных приборов, аппаратов, установок, стендов, машин для исследования. При этом разработка и конструирование приборов и других средств должны быть тщательно обоснованы теоретическими расчетами и практическими соображениями о возможности изготовления оборудования. Создавая новые приборы, необходимо использовать готовые узлы выпускаемых или реконструировать существующие приборы. Очень ответственной частью является установление точности измерений и погрешностей. Методы измерений должны базироваться на законах специальной науки – метрологии, изучающей средства и методы измерений.

При экспериментальном исследовании одного и того же процесса (наблюдения и измерения) повторные отсчеты на приборах, как правило, не одинаковы. Отклонения объясняются различными причинами – неоднородностью свойств изучаемого тела (грунт, материал, конструкция и т.д.), несовершенностью приборов и классом их точности, субъективными особенностями экспериментатора и др. Чем больше случайных факторов, влияющих на опыт, тем больше отклонения отдельных измерений от среднего значения. Это требует повторных измерений, следовательно, необходимо знать их необходимое минимальное количество. Под необходимым минимальным количеством измерений понимают такое их количество, которое в данном опыте обеспечивает устойчивое среднее значение измеряемой величины, удовлетворяющее заданной степени точности. Установление необходимого минимального количества измерений имеет большое значение, поскольку обеспечивает получение наиболее объективных результатов при минимальных затратах времени и средств.

В методике подробно проектируют процесс проведения эксперимента. Вначале составляют последовательность (очередность) проведения операций измерений и наблюдений. Затем тщательно описывают каждую операцию в отдельности с учетом выбранных средств для проведения эксперимента.

Большое внимание уделяют методам контроля качества операций, обеспечивающих при минимальном (ранее установленном) количестве измерений высокую надежность и заданную точность. Разрабатывают формы журналов для записи результатов наблюдений и измерений.

Важным разделом методики является выбор методов обработки и анализа экспериментальных данных. Обработка данных сводится к систематизации всех цифр, классификации, анализу. Результаты экспериментов должны быть сведены в удобочитаемые формы записи – таблицы, графики, формулы, номограммы, позволяющие быстро сопоставлять полученные результаты.

Особое внимание в методике должно быть уделено математическим методам обработки и анализу опытных данных – установлению эмпирических зависимостей, аппроксимации связей между варьируемыми характеристиками, нахождению критериев и доверительных интервалов и др. Далее определяют объем и трудоемкость экспериментальных исследований, которые зависят от глубины теоретических разработок, степени точности принятых средств измерений. Чем четче сформулирована теоретическая часть исследования, тем меньше объем эксперимента. Возможны три случая проведения эксперимента.

1. Теоретически получена аналитическая зависимость, которая однозначно определяет исследуемый процесс. Например, $y = 3e^{-2x}$. В этом случае объем эксперимента для подтверждения данной зависимости минимален, поскольку функция однозначно определяется экспериментальными данными.

2. Теоретическим путем установлен только характер зависимости. Например, $y = ae^{-bx}$. В этом случае задано семейство кривых. Экспериментальным путем необходимо определить a и b . При этом объем эксперимента возрастает.

3. Теоретически не удалось получить каких-либо зависимостей. Разработаны только предположения о качественных закономерностях процесса. Во многих случаях целесообразен поисковый эксперимент. Объем экспериментальных работ возрастает. Здесь уместен метод математического планирования эксперимента.

На объем и трудоемкость существенно влияет вид эксперимента. Полевые эксперименты, как правило, имеют большую трудоемкость. После установления объема экспериментальных работ составляют перечень необходимых средств измерений, объем материалов, список исполнителей, календарный план и смету расходов. План-программу рассматривает руководитель, обсуждают в коллективе и утверждают в установленном порядке.

3.4 Методы генерации новых технических решений при проектировании РЭС

3.4.1 Метод мозговой атаки

Методы мозгового штурма, или мозговой атаки (МА), основываются на следующем психологическом эффекте. Если взять группу в 5-8 человек и каждому предложить независимо и индивидуально высказывать идеи и предложения по решению поставленной изобретательской или рационализаторской задачи, то в сумме можно получить N идей. Если предложить этой группе коллективно высказывать идеи по этой же задаче, то получится N_k идей. При этом оказывается, что N_k намного больше N .

Обычно за 15-30 мин коллективно высказывается (при соблюдении правил МА) от 50 до 160 разных идей, а при индивидуальной работе - только 10-20 идей.

Во время сеанса МА происходит как бы цепная реакция идей, приводящая к интеллектуальному взрыву. В одном из американских руководств по методу МА говорится: «99 процентов ваших конструктивных идей возникает подобно электрической искре при «контакте» с мыслями других людей».

В связи с этим Г.Я. Буш, известный отечественный специалист по эвристическим методам технического творчества, пишет: «Мозговая атака, предложенная А. Осборном, представляет собой применение эвристического диалога Сократа с широким использованием механизма свободных ассоциаций творческого коллектива и одновременно созданием путей той или иной психоэвристической настройки оптимального микроклимата для творчества».

Современные методы МА имеют далекую предысторию, уходящую в XVI-XVII века - время расцвета смелых морских путешествий. В это время в морской практике вырабатывается порядок действий на случай, когда судно терпит аварию или бедствие. В таких экстремальных ситуациях капитан судна (или оставшийся в живых старший по положению) проводит со всей оставшейся командой непродолжительный корабельный совет, на котором каждый должен высказывать свои предложения по устранению возникших затруднений и опасностей. При этом соблюдался строгий порядок выступавших. Сначала высказывались юнги и младшие матросы, затем старшие матросы и т. д. до капитана. Такая процедура стимулировала мышление более старших и опытных людей, которые приходили к более толковым и приемлемым идеям.

Современные методы МА возникли и были развиты в США. Их основателем считается морской офицер А. Осборн, который во время второй мировой войны был капитаном небольшого транспортного судна. После войны он разработал метод мозговой атаки и создал свою школу подготовки изобретателей и рационализаторов.

Как «работает» мозговая атака, можно показать с помощью примера решения конкретной задачи, известной в фольклоре, созданном вокруг метода, под названием «защита транспортных судов от торпед и мин». Задача возникла во время второй мировой войны. От торпед и мин погибало много транспортных судов. Попробовали применить для решения задачи мозговую атаку. На заседание пригласили «человека со стороны». Он высказал такую идею: «Пусть, как только мина или торпеда обнаружена, вся команда встанет вдоль борта и дует на эту мину».

Эту идею никак нельзя назвать серьезной. Один из экспертов заметил: «Если можно воздействовать на торпеду, так только потоком воды, но не воздуха, потому что она практически полностью погружена в воду». Другой эксперт заметил, что в принципе на каждом транспортном судне есть источники сильного водяного напора – насосы для аварийной откачки воды. Тогда третий эксперт предложил: «А нельзя ли трубами связать насосы с наиболее уязвимыми точками борта судна и создавать там необходимые потоки воды, чтобы отклонить торпеду с курса?»

Трансформированная таким образом идея была принята к дальнейшей разработке и использованию.

Методы МА представляют собой эмпирически найденные эффективные способы решения творческих задач. С точки зрения психологии, кибернетики и других наук феномен МА остается белым пятном, которое требует серьезного и глубокого изучения. Такие исследования, несомненно, обеспечат значительное повышение эффективности этого популярного и широко распространенного метода.

Методы МА рекомендуются для изучения в числе первых и обязательных эвристических методов при подготовке изобретателей. Это вызвано рядом причин, кроме уже отмеченной его высокой эффективности. Изучение методов МА не требует специальной подготовки, и они осваиваются легко и быстро как учащимися средних школ и молодыми рабочими, так и опытными конструкторами. В последнее время оправдали себя и прогрессивно развиваются различные формы коллективного технического творчества (творческие группы, бригады и т.п.). Для этих форм метод МА представляется наиболее естественным и подходящим. И еще одно достоинство МА — универсальность метода и весьма широкая область его применения.

Мозговую атаку целесообразно использовать:

- при решении изобретательских и рационализаторских задач в самых различных областях техники;
- при самых различных постановках задачи (по форме, детальности и глубине проработки);
- на различных этапах решения творческой задачи и на различных стадиях разработки и проектирования изделий;
- в сочетании с другими эвристическими методами.

Удивительная универсальность методов МА позволяет с их помощью рассматривать почти любую проблему или любое затруднение в сфере человеческой деятельности. Это могут быть также задачи из области организации

производства, сферы обслуживания, бизнеса, экономики, социологии, уголовного розыска, военных операций и т. д., если они достаточно просто и ясно сформулированы.

Метод прямой мозговой атаки. Формулировка задачи. Постановка задачи перед творческой группой - участниками МА может иметь самую различную форму и содержание. Однако в ней должны быть четко сформулированы два момента:

- что в итоге желательно получить или иметь;
- что мешает получению желаемого.

Задачу может сформулировать внешний заказчик, руководитель творческой группы или ее член. Важно одно, чтобы перед сеансом МА имелась достаточно исчерпывающая четкая постановка задачи, желательно в документальном виде. Постановка задачи для МА должна также отличаться краткостью изложения.

В соответствии с рекомендациями раздела 3.1 постановка задачи может быть дана в виде описания проблемной ситуации (операция 1). Иногда имеет смысл дать более детальное изложение постановки, когда описание проблемной ситуации дополняют предварительной формулировкой задачи в соответствии с операцией 5. Пример формулировки задачи приведен также в разделе 3.1.

Главное содержание поставки задачи (операция 1) содержится в ответах на вопросы:

а) в чем состоит затруднение или проблемная ситуация и какова ее предыстория?

б) что требуется сделать для устранения проблемной ситуации, т.е. какую **потребность** нужно удовлетворить?

Ответы на вопрос: «Что дает решение задачи для людей, предприятия, народного хозяйства и т. д.?» и частично на вопрос а) должны стимулировать и вдохновлять членов творческой группы на активную деятельность, чтобы предлагаемая задача стала для них главной задачей, которую необходимо неотложно решить.

Если формулировка задачи содержит очень специальные и малопонятные термины для специалистов из смежных или других областей, то необходимо сделать вторую редакцию предварительной формулировки без специальных терминов.

Формирование творческой группы. Наиболее эффективное число участников в творческой группе для проведения сеанса МА составляет 5-12 человек, хотя допустимо и меньшее (до 3) и большее число участников.

Как правило, творческие группы состоят из двух подгрупп: постоянное ядро группы и временные члены. Ядро группы постепенно отбирается при решении различных задач методом МА. В ядро группы входят ее руководитель и сотрудники, легко и плодотворно генерирующие идеи, а также хорошо знающие и соблюдающие правила игры (правила для участников сеанса МА).

Временные члены приглашаются в зависимости от характера и содержания предстоящей задачи. В творческую группу никогда не включаются прирожденные скептики и критиканы. Временные члены служат необходимым и гармоничным дополнением к ядру группы, обеспечивающим выполнение следующих рекомендаций:

- число специалистов по решаемой задаче должно быть не более половины;

- в состав группы целесообразно включать специалистов-смежников (конструкторы, технологи, экономисты, снабженцы и т.д.), которые обеспечат комплексное и всестороннее рассмотрение задачи;

- в состав группы желательно включать женщин, которые весьма практично и оригинально мыслят, стимулируют и повышают дух соревнования среди мужчин;

- рекомендуется включать «людей со стороны», не имеющих никакого отношения к задаче (повар, врач, парикмахер, проводник поезда и т.д.).

Творческая группа — это дружная сыгранная команда, члены которой взаимно дополняют друг друга.

Правила для участников сеанса МА. Их можно сформулировать следующим образом.

1. Стремитесь высказывать максимальное число идей. Отдавайте предпочтение количеству, а не качеству идей. Свои идеи высказывайте короткими предложениями.

2. Во время сеанса МА абсолютно запрещена критика предложенных идей. Запрещаются также неодобрительные замечания, иронические реплики, консервативные мысли, ядовитые шутки. Например:

«Так еще никогда не делали!»

«А что скажет директор?»

«Для практики это не годится!»

«Это же чепуха и бред сивой кобылы!» и т. п.

Запрет критики создает благоприятный творческий микроклимат.

3. Внешне и внутренне одобряйте и принимайте все идеи, даже заведомо непрактичные и, казалось бы, глупые. Оказывайте предпочтение не систематическому логическому мышлению, а озарениям, необузданной и безграничной фантазии в самых разных направлениях.

4. Весьма способствуют продуктивному мышлению шутки, каламбуры, юмор и смех. Поддерживайте и создавайте такую обстановку.

5. Стремитесь развивать, комбинировать и улучшать высказанные ранее идеи, получать от них новые ассоциативные идеи.

6. Обеспечивайте между участниками МА свободные, демократические, дружественные и доверительные отношения. Никто после сеанса не будет зло шутить над неудачными идеями других.

Настоящий сеанс МА - это особое психологическое состояние людей, когда думается без волевых усилий и принимается во внимание «все, что придет в голову». Именно такое состояние оказывается наиболее продуктив-

ным, поскольку позволяет в наибольшей мере использовать подсознание человека - самый мощный аппарат творческого мышления.

Обязанности ведущего (руководителя) в сеансе МА. Успех и результативность МА в очень большой мере зависит от председателя совещания (ведущего), который осуществляет оперативное управление МА. Ведущим чаще всего бывает руководитель творческой группы. Ведущий должен руководствоваться правилами для участников МА и поддерживать непринужденную обстановку и чувство юмора. Кроме того, на ведущего возлагаются следующие обязанности.

1. Если есть новички в творческой группе, ведущий в самом начале представляет всех участников, давая им короткую лестную характеристику. Далее излагают правила для участников сеанса МА.

2. Ведущий четко и эмоционально излагает формулировку задачи, как в специальном, так и в общедоступном изложении. При этом заставляет участников воспринимать задачу как свою главную проблему, усиливая постановку, например, такими замечаниями:

«Представьте себя на месте того-то».

«Что бы вы сделали, если бы сами отвечали за это дело?»

3. Ведущий должен уметь обеспечить соблюдение участниками всех правил проведения МА, не пользуясь при этом приказами и критическими замечаниями. Его роль подобна функциям судьи на футбольном поле.

4. Ведущий должен обеспечивать непрерывность высказывания идей, заполнять паузу поощрительными репликами.

Например:

«В свое время предлагалось то-то» (можно использовать протоколы предыдущих МА для аналогичных задач).

«Давайте три минуты будем высказывать только непрактические и фантастические идеи».

«А что думаете по этому поводу Вы, Николай Петрович?»

«А какое будет решение задачи, если убрать такое-то ограничение?»

«У нас уже 35 идей, давайте дотянем до 40».

5. Ведущий должен следить, чтобы обсуждение не шло в слишком узком и слишком практическом направлении, своими идеями или репликами расширять сферу поиска.

6. Ведущий должен следить за регламентом работы. Говорить, сколько времени осталось до конца сеанса. Тактично останавливать участника, который высказывает свою идею более полминуты, интенсифицировать работу последних минут, например, такими восклицаниями:

«Неужели ничего не найдем в последние три минуты?!»

«Неужели мы не забьем гол в последнюю минуту?!»

МА - это интенсивный, быстро протекающий творческий процесс, как остроигровой хоккейный матч. Поэтому не может быть единой постоянной схемы проведения МА. Каждый ведущий должен искать свои индивидуальные пути повышения результативности сеанса МА. Например, создатель ме-

тогда А.Осборн, как бывший моряк, во время сеанса употреблял крепкие соленые выражения; сообразуясь, конечно, с составом участников.

Организация проведения МА. Приглашать на совещание (сеанс МА) желательно за 2-3 дня с изложением сути задачи, чтобы участники могли подумать и настроиться. Иногда бывает целесообразно заранее сообщить постановку задачи только части участников.

Полная продолжительность совещания (сеанса МА) составляет 1.5 - 2 ч. Совещание имеет следующий порядок проведения и соответствующие затраты времени на отдельные мероприятия:

- представление участников совещания друг другу и ознакомление их с правилами проведения сеанса МА (5 - 10 мин);
- постановка задачи ведущим с ответами на вопросы (10 - 15 мин);
- проведение МА (20 - 30 мин);
- перерыв (10 минут);
- составление отредактированного списка идей (30 - 45 мин).

Помещение должно быть по возможности нейтральное (лучше не кабинет директора) и не шумное. Лучше всего сидеть за круглым или П-образным столом, чтобы все друг друга видели.

Весьма повышают эффективность различные мероприятия по психологической настройке и психоэвристическому стимулированию, например:

- показ перед МА короткометражного фильма, заставляющего забыть заботы дня, или фильма, актуализирующего постановку задачи;
- включения негромкой фоновой музыки во время сеанса МА;
- показ натурального образца, макета или эскиза объекта, который требуется улучшить;
- показ на экране аналогичных объектов, случайно выбранных предметов или слов (существительных и глаголов);
- угощение чаем или кофе;
- объявление перед сеансом о гонораре, вручаемом сразу после окончания совещания (это могут быть интересные сувениры, билеты на концерт, деньги и т.п.).

Запись и оформление результатов МА. Фиксирование идей, высказываемых во время сеанса МА, производится одним из трех способов:

- среди участников имеется стенографист (можно записывать и не стенографическим текстом);
- с помощью магнитофона;
- каждый участник после высказывания записывает свою идею.

После сеанса проводится быстрое коллективное редактирование полученного списка идей с полукритическим отношением. При этом участники МА быстро отбрасывают наименее приемлемые и абсурдные идеи. Они могут также усилить и конкретизировать высказанные идеи и дополнить список новыми идеями, возникшими во время редактирования. Все полученные идеи желательно разделить на три группы: наиболее приемлемые и легко реализуемые для решаемой задачи; наиболее эффективные и перспективные; прочие.

Отредактированный и оформленный список передается заинтересованным лицам для дальнейшей более детальной оценки и проработки с точки зрения патентования и использования в проектно-конструкторских разработках.

После принятия решения об оформлении отдельных идей (в виде рационализаторских предложений, заявок на изобретение, технических предложений для проектирования и т.д.) уточняется и определяется список авторов с руководителем группы, а затем согласуется со всей творческой группой, участвовавшей в сеансе МА.

Учебно-тренировочные задачи. Прежде чем решать реальные задачи методом МА, необходимо отработать с творческой группой или ее ядром технику проведения МА на учебно-тренировочных задачах. Такие задачи должны:

- быть общепонятными для всех участников;
- содержать потенциально большое число идей решения задачи;
- вызвать интерес у участников МА.

В качестве учебных задач можно брать реальные задачи, удовлетворяющие указанным требованиям. Если выбор реальных учебно-тренировочных задач вызывает затруднение, то можно предложить следующие темы для формулировки и решения задач:

Как исключить травмирование и гибель жителей города от падающих сосулек?

Как снизить аварийность и травматизм на автодороге во время гололеда?

Как сохранить от града хлебное поле?

Как уберечь от воров зеркало в туалетной комнате, сушилку для рук?

Метод обратной мозговой атаки. Теоретические предпосылки. В основе обратной мозговой атаки лежит закон прогрессивной конструктивной эволюции ТО. По этому закону переход к новым образцам техники происходит через выявление и устранение дефектов (недостатков) в существующем поколении ТО при наличии необходимого научно-технического потенциала.

Поэтому при создании любого нового значительно улучшенного изделия решаются две задачи:

- 1) выявление в существующих изделиях максимального числа недостатков;
- 2) максимальное устранение этих недостатков во вновь разрабатываемом изделии.

Первая задача относится к постановке изобретательских и проектно-конструкторских задач, вторая - к синтезу нового технического решения. Первая задача оказывается не менее простой, поскольку необходимо выявить полный список недостатков, который состоит из двух частей:

- недостатки, обнаруженные при изготовлении, эксплуатации, ремонте и утилизации выпускаемых изделий;

- недостатки, которые возникнут в обозримом будущем у разрабатываемого изделия.

Таким образом, методы решения первой задачи должны обеспечивать не только выявление всех известных недостатков, но и прогнозировать все будущие недостатки. Гипотетически существует некоторый идеальный полный список недостатков, каждый из которых может быть устранен или учтен в новом изделии, в результате чего новое изделие будет реализовывать максимально возможный скачок для существующего научно-технического уровня. Поэтому наилучшее решение первой творческой задачи соответствует наибольшему приближению к такому идеальному списку недостатков.

Говоря иначе, полный список недостатков (независимо от причины их возникновения) должен отражать все возможные отклонения действительно существующего положения от желаемого.

Область применения метода. Метод обратной МА ориентирован на решение первой творческой задачи, т.е. цель обратной МА заключается в составлении наиболее полного списка недостатков рассматриваемого объекта, на который обрушивается ничем не ограниченная критика. Объектом обратной МА может быть конкретное изделие или его узел, технологический процесс или его операция, сфера обслуживания и т.д.

Обратная МА может быть использована при решении, например, следующих вопросов и задач:

- уточнение постановки изобретательских и рационализаторских задач;
- разработка технического задания или технического предложения;
- экспертиза проектно-конструкторской документации на любой стадии разработки (техническое задание, техническое предложение, эскизный, технический или рабочий проект, экспериментальный или опытный образец);
- оценка эффективности закупаемых изделий.

Формулировка задачи. Формулировка задачи для обратной МА должна содержать краткие и достаточно исчерпывающие ответы на следующие вопросы:

- а) Что представляет собой объект, который требуется улучшить?
- б) Какие известны недостатки объекта, связанные с его изготовлением, эксплуатацией, ремонтом и т.д.?
- в) Что требуется получить в результате МА?
- г) На что нужно обратить особое внимание?

Изложение по пункту *а)* желательно сопроводить наглядным эскизом, слайдами, кинофильмом, показом макета и натурального образца («лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать»). Наиболее полно и объективно информация по пункту *б)* может быть собрана у изготовителей, пользователей, наладчиков и ремонтников.

По пункту *в)* МА должна дать максимально полный список недостатков и дефектов у рассматриваемого объекта. Во время сеанса МА мы должны прозорливо угадать все будущие недостатки на 10-20 лет вперед, чтобы полу-

ченный полный список недостатков обеспечивал наиболее длительную конкурентоспособность созданного объекта.

По пункту 2) нужно указать, в каком направлении особенно нетерпимы недостатки и дефекты (например, прочность определенных деталей, надежность работы системы, экономия жидкого топлива, охрана окружающей водной среды и т.п.).

Формирование творческой группы. В творческую группу необходимо включить технологов, наладчиков, ремонтников, эксплуатационников, работников по сбыту и продаже.

Правила для участников сеанса МА. Эти правила совпадают с правилами проведения прямой МА.

Обязанности ведущего (руководителя) в сеансе МА. Для обеспечения непрерывности высказывания идей и полноты формируемого списка недостатков ведущему рекомендуется использовать следующий список вопросов:

1. У каких параметров объекта или его элемента ожидаются отклонения от нормы?
2. Какие ожидаются трудности изготовления, сборки, контроля изделия или его отдельных узлов?
3. Какие могут возникнуть затруднения с материалами и комплектующими деталями и узлами в настоящее время и через 10 - 20 лет?
4. Какие ожидаются трудности энергоснабжения в данное время и через 10 - 20 лет?
5. Какие могут быть неудобства в обслуживании или какие могут возникнуть ошибки оператора?
6. Могут ли возникнуть опасные моменты для пользователей и обслуживающего персонала?
7. Какие возможны трудности доставки и транспортирования в настоящее время и через 10-20 лет?

Организация проведения МА. Для стимулирования мышления на экране показывают отдельные предложения из межотраслевого, проблемно- и объектно-ориентированных списков недостатков изделий и списков их параметров.

Запись и оформление результатов МА. В дополнение выполняется классификация недостатков по родственным группам. Могут быть выделены, например, следующие группы: основные функциональные требования, производство, сбыт, эксплуатация, защита окружающей среды. Проводится ранжирование недостатков от самых больших (главных) до малых (второстепенных). Ранжирование можно выполнить также путем отнесения каждого недостатка к главным, средним или второстепенным недостаткам.

Если список недостатков составляется с целью последующего его использования в постановке и решении изобретательских или рационализаторских задач, то желательно еще составить таблицу анализа недостатков (таблица 3.6).

Таблица 3.6

Пример анализа недостатков прототипа

Наименование недостатка	Фактические или возможные следствия проявления недостатка	Фактические или возможные причины возникновения недостатка
1. Небольшой коэффициент усиления каскада в электронной схеме	1.1. Потеря мощности	1.1. Неправильный выбор рабочей точки на линейном участке усиления
	1.2. Малый коэффициент полезного действия	1.2. Неправильный выбор питающего напряжения
	1.3. Увеличение количества дополнительных каскадов усиления	1.3. Нерациональное схемотехническое решение
2. Неплавное перемещение шарика в манипуляторе «мышь» ЭВМ	Низкая производительность труда. Быстрая утомляемость оператора	Засорение механически подвижных соединений
3. Отслаивание контактных площадок на печатной плате во время монтажа ЭРЭ пайкой	Неудовлетворительная надежность изготавливаемого печатного узла	3.1. Плохая адгезионная способность стеклотекстолита
		3.2. Недопустимо большая температура пайки
		3.3. Малый геометрический размер контактных площадок

При составлении таблицы 3.6 время, отведенное на составление отредактированного списка недостатков, может быть увеличено до 1 – 1.5 ч, а заполнение столбцов по следствиям проявления и причинам недостатков можно проводить с помощью дополнительной мозговой атаки.

Комбинированное использование методов мозговой атаки. Изложенные методы прямой и обратной МА могут быть совместно использованы в различных комбинациях. Приведем некоторые схемы таких комбинаций, оправдавшие себя на практике.

Двойная прямая мозговая атака. Двойная МА начала практиковаться в СССР. Суть ее заключается в том, что после проведения прямой МА делается перерыв от двух часов до двух-трех дней и еще раз повторяется прямая МА.

Практика показала, что при проведении второй МА по одной и той же задаче часто выявляются наиболее ценные, практически полезные идеи или удачное развитие идей первого совещания, т.е. во время перерыва включается в работу мощный аппарат решения творческих задач - подсознание человека, синтезирующее неожиданные фундаментальные идеи.

Обратная и прямая мозговые атаки (прогнозирования и развития техники). Как уже отмечалось, развитие ТО представляет собой повторяющийся цикл: существующее изделие - выявление недостатков - устранение недостатков в новой серии изделий. Эту закономерность можно использовать для мысленного моделирования и прогнозирования развития интересующего класса изделий. Для этого сначала с помощью обратной МА выявляют все недостатки существующего изделия и выделяют среди них главные. Затем проводят прямую МА для устранения выявленных главных недостатков и разрабатывают эскиз нового технического решения, в котором по возможности устранены или учтены эти недостатки.

Для увеличения времени прогнозирования этот цикл имеет смысл повторить, чтобы посмотреть развитие объекта на два шага вперед.

Прямая и обратная мозговые атаки (прогнозирование недостатков технического объекта). Циклически повторяющуюся закономерность развития техники можно также использовать для прогнозирования недостатков интересующего класса изделий. Для этого сначала проводят прямую МА и делают эскизы наиболее перспективных технических решений, затем обратную МА и выявляют возможные недостатки этих технических решений.

В целях увеличения времени прогнозирования этот цикл имеет смысл еще раз повторить, т.е. опять провести прямую МА для устранения выявленных будущих недостатков и разработки соответствующих эскизов технических решений, по отношению к которым еще раз выполняется обратная МА.

Мозговая атака с оценкой идей. Предназначена для решения сложных конструкторских задач и выполняется в три этапа.

Первый этап (первое совещание). Проводят прямую МА. Составленный общий список идей передается каждому участнику совещания. Каждый участник получает задание индивидуально (независимо от других) отобрать из общего списка от трех до пяти лучших идей с указанием их преимуществ. При этом разрешается добавлять свои новые идеи.

Второй этап (второе совещание). Каждый участник сообщает об отобранных им (или предложенных дополнительно) трех-пяти идеях с указанием их достоинств. По каждой идее проводится короткая (5 - 10 мин) МА для достижения следующих целей: выдвижение идей по улучшению предложенного варианта; выявление недостатков; выдвижение идей по устранению недостатков.

При этом одинаковые идеи повторно не обсуждаются.

В результате обсуждения составляют таблицу (таблица 3.7) положительно-отрицательной оценки идей.

Каждому участнику дается задание выбрать из таблицы независимо от других один или два наилучших варианта и представить по ним эскизы технического решения.

Третий этап (третье совещание). Обсуждаются представленные эскизы в целях ранжирования их от лучших к худшим. Составляются предложения с

описанием наилучших технических решений. При этом эскизы могут быть дополнительно проработаны и детализированы.

Таблица 3.7

Форма положительно-отрицательной оценки идей

Описание идеи	Достоинства идеи	Недостатки идеи
1.	1.1.	1.1.
	1.2.	1.2.
2.	2.1.	2.1.
	2.2.	2.2.

Принимается решение о проведении патентных исследований и составлении заявок на изобретение по патентно-способным техническим решениям, а также о составлении рационализаторских предложений.

3.4.2 Метод эвристических приемов

С давних времен перед человеком часто возникала следующая ситуация. Существующее орудие труда, станок, машина или оружие переставали удовлетворять новым требованиям или имели нетерпимые недостатки, которые требовалось исключить. Человек (конструктор) пытался найти улучшенное техническое решение путем *логического анализа* недостатков и их устранения или путем поиска и *приспособления аналогичного решения* в природе либо в другой области техники, или путем *случайных изменений* прототипа.

Все эти не очень систематизированные попытки поиска улучшенного решения называют методом «проб и ошибок». На основе этого древнего способа в 40 - 50-х годах XX века возник метод эвристических приемов.

Рассмотрим сначала метод «проб и ошибок» на одном из многочисленных примеров решения задачи таким образом.

Задача Микулина. В начале XX века, когда началось активное освоение самолетов с двигателями внутреннего сгорания, большинство катастроф было связано с отказом магнето, «исчезновением искры» зажигания. В связи с этим возникла задача повышения надежности работы магнето.

Задачу эту после долгих мучительных поисков методом «проб и ошибок» решил юный А.Микулин, будущий академик, известный конструктор авиационных двигателей. Он шел по улице и увидел огромного мужика с сильно подбитым, заплывшим и ничего не видящим левым глазом. В это время и пришла догадка! Микулин сразу бросился бежать в гостиницу к знаменитому авиатору С.И.Уточкину, и между ними состоялся следующий разговор:

- У людей по два глаза, подбейте левый — правый будет видеть.
- Я никому не собираюсь подбивать глаза, — сказал Уточкин.
- На Вашей машине одно магнето — поставьте два!
- Прекрасная мысль! — сказал Уточкин. — За каждый благополучный показательный полет я буду платить тебе по 10 рублей.

Показательные полеты тогда были платные. И Уточкин сдержал свое слово, посылая после каждого полета переводы.

Чем начинающий изобретатель отличается от опытного конструктора?

При успешном решении творческой инженерной задачи (ТИЗ) начинающий изобретатель всегда получает два результата: методический результат (изобретение способа решения интересующей его ТИЗ) и искомое техническое решение, полученное с помощью изобретенного способа.

Когда изобретатель встречается с новой ТИЗ, то в первую очередь пытается ее решить с помощью изобретенного им способа. Если это не удастся (поскольку встретился другой тип задачи), то изобретатель опять вынужден искать решение методом «проб и ошибок». При успешном решении он открывает для себя второй способ решения изобретательских задач. Так посте-

пенно у человека формируется свой набор способов, и он из начинающего превращается в опытного изобретателя.

Такие способы или правила решения ТИЗ называют *эвристическими приемами* (ЭП), в которых содержится краткое предписание или указание, «как преобразовать» имеющийся прототип или «в каком направлении нужно искать», чтобы получить искомое решение. ЭП обычно не содержит прямого однозначного указания, как преобразовать прототип. Если ЭП имеет отношение к рассматриваемой ТИЗ, то он содержит «подсказку», которая облегчает получение искомого решения, однако не гарантирует его нахождения. Различным людям требуется приложить различные усилия, чтобы догадаться до искомого (удовлетворительного) технического решения.

Опытные изобретатели обычно имеют свой *индивидуальный* набор (фонд) ЭП.

Рассмотрим примеры решения ТИЗ с помощью ЭП.

Задача 1. Современные мобильные телефоны характеризуются малыми массогабаритными показателями. Указанное потребительское свойство повышает удобство обращения с телефоном, появляется возможность ношения аппарата в одежде, на ремне, в дамской сумочке и т.д. Применение интегральной элементной базы теоретически позволяет уменьшить размеры и массу мобильного телефона еще как минимум в два раза. Однако дальнейшее уменьшение размеров отрицательно сказывается на эргономических показателях аппарата. В частности, становится проблематично разместить на ограниченной площади органы управления и индикации, нажатие мелких кнопок сопряжено с определенной трудностью.

Необходимо разработать конструктивный вариант мобильного телефона с малыми массогабаритными показателями при сохранении удобства нажатия кнопок, которое присуще более крупным аппаратам.

Используем ЭП 2.17 (см. Приложение 1): «Использовать раздвижные, раскладные, сборные, надувные и другие конструкции, обеспечивающие значительное уменьшение габаритных размеров при переводе ТО из рабочего состояния в нерабочее».

Решение. Сделать конструкцию мобильного телефона складной. В нерабочем положении аппарат находится в складном состоянии и занимает, соответственно, в два раза меньше места по высоте. В рабочем положении аппарат раскладывается на две половины, одна из которых представляет собой кнопочную группу и микрофон, а другая – дисплей и капсюль.

Задача 2. В электрическом перфораторе для пробивания стен из различных материалов необходимо ввести электронный регулятор силы удара за счет изменения скважности импульсов тока, подаваемых на электромагнит. Такое введение приводит к необходимости защиты электронного регулятора от возникающих механических ударов, которые приводят к разрушению регулятора. Применение системы амортизации или сверхпрочной конструкции регулятора резко увеличивает стоимость перфоратора.

Используем ЭП 2.8 (см. Приложение 1): «Преобразование структуры».

Решение. Разместить электронный регулятор в вилке электрического шнура для включения перфоратора в сеть. При этом механические воздействия с корпуса перфоратора не передаются через гибкий шнур на вилку.

Многие ЭП могут быть успешно использованы в самых различных областях техники. Они со временем морально не стареют и оказываются полезными для других изобретателей. Способы решения ТИЗ, открытые различными изобретателями, имеет смысл собирать, обобщать и обучать им начинающих изобретателей. Именно на этих свойствах основывается **метод эвристических приемов**, который интегрирует в методически доступной форме опыт многих изобретателей.

Метод эвристических приемов разработан в СССР, известно около десяти его модификаций. Наиболее полное изложение дано в книгах [19, 26, 27], специальные подходы - в работах [18, 20, 28-31].

Межотраслевой фонд эвристических приемов. Метод эвристических приемов основывается на межотраслевом фонде ЭП. Этот фонд в нашей методике (см. Приложение 1) содержит описания 180 отдельных ЭП, которые разделены на 12 групп (таблица 3.8).

Таблица 3.8

Группы эвристических приемов

Номер группы	Наименование группы	Число ЭП
1	Преобразование формы	16
2	Преобразование структуры	19
3	Преобразования в пространстве	16
4	Преобразования во времени	8
5	Преобразование движения и силы	14
6	Преобразование материала и вещества	23
7	Приемы дифференциации	12
8	Количественные изменения	12
9	Использование профилактических мер	22
10	Использование резервов	13
11	Преобразования по аналогии	9
12	Повышение технологичности	16
	Всего	180

Межотраслевой фонд ЭП имеет универсальный характер, т.е. ориентирован на самые различные области техники. Поэтому ЭП имеют обобщенное описание. В них под «объектами» подразумеваются ручные орудия и инструменты, станки, приборы, машины, аппараты, технологические процессы,

комплексы станков и приборов и т.д., а также их детали, узлы, технологические операции и т.д. В некоторых ЭП наряду с объектом имеет смысл выделять части объекта, которые называют «элементами». К ним могут относиться детали, узлы, блоки, агрегаты, технологические операции и другие части объекта.

В конце описания многих ЭП в целях сокращения дается еще указание «Инверсия приема», по которому рекомендуется также производить обратное преобразование или искать в обратном направлении. Например, ЭП 1.2 (см. Приложение 1) имел бы следующее полное описание: «сделать в объекте (элементе) отверстия и полости, исключить в объекте (элементе) отверстия и полости».

В любом межотраслевом или специализированном фонде ЭП после описания приема должно даваться 2 - 3 примера решения ТИЗ с помощью этого ЭП. В целях экономии места в нашем фонде описания ЭП даны без примеров применения. Для более углубленного изучения ЭП и в качестве учебного практикума рекомендуется самим подобрать (из истории техники или патентного фонда) примеры решения ТИЗ для каждого ЭП. В связи с этим приведем примеры для двух ЭП.

Примеры решения ТИЗ для ЭП 8.1.

1. В конце XVIII века опытами с вольтовым столбом (первым источником тока для практического применения) занимались все подряд, даже короли. Русский академик В.В.Петров вместо обычных десятков элементов сделал вольтов столб на 2100 элементов и получил качественно новое явление — электрическую дугу — непрерывный электрический свет большой интенсивности.

2. Физический принцип действия компьютерного привода для чтения/записи DVD и CD дисков. Лазерный луч с малой интенсивностью излучения применяется в режиме чтения дисков. При этом поверхность дисков остается неизменной, неповрежденной. Увеличение интенсивности излучения лазерного луча до определенного уровня переводит устройство в режим записи дисков. Происходит выжигание на поверхности диска элементарных канавок (питов).

Пример решения ТИЗ для ЭП 10.8.

В начальной стадии лавинного пробоя в полупроводниках процесс ударной ионизации оказывается неустойчивым: ударная ионизация возникает, срывается, возникает вновь в тех местах *p-n* перехода, где оказывается в данный момент достаточная напряженность электрического поля. Результатом случайной неравномерности генерации новых носителей заряда при ударной ионизации являются шумы, которые характерны для определенного диапазона токов. При работе таких, например, приборов, как стабилитроны, шумы — явление вредное. Именно поэтому диапазон токов, соответствующий шумам, исключают из диапазона рабочих токов стабилитрона. Однако для различных измерений в радиотехнике нужны генераторы шумовых напряжений.

Таким образом, в качестве генератора шумовых напряжений можно использовать диод в диапазоне обратных токов от минимального до максимально пробивного тока, где наблюдается наибольшая интенсивность электрических флуктуаций. Так, для шумовых диодов КГ401А – КГ401В этот диапазон соответствует значением токов 10 мкА – 1 мА.

В природе не существует совершенно вредных явлений. Из каждого вредного фактора можно извлечь пользу.

В Приложении 1 дан сокращенный межотраслевой фонд ЭП. Более полные фонды приведены в книгах [26, 27], где описаны соответственно 257 и 420 эвристических приемов. В книге [19] приведено описание 88 ЭП с примерами решения задач.

Ниже дан еще ряд примеров решения ТИЗ для приведенных в Приложении 1 эвристических приемов.

Если опытный конструктор познакомится с межотраслевым фондом ЭП, то у него может создаться впечатление, что большинство приемов ему известно, и они как будто ничего нового не дают. Однако вся сила фонда ЭП заключается в *системном всестороннем охвате* проблемы или задачи. Опытному конструктору (по сравнению с другим конструктором, имеющим фонд ЭП) потребуется несоизмеримо больше времени, чтобы вспомнить или додуматься до большинства приемов и подсказанных ими решений. Наряду с этим можно утверждать, что при всегда ограниченном времени решения ТИЗ некоторые ЭП так и не попадут в его поле зрения, т.е. фонд ЭП полезен не только для начинающих, но и для опытных изобретателей.

Постановка задачи и ее решение. Можно выделить следующие шесть последовательных этапов в постановке и решении ТИЗ методом эвристических приемов.

1. При использовании метода ЭП можно ограничиться предварительной формулировкой задачи, изложенной в операции 5 раздела 3.1. Более глубокий и плодотворный поиск решения с помощью метода ЭП осуществляют на основе *уточненной постановки задачи*, изложенной в операции 12 раздела 3.1.

2. Решение задачи начинается с выбора подходящих ЭП. Исходной информацией для этого являются:

- конкретный прототип, который требуется улучшить;
- главный недостаток прототипа, который необходимо устранить,
- главное противоречие развития прототипа, которое требуется устранить.

Исходя из этой информации просматривают в таблице 3.8 наименования групп ЭП и отбирают (в основном по интуитивным соображениям) наиболее подходящие группы. В каждой из этих групп просматривают все ЭП и выбирают также по интуиции те ЭП, которые представляют интерес для рассматриваемой задачи.

Если выбор групп ЭП вызывает затруднения, то наиболее подходящие ЭП отбирают путем просмотра всего фонда.

В методе эвристических приемов не имеет смысла давать какие-либо формальные или полужформальные правила выбора наиболее подходящих ЭП для конкретной задачи. Если смотреть глубже, то выбор ЭП — это в принципе не формализуемая процедура. Лучше всего такой выбор интуитивно производит конструктор, решающий задачу, просматривая все подряд ЭП. На беглый просмотр знакомого фонда ЭП затрачивается мало времени — всего 5–10 мин. В связи с этим матрица Г.С.Альтшуллера [19], на составление которой затрачен громадный труд, не имеет большого смысла. Она не экономит время и часто не указывает ЭП, наиболее эффективные для решения конкретной задачи.

3. Преобразование прототипа начинают с помощью выбранных приемов. При этом фиксируют идеи улучшенных технических решений в виде короткого описания или/и упрощенной схемы.

Следует заметить, что у межотраслевого фонда ЭП есть одно сильное свойство, которое называем *эвристической избыточностью*. Отметим две разновидности этого свойства. Во-первых, многие задачи могут быть решены независимо разными ЭП. Так, например, приведенная задача Микулина с установкой на самолете резервного магнето могла быть независимо решена с помощью ЭП 8.2, 9.15 или 11.2 (см. Приложение 1).

Вторая разновидность эвристической избыточности состоит в том, что одновременное использование двух и более ЭП приводит к их взаимному усилению в смысле облегчения нахождения улучшенного технического решения. Так, в задаче Микулина одновременное использование указанных трех ЭП облегчает ее решение. Нередки также случаи, когда два и более ЭП по отношению к конкретной ТИЗ по отдельности имеют слабую эвристическую подсказку, но при одновременном их использовании они явно взаимно усиливают друг друга. Проиллюстрируем это на примере.

Задача Яблочкова. В 1875 г. русский изобретатель П.Н.Яблочков предложил электрическую свечу (дуговую лампу), в которой между концами двух угольных стержней (расположенных на одной прямой навстречу друг другу или под углом) образовалась электрическая дуга. Для поддержания этой дуги требовалось с некоторой постоянной скоростью сближать электроды по мере их сгорания. Это осуществлялось с помощью специального автоматического регулятора. Свеча Яблочкова быстро нашла практическое применение. Однако она имела существенный недостаток: регуляторы были сложными по конструкции и малонадежными, поскольку сгорание электродов по разным причинам было неравномерным.

Требовалось найти простое техническое решение, обеспечивающее надежную работу электрической свечи от двух электродов.

Для решения этой задачи подходят ЭП 3.1, 3.4, 3.7, 3.9 (см. Приложение 1).

П.Н.Яблочков решал эту задачу, по-видимому, методом «проб и ошибок». После долгих мучений и попыток он, сидя в одном из кафе Парижа, случайно увидел два рядом лежащих карандаша и сразу понял, что электроды

нужно расположить рядом параллельно, разделив их выгорающим изоляционным материалом. При таком техническом решении вообще исключается сложный ненадежный регулятор. Указанные ЭП, по-видимому, помогли бы Яблочкову раньше додуматься до решения.

Таким образом, с помощью отдельных приемов и наборов ЭП получают множество улучшенных допустимых технических решений. Если при этом не удастся получить удовлетворительного улучшенного решения, то рекомендуется наиболее перспективный из найденных вариантов принять за прототип и снова повторить его обработку с помощью подходящих ЭП.

4. Следует напомнить, что множество улучшенных допустимых технических решений получено только с учетом главного недостатка или главного противоречия развития. В дальнейшем эти решения используются как прототипы для поиска новых улучшенных технических решений, учитывающих другие недостатки и противоречия развития. В результате получают новое множество улучшенных допустимых технических решений.

5. Для найденных в пункте 4 технических решений проводят анализ их совместимости со смежными и вышестоящими по иерархии ТО. При этом составляют таблицу 3.9.

Таблица 3.9

Анализ последствий от нового технического решения (ТР)

Какие <i>отрицательные</i> последствия принесет новое ТР для вышестоящего по иерархии и смежных ТО?	Какие <i>положительные</i> последствия принесет новое ТР для вышестоящего по иерархии и смежных ТО?
1.	1.
2.	2.

Сопоставительный анализ таких таблиц для разных улучшенных технических решений позволяет обоснованно выбрать наиболее эффективное из них. Для особо перспективных вариантов делаются попытки устранить непереносимые отрицательные последствия. При этом могут быть использованы также метод эвристических приемов или методы мозговой атаки.

6. Работа по пунктам 2 - 5 выполняется для всех прототипов, рекомендуемых в постановке задачи. В результате формируется достаточно полное множество улучшенных технических решений, из которого предстоит выбрать перспективные варианты для дальнейшей проработки. Такой выбор производится с учетом главных критериев развития и показателей, а также с точки зрения патентоспособности.

Дальнейшая проработка выбранных технических решений может быть проведена в соответствии с рекомендациями, данными в Приложении 2 (этапы 5 - 7).

Следует отметить, что метод ЭП только повышает возможность получения допустимого улучшенного технического решения, но не гарантирует нахождение такового. И у разных пользователей этого метода (как и других эвристических методов) часто получаются разные результаты, что в большой мере зависит от приобретенных навыков и природных способностей.

Продолжение примера. Задача о применении контактной группы типа RCA. Постановка этой задачи дана в разделе 3.1. Будем рассматривать в качестве прототипа существующее конструктивное исполнение контактной группы, изображенное на рисунке 3.1. В этом прототипе должны быть устранены (или значительно снижены) следующие недостатки (в порядке их важности):

1. Паразитные емкость и индуктивность, контактное сопротивление штекера разъема.

2. Коррозия металлических поверхностей контактов.

3. Неудобство процесса соединения-разъединения.

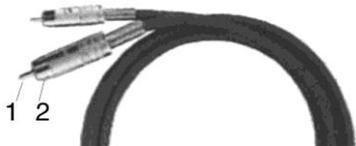
4. Электромагнитные наводки, действующие на кабель.

В целях экономии места будем выбирать подходящие ЭП с точки зрения всех недостатков. В таблице 3.8 наибольший интерес представляют группы 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9. В этих группах представляют интерес следующие ЭП (Приложение 1): 1.2, 1.4, 1.5, 1.18, 1.16; 2.1, 2.3, 2.19; 3.2, 3.3, 3.8; 5.11; 6.5, 6.7, 6.21; 7.10; 9.7, 9.11. (Следует заметить, что на выбор групп и приемов решающее влияние оказала субъективная точка зрения авторов, т.е. читатель может выбрать свои группы и приемы).

В таблице 3.10 приведены некоторые идеи решения этой задачи.

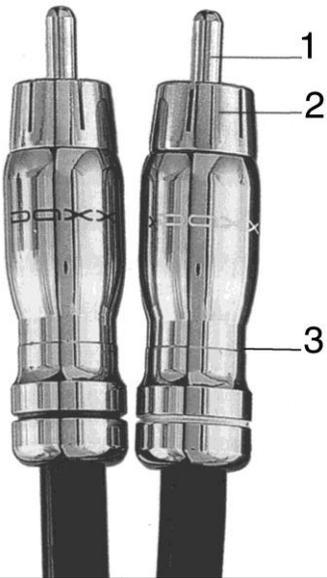
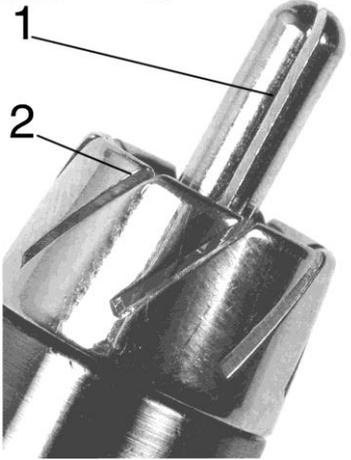
Таблица 3.10

Идеи для решения задачи о контактной группе типа RCA

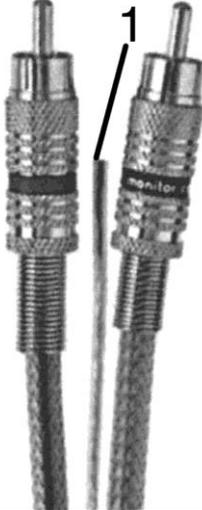
№ ТР	Описание идеи ТР	Эскиз
1	Контактные поверхности – центральный штекер (1) и внешний контакт (2) – покрыты слоем чистого золота для лучшей передачи сигнала и долговременной службы. Известно, что золото обладает высокой электропроводностью и стойкостью к воздействиям окружающей среды. Идея реализована, например, в межблочном кабеле Oehlbach 2029 (Швейцария) стоимостью \$23 за 1 метр.	

Продолжение таблицы 3.10

№	Описание идеи ТР	Эскиз
---	------------------	-------

ТР		
2	<p>Разъемы кабеля гарантируют плотный контакт благодаря рассеченному центральному штекеру (1) и внешнему шестисекционному контакту (2) с продольными прорезями. Изоляционное покрытие внешнего контакта имеет переменную толщину с целью формирования «тали» (3). Это обеспечивает более надежный и удобный захват пальцами штекера. Все контактные поверхности покрыты слоем золота для лучшей передачи сигнала и долговременной службы. Идея реализована, например, в межблочном кабеле Daxx R88 (США) стоимостью \$37 за 0.75 м.</p>	 <p>The image shows two Daxx R88 connectors. Label 1 points to the central pin, label 2 points to the outer contact sleeve with longitudinal slots, and label 3 points to the 'waist' or 'tali' shape of the outer sleeve.</p>
3	<p>Решение отличается от решения по пункту 2 тем, что применяется более мощный внешний контакт (2), в котором сделаны восемь косых прорезей. Это обеспечивает дополнительную прочность и легкость стыковки. Идея реализована, например, в видеокабеле Monster Cable M1000V (США) стоимостью около \$100. Конструкция запатентована и именуется Turbine. Разработчики гарантируют, что кабель способен передавать сигналы частотой до 1 ГГц.</p>	 <p>The image is a close-up of a Monster Cable M1000V connector. Label 1 points to the central pin, and label 2 points to the outer contact sleeve which features eight diagonal slots.</p>

Продолжение таблицы 3.10

№ ТР	Описание идеи ТР	Эскиз
4	<p>Разъем типа RCA имеет расщепленный центральный штекер (1) и восьмисекционный обжим (2), который сжимается внешним никелированным цилиндром (3) при вращении. Данная конструкция полностью устраняет «дребезг» в системе и гарантирует очень плотный контакт. С помощью винта, плотно прижимающего оболочку кабеля к внутренней поверхности стопорного кольца (4), снимается нагрузка с точки соединения штекера и проводника. Идея реализована, например, в видеокабеле Daхх V99 (США) стоимостью \$36 за 0.75 м.</p>	
5	<p>Решение отличается от решения по пункту 1 тем, что кабель снабжен отдельным дренажным проводом (1) для отвода помех. Идея реализована, например, в межблочном кабеле Monitor Patmos (Германия) стоимостью \$13 за 1 м.</p>	
6	<p>Дополнительное подавление электромагнитных наводок при помощи фильтров, расположенных в месте соединения разъема с кабелем (1). Идея реализована, например, в видеокабеле Banderidge Profigold PGV6032 стоимостью \$7 за 1.5 м.</p>	

Индивидуальный фонд эвристических приемов. Межотраслевой фонд ЭП для отдельных пользователей (изобретателей) является «чужим» инструментом, малоудобным и малоприспособленным к конкретной творческой

личности. В связи с этим каждому начинающему изобретателю и рационализатору рекомендуется работать над созданием индивидуального фонда ЭП, т.е. над созданием своего, более удобного и эффективного инструмента.

Можно дать следующие рекомендации по формированию индивидуального фонда ЭП.

1. **Выбор из межотраслевого фонда** (см. Приложение 1) **наиболее подходящих ЭП с учетом специфики решаемых задач** (области техники, в которой работает изобретатель) **и своих симпатий к определенным ЭП**. При этом возможно и желательно изменить форму изложения ЭП, сделать ее более понятной, образной, эмоционально насыщенной и ориентированной на интересующий класс задач. ЭП должен возбуждать и активизировать мышление. Например, для ЭП 8.9 возможна следующая редакция: «Создать гиганта или карлика! И найти ему применение»; для ЭП 10.8 — «Обратить вред в пользу!» и т.д.

2. **Подбор для каждого ЭП в индивидуальном фонде примеров решения ТИЗ из своей области или функционально близких областей**. При подборе примеров следует иметь в виду, что они должны играть двойную роль. Во-первых, это аналогичная решенная задача, помогающая плодотворно использовать ЭП при решении новой задачи. Во-вторых, пример может быть использован как готовое или полуготовое решение в рассматриваемой задаче. Вероятность таких случаев может быть высокой, поскольку примеры берутся из своей или близких областей техники.

3. **Разбор и анализ последних решенных задач и запатентованных технических решений в своей области и функционально близких областях**. Особое внимание следует обращать на новые образцы техники на уровне лучших мировых достижений. При этом тщательно изучают моменты перехода от прототипа к улучшенным техническим решениям и **формулируют новые обобщенные ЭП**, подбирают более удачные примеры решения ТИЗ, прототипы и другую полезную информацию. В результате такой работы происходит расширение и обогащение индивидуального фонда ЭП.

Таким анализом и обработкой новых технических решений нужно заниматься так же регулярно, как спортсмены ходят на тренировки, музыканты поддерживают свою форму ежедневной (или три раза в неделю) игрой на инструментах, и т.д. Ведь изобретательство не менее увлекательное занятие!

4. **Изучение конструктивной эволюции ТО для выявления и формулировки эффективных ЭП, ориентированных на интересующий класс изделий или технологий, и подбора для них интересных примеров решения ТИЗ**.

5. **Существует также интересный и эффективный способ [32] оперативной формулировки ЭП для решения конкретной ТИЗ**. Суть способа состоит в том, что для имеющегося прототипа P_k по патентным описаниям строят ретроспективно цепочку конструктивной эволюции:

$$P_{k-3} \rightarrow P_{k-2} \rightarrow P_{k-1} \rightarrow P_k,$$

где P_{k-1} - это прототип для технического решения P_k ; P_{k-2} - прототип для P_{k-1} и т.д. Далее проводят анализ переходов ($P_{k-1} \rightarrow P_k$), ($P_{k-2} \rightarrow P_{k-1}$), ... и формулируют обобщенные ЭП, обеспечивающие такие переходы. Полученные ЭП используют для получения новых решений P_{k+1} от прототипа P_k .

6. Обобщение опыта. После каждого удачного решения ТИЗ изобретатель должен обобщить свой опыт, т.е. рассмотреть возможность формулировки нового ЭП на основе решенной задачи или возможность ее использования как примера в каком-либо ЭП.

Наряду с созданием индивидуального фонда ЭП представляется полезным формирование фонда прототипов по своему классу ТИЗ. В качестве прототипов в первую очередь рекомендуется брать существенно отличающиеся, наиболее перспективные технические решения, изделия на уровне лучших мировых образцов.

Дополнительные рекомендации и примеры формирования индивидуальных фондов ЭП даны в книгах [19, 26, 27].

3.4.3 Морфологический анализ

Метод морфологического анализа и синтеза был разработан в 30-х годах XX века швейцарским астрономом Ф.Цвикки для конструирования астрономических приборов. Первое весьма результативное практическое применение метода было продемонстрировано в 1942 г. в США Ф.Цвикки в авиационной фирме, где он в короткое время получил несколько десятков новых технических решений ракетных двигателей и ракет, среди которых, как оказалось позже, были предложены решения, повторяющие немецкие ракеты ФАУ-1, ФАУ-2.

Рассматриваемый морфологический метод основан на комбинаторике. Суть его состоит в том, что в интересующем изделии или объекте выделяют группу основных конструктивных или других признаков. Для каждого признака выбирают альтернативные варианты, т.е. возможные варианты его исполнения или реализации. Комбинируя их между собой, можно получить множество различных решений, в том числе представляющих практический интерес.

Например, для изделия «паяльник» в таблице 3.11 приведен перечень признаков и альтернативных вариантов. Если из каждой строки этой таблицы взять по одному варианту, то получим некоторую конструкцию паяльника. Так, для сочетания вариантов (1.1; 2.3; 3.3; 4.2; 5.1), где в каждой паре первая цифра обозначает номер строки, а вторая — номер столбца, получим конструкцию паяльника: «жало из меди, рукоятка — пластмассовая, форма жала — цилиндрическая с заострением на конце, нагревательный элемент с предохраняющим кожухом, дополнительная функция паяльника — разрезание легкоплавких материалов».

Число возможных конструкций паяльника в таблице 3.11 нетрудно подсчитать. Оно будет равно произведению чисел вариантов в каждой строке, т.е. $5 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5 = 1500$.

Из рассмотренного примера видно, что суть метода заключается в построении морфологической таблицы, заполнении ее возможными альтернативными вариантами и в выборе из всего множества получаемых комбинаций наиболее подходящих и наилучших решений.

Морфологические методы в 50 – 60-е годы XX века нашли широкое распространение в США, Западной Европе, а также в нашей стране. Ф.Цвикки разработал несколько модификаций своего метода. Одна из таких модификаций представлена в морфологической таблице 3.12, разработанной У.Г. Зиннуровым. Эта таблица содержит более 3 млн. различных технологических принципов обработки металлов.

Таблица 3.11

Морфологическая таблица на изделие «Паяльник для монтажа ЭРЭ на печатный узел»

Номер строки	Признаки	Альтернативные варианты (номер столбца)				
		1	2	3	4	5
1	Материал жала	Медь	Бронза	Железо	Сталь	Лазерный луч
2	Материал рукоятки	Дерево	Кость	Пласт-масса	Металл	Композитный материал
3	Форма жала	Цилиндрическая с одной фаской	Цилиндрическая с двумя фасками	Цилиндрическая с заострением на конце	Пластинчатая	---
4	Безопасность применения	Открытый нагревательный элемент	Нагревательный элемент с предохраняющим кожухом	Пониженное питающее напряжение	---	---
5	Выполняемые дополнительные функции	Разрезание некоторых легкоплавких материалов (пенопласт, пластмасса)	Демонтаж ЭРЭ с печатного узла	Плавление некоторых легкоплавких материалов	Выжигание канавок на поверхности деревянных изделий	Локальное точечное прогревание

В настоящем разделе изложена наиболее распространенная модификация метода Цвикки, основанная на функциональном подходе. В качестве признаков берутся функции элементов (узлов, деталей) рассматриваемого ТО, а в качестве альтернативных вариантов — различные способы реализации каждой функции.

Ниже подробно рассмотрено использование морфологического подхода к поиску улучшенных ТО. Однако не представляет особых затруднений использование изложенного метода и для поиска улучшенных технологических процессов или материалов (веществ).

Таблица 3.12

Морфологическая модель технологических принципов

Классификационный признак		Альтернативные значения классификационных признаков	
Номер	Наименование	Номер	Наименование
01	Вид изменения (преобразования) состояния вещества исходного предмета труда (заготовки)	01	Изменение формы вещества
		02	Изменение объема вещества
		03	Изменение свойств вещества
		04	Изменение формы и объема вещества
		05	Изменение формы и свойств вещества
		06	Изменение формы, объема и свойств
02	Вид агрегатного состояния вещества исходного предмета, удаляемого в процессе преобразования	01	Твердое
		02	Расплавленное
		03	Ионизированное
		04	Текучее
		05	Химически связанное
		06	Удаляемое вещество отсутствует
03	Физико-химический эффект лежащий в основе процесса преобразования	01	Диффузия
		02	Эрозия
		03	Анодное растворение
		04	Гидравлический удар
		05	Консолидация (спекание)
		06	Электролиз растворов (расплавов)
04	Вид энергии реализации физико-химического эффекта	01	Тепловая
		02	Механическая
		03	Потенциальная
		04	Электрическая
		05	Химическая
		06	Ядерная
		07	Излучения
05	Характер подвода и распределения энергии в процессе преобразования	01	Точечный
		02	Линейный
		03	Поверхностный

Продолжение таблицы 3.12

Классификационный признак		Альтернативные значения классификационных признаков	
Номер	Наименование	Номер	Наименование
06	Характер действия энергии во времени	01	Непрерывное
		02	Прерывистое (импульсное)
07	Вид физического состояния рабочей среды	01	Жидкое
		02	Газообразное
		03	Твердое
		04	Вязкое (текущее)
		05	Вакуум
08	Вид физического состояния инструмента	01	Твердое
		02	Жидкое
		03	Газообразное
		04	Вязкое (текущее)
09	Вид движения инструмента в процессе преобразования	01	Вращательное
		02	Поступательное
		03	Вращательно-поступательное
		04	Неподвижное
10	Вид движения предмета труда в процессе преобразования	01	Вращательное
		02	Поступательное
		03	Вращательно-поступательное
		04	Неподвижное

Постановка задачи и построение конструктивной функциональной структуры. Постановка задачи поиска улучшенного технического решения с помощью морфологического метода выполняется в соответствии с операцией 1 раздела 3.1. В дополнение к этому выбирают критерий качества, т.е. такой наиболее важный количественный показатель или параметр, с помощью которого из двух или нескольких допустимых вариантов технического решения выбирают наилучший. Допустимыми называют такие варианты решений, которые удовлетворяют основным требованиям. За критерий качества обычно принимают какой-либо критерий развития или другие наиболее важные показатели.

Следует иметь в виду, что число элементов, на которые разделяют ТО, должно быть не менее трех, но не более десяти. В результате для каждого прототипа получают одну или несколько ФС. При этом можно использовать и составлять самим каталог ФС для интересующего класса ТО.

Приведем пример построения ФС прототипа. Анализ функций сотового телефона стандарта GSM (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Сотовый телефон с цветным дисплеем SonyEricsson T68

Функция телефона: обеспечивать мобильную телефонную связь индивидуальному пользователю, а также предоставлять возможность выхода в Интернет.

Объекты окружающей среды: V_1 — пользователь; V_2 — оператор GSM; V_3 — влажность; V_4 — температура; V_5 — злоумышленник; V_6 — освещенность; V_7 — деталь одежды или сумки.

Если функция какого-либо элемента совпадает с уже описанной функцией, то повторно эту функцию можно не описывать, а указать на равенство с уже описанной (как, например, в таблице 3.13 указано $\Phi'_2 = \Phi'_1$).

Достоинство морфологического метода заключается в том, что он позволяет любой элемент в ФС рассмотреть как отдельный ТО, т.е. разделить его на свои функциональные элементы и построить для него ФС. Обычно это делают в тех случаях, когда наряду с улучшением ТО в целом специально рассматривают задачу улучшения какого-либо элемента. При этом появляются дополнительные конструктивные ФС для последующего рассмотрения. В таблице 3.14 дан пример дополнительной ФС для элемента «печатный узел».

Таблица 3.13

Функции элементов сотового телефона

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Корпус	Φ'_1	Защита печатного узла E_2 от температуры V_4 , влажности V_3
		Φ''_1	Несущая конструкция для объединения основных элементов: печатного узла E_2 , цветного дисплея E_3 , клавиш E_4 , аккумулятора E_5 , SIM-карты E_6
		Φ'''_1	Фиксация в какой-либо детали одежды или сумки V_7
E_2	Печатный узел	$\Phi'_2 = \Phi'_1$	
		Φ''_2	Несущая конструкция для монтажа ЭРЭ
E_3	Цветной дисплей	Φ'_3	Влияние освещенности V_6 на яркость и контрастность отображаемой на цветном дисплее информации
		Φ''_3	Отображение для пользователя V_1 служебной информации, в том числе о состоянии аккумулятора E_5 и о данных на SIM-карте E_6
E_4	Клавиши	Φ'_4	Набор пользователем V_1 телефонного номера с его отображением на цветном дисплее E_3
		Φ''_4	Реализация пользователем V_1 дополнительных функций телефона (записная книжка, калькулятор и т.д.) с отображением результата на цветном дисплее E_3
E_5	Аккумулятор	Φ'_5	Обеспечение питающего напряжения для ЭРЭ печатного узла E_2
		Φ''_5	Обеспечение питающего напряжения для цветного дисплея E_3
E_6	SIM-карта	Φ'_6	Защита от злоумышленников V_5
		Φ''_6	Контакт с оператором GSM V_2

Таблица 3.14

Функции элементов печатного узла

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_{2-1}	Флэш-память	Φ_{2-1}	Сохраняет информацию, необходимую для реализации дополнительных функций при разряженном аккумуляторе E_5
E_{2-2}	Антенна	Φ'_{2-2}	Прием и передача голосовых сообщений пользователем V_1
		Φ''_{2-2}	Прием и передача текстовых SMS-сообщений пользователем V_1 с отображением их на цветном дисплее E_3
		Φ'''_{2-2}	Прием и передача мультимедиа-сообщений (MMS) пользователем V_1 с отображением их на цветном дисплее E_3
E_{2-3}	GSM-контроллер	Φ_{2-3}	Реализация функций, предоставляемых операторами сети GSM V_2 (возможность работы в Интернет, передача данных и факсов, конференц-связь, переадресация звонков, информационные услуги, формирование различных групп пользователей и пр.)
E_{2-4}	Дуплексный фильтр	Φ_{1-4}	Обеспечение возможности для пользователя V_1 одновременно и слушать и говорить
E_{2-5}	Усилитель	Φ_{1-5}	Усиление принятого антенной E_{2-2} сигнала

Функциональная структура сотового телефона, соответствующая таблице 3.13, показана на рисунке 3.9. Для сотового телефона и его печатного узла не вызовет затруднений построение улучшенных конструктивных ФС в соответствии с рекомендациями по проведению операции 6 раздела 3.1.

Например, путем совмещения функций цветного дисплея (E_3) и клавиш (E_4) – идея сенсорного дисплея – можно уменьшить число функциональных элементов и т.д.

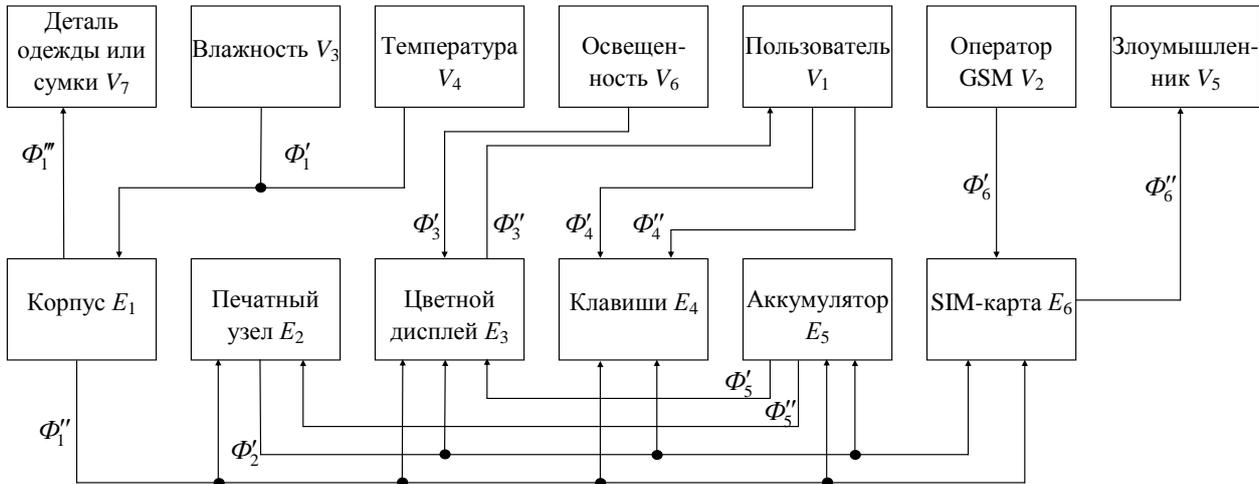


Рисунок 3.9 - Конструктивная ФС сотового телефона стандарта GSM

При построении ФС рекомендуется использовать закон соответствия между функцией и структурой и относящиеся к нему закономерности.

Составление морфологических таблиц. Заготовка формуляра таблицы. Морфологическую таблицу строят на основе конструктивной ФС. Она состоит из нескольких столбцов, число которых обычно равно числу функциональных элементов. Заглавиями столбцов являются описания функций элементов. Пример формуляра морфологической таблицы показан в таблице 3.15. При заготовке формуляра таблицы иногда удобнее в заглавиях столбцов наряду с обозначениями функций давать их описания, как это сделано в таблице 3.16.

В формуляре морфологической таблицы функции Φ_i лучше располагать в таком порядке, чтобы наиболее конструктивно связанные элементы E_i находились по возможности в соседних столбцах.

В процессе подготовки формуляра оценивают возможность и целесообразность заполнения альтернативными вариантами каждого столбца. Это связано с тем, что часто встречаются случаи, когда в ФС прототипа некоторые функциональные элементы или нельзя заменять альтернативными, или не имеет смысла их изменять. Для таких элементов (функций) в морфологической таблице не предусматривают отдельных столбцов.

Таблица 3.15

Морфологическая таблица возможных сотовых телефонов

$\Phi'_1, \Phi''_1, \Phi'''_1$	Φ'_2, Φ''_2	Φ'_3, Φ''_3	Φ'_4, Φ''_4	Φ'_5, Φ''_5	Φ'_6, Φ''_6
A_1^1 - герметичный корпус	A_2^1 - двухслойная печатная плата	A_3^1 - жидкокристаллический дисплей	A_4^1 - клавиши без подсветки	A_5^1 - никель-кадмиевый аккумулятор	A_6^1 - SIM-карта с возможностью записи номеров телефонов
A_1^2 - корпус с прозрачным герметичным чехлом	A_2^2 - многослойная печатная плата	A_3^2 - жидкокристаллический дисплей на органической основе	A_4^2 - клавиши с подсветкой	A_5^2 - литий-ионный аккумулятор	A_6^2 - SIM-карта с программным мини-браузером
A_1^3 - складной корпус	A_2^3 - одностороннее расположение ЭРЭ на плате	A_3^3 - монохромный дисплей	A_4^3 - джойстик для навигации в меню управления	A_5^3 - несъемный аккумулятор	A_6^3 - SIM-карта с доступом к on-line информации
A_1^4 - корпус с клипсой-защелкой	A_2^4 - двустороннее расположение ЭРЭ на плате	A_3^4 - цветной дисплей	A_4^4 - клавиши круглой формы	A_5^4 - съемный аккумулятор	A_6^4 - SIM-карта с доступом к развлекательно-игровым службам
A_1^5 - корпус с ремешком	A_2^5 - использование ЭРЭ в микроминиатюрных корпусах	A_3^5 - дисплей с защитным покрытием	A_4^5 - клавиши овальной формы	A_5^5 - аккумулятор с повышенной емкостью заряда	A_6^5 - SIM-карта с роумингом между сетями GSM и CDMA
A_1^6 - корпус из металлического сплава	A_2^6 - использование бескорпусных ЭРЭ	A_3^6 - тактильный сенсорный экран	A_6^6 - SIM-карта с защитой от клонирования
A_1^7 - корпус из пластмассы	A_6^7 - SIM-карта с удобным захватом

Таблица 3.16

Морфологическая таблица возможного оборудования рабочего места радиомонтажника

Φ_1 - обеспечение хранения и оперативного получения комплектующих	Φ_2 - обеспечение монтажа ЭРЭ на поверхности печатной платы	Φ_3 - повышение производительности в процессе работы	Φ_4 - снятие усталости в перерывах
A_1^1 - шкафы или стеллажи с систематически расположенными ЭРЭ	A_2^1 - ручной паяльник	A_3^1 - хорошая освещенность	A_4^1 - кушетка
A_1^2 - конвейерная подача	A_2^2 - автоматизированная паяльная станция с ЧПУ	A_3^2 - свободное пространство на рабочем месте и возле него	A_4^2 - спортивный тренажер
A_1^3 - составление индивидуальных запросов от радиомонтажника на склад комплектующих	A_2^3 - установка пайки «волной»	A_3^3 - легкая музыка	A_4^3 - душ
A_1^4 - интерактивная компьютерная система, позволяющая определить наличие комплектующих и места их хранения. Комбинация (A_1^1, A_1^3) , (A_1^1, A_1^4)	A_2^4 - установка лазерной пайки	A_3^4 - низкий уровень шума	A_4^4 - видеомагнитофон с фильмами
	A_2^5 - установка конвекционной пайки	A_3^5 - кондиционер	A_4^5 - компьютерный игры
	A_2^6 - ручной клеевой монтаж	A_3^6 - вентиляция	A_4^6 - музыкальные записи
	A_2^7 - автоматизированный клеевой монтаж	A_3^7 - отопление	A_4^7 - кофе

Продолжение таблицы 3.16

Ф1 - обеспечение хранения и оперативного получения комплектующих	Ф2 - обеспечение монтажа ЭРЭ на поверхности печатной платы	Ф3 - повышение производительности в процессе работы	Ф4 - снятие усталости в перерывах
	A_2^8 - комбинированный монтаж клеем и пайкой. Комбинация (A_2^1, A_2^3, A_2^4) , (A_2^1, A_2^6, A_2^7)	A_3^8 - чистота помещения	A_4^8 - комната для курения
		A_3^9 - наличие перерывов. Всевозможные комбинации	A_4^9 - настольные игры
			A_4^{10} - музыкальные инструменты. Всевозможные комбинации

Морфологическую таблицу иногда целесообразно строить не на основе ФС конкретного прототипа, а на основе обобщения ряда прототипов, выделяя в них характерные функциональные элементы и формулируя для них обобщенные функции, которые становятся заглавиями столбцов морфологической таблицы. Такой пример приведен в таблице 3.16, где приведены функции элементов рабочего места радиомонтажника.

Заполнение морфологической таблицы. Альтернативные варианты исполнения или реализации функций в столбце будем обозначать через A_i^k , где i – порядковый номер столбца-функции ($i = 1, 2, \dots$); k – порядковый номер альтернативного варианта в i -ом столбце ($k = 1, 2, \dots$).

В морфологическую таблицу сначала вносят элементы прототипа. Затем записывают возможные наиболее интересные и эффективные варианты. При этом могут быть использованы:

- собственные знания и результаты опроса специалистов;
- справочники и энциклопедии;
- словари технических функций;
- международный классификатор изобретений и патентные описания по интересующим рубрикам;
- каталоги выставок для поиска технических решений элементов, соответствующих уровню лучших мировых образцов.

При заполнении столбцов альтернативными вариантами рекомендуется использовать методы мозговой атаки и метод эвристических приемов. В последнем случае для каждого элемента с помощью эвристических приемов ищут улучшенные варианты его модификаций.

Замечание. Некоторые элементы в прототипе могут иметь несколько реализуемых функций (см. таблицу 3.15). Для этих полифункциональных элементов при заполнении столбцов таблицы может оказаться затруднительным подбирать альтернативные варианты. В таких случаях вместо одного столбца (элемента) можно ввести два и более столбцов с альтернативными элементами, выполняющими меньшее число функций.

Выявление эффективных комбинаций альтернативных вариантов, принадлежащих одному столбцу. В каждом столбце путем объединения двух и более альтернативных вариантов выявляют эффективную (взаимоусиливающую) комбинацию со следующим свойством: она в значительно большей мере устраняет какой-либо недостаток (недостатки) или улучшает критерий качества, чем отдельные альтернативные варианты.

Такие эффективные комбинации записывают в столбец в качестве дополнительных альтернативных вариантов. Так, например, таблицу 3.16 можно дополнить следующими альтернативами: для реализации Φ_1 - (A_1^1, A_1^3) , (A_1^1, A_1^4) и др.; для Φ_2 - (A_2^1, A_2^3, A_2^4) , (A_2^1, A_2^6, A_2^7) и др.

Если описания альтернативных вариантов в морфологической таблице недостаточно ясны, то для них выполняются графические эскизы или даются на отдельном листе дополнительные комментарии.

Выбор наиболее эффективных технических решений. Определение числа возможных ТР. Выбрать из морфологической таблицы наиболее приемлемые или эффективные комбинации ТР нелегко из-за большого числа комбинаций. Поэтому сначала оценивают число возможных вариантов ТР, которые можно получить (синтезировать) на основе морфологической таблицы:

$$N = n_1 \cdot n_2 \dots n_m, \quad (3.11)$$

где n — число альтернативных вариантов в столбце; m — число столбцов.

По этой формуле число возможных вариантов ТР в таблице 3.15 составляет $N = 7 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 7 = 44100$.

Сокращение числа альтернативных вариантов в столбцах и числа столбцов. Наиболее эффективные ТР из множества всех возможных вариантов можно выбрать путем последовательного сокращения этого множества за счет отбрасывания наименее эффективных и наименее перспективных ТР. Первое сокращение проводят для выполнения неравенства $N \leq N_{об}$, где N вычисляется по формуле (3.11); $N_{об}$ — некоторое обозримое число возможных вариантов ТР. Для относительно простых технических объектов, для которых сравнение двух любых вариантов ТР занимает в среднем не более 10 с, можно

принять $N_{об} = 10\ 000$. Для сложных объектов $N_{об} = 1000$. Если по формуле (3.11) получают $N > N_{об}$, то в каждом столбце проводят сравнительный анализ альтернативных вариантов для выявления среди них наилучших и наихудших по степени удовлетворения основным требованиям, по степени снижения недостатков прототипа и улучшения его критериев качества. Отбрасывая наихудшие альтернативные варианты в каждом столбце, можно добиться $N \leq N_{об}$.

Другой путь уменьшения числа N заключается в сокращении числа столбцов в морфологической таблице. При этом среди всех столбцов (функциональных элементов) выделяют главные, или основные, которые решающим образом влияют на эффективность и качество изделия, а также самые второстепенные и малозначащие функциональные узлы, которые можно исключить.

Сокращение множества возможных вариантов ТР путем исключения наихудших комбинаций элементов. В морфологической таблице, имеющей $N \leq N_{об}$, можно последовательно по разным правилам синтезировать (составлять) варианты ТР и сравнивать их между собой для выбора наилучших. Однако такой способ, несмотря на его простоту, является весьма трудоемким. Поэтому здесь предлагается более экономная процедура сокращения числа вариантов.

При выполнении этой процедуры образуют различные альтернативные комбинации из нескольких элементов и исключают из них наихудшие. К наихудшим относятся нереализуемые или несовместимые комбинации, трудно реализуемые и наиболее дорогие по затратам комбинации, а также комбинации, в наименьшей мере устраняющие недостатки прототипа или улучшающие критерий качества и т.п. Опишем эту процедуру, используя абстрактный пример (абстрактную морфологическую таблицу 3.17).

Таблица 3.17

Абстрактная морфологическая таблица

Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
A_1^1	A_2^1	A_3^1	A_4^1	A_5^1
A_1^2	A_2^2	A_3^2		A_5^2
A_1^3	A_2^3	A_3^3		
A_1^4		A_3^4		
		A_3^5		

1. В исходной морфологической таблице 3.17 выбираем два столбца, имеющие наименьшее число альтернативных вариантов, и образуем из их элементов все возможные парные комбинации (таблица 3.18). Пусть в нашем

абстрактном примере обе комбинации - допустимые и равноценные, потому ни одну из них не относим к наихудшим и не исключаем.

Таблица 3.18

Комбинация из двух элементов

	A_5^1	A_5^2
A_4^1	$A_4^1 A_5^1$	$A_4^1 A_5^2$

2. Выбираем из таблицы 3.17 следующий столбец с наименьшим числом альтернатив - столбец Φ_2 . С помощью вариантов этого столбца и допустимых комбинаций из таблицы 3.18 образуем все возможные комбинации из трех элементов (таблица 3.19). Сравнительный анализ этих комбинаций позволил три из них отнести к наихудшим и исключить.

Таблица 3.19

Сокращение комбинаций из трех элементов

	A_2^1	A_2^2	A_2^3
$A_4^1 A_5^1$	$A_2^1 A_4^1 A_5^1$	$A_2^2 A_4^1 A_5^1$	$A_2^3 A_4^1 A_5^1$
$A_4^1 A_5^2$	$A_4^1 A_5^2$	$A_4^1 A_5^2$	$A_4^1 A_5^2$

3. Выбираем из таблицы 3.17 - следующий столбец с наименьшим числом альтернатив - столбец Φ_1 и с помощью оставшихся допустимых комбинаций из таблицы 3.19 образуем все возможные комбинации из четырех элементов (таблица 3.20). Поскольку комбинации легко образуются мысленно, то их не обязательно выписывать в клетках таблицы. В таблице 3.20 на основе сравнительного анализа зачеркнуты клетки с наихудшими комбинациями.

Таблица 3.20

Сокращение комбинаций из четырех элементов

	A_1^1	A_1^2	A_1^3	A_1^4
$A_2^1 A_4^1 A_5^2$				
$A_2^2 A_4^1 A_5^2$				
$A_2^3 A_4^1 A_5^1$				

По аналогии с пунктами 1 - 3 образуем таблицы вариантов до последнего столбца, имеющего наибольшее число альтернатив. В последней таблице (после исключения наихудших) остается множество допустимых вариантов

ТР. Если допустимых вариантов окажется довольно много, то проводят сокращение по дополнительным наиболее важным показателям (надежность, расход энергии или дефицитных материалов, трудоемкость и т.д.).

Выбор наиболее эффективных вариантов ТР. Множество допустимых вариантов ТР, полученное после сокращения множества возможных вариантов ТР путем исключения наихудших комбинаций элементов, упорядочивают по критерию качества от лучших к худшим. При равных или близких значениях критерия качества в упорядочиваемых вариантах учитывают степень устранения недостатков в прототипе. После упорядочивания выбирают 3 - 5 наиболее эффективных вариантов ТР для дальнейшей проработки.

Если упорядочение и выбор наиболее эффективных вариантов ТР вызывает затруднения, то рекомендуется воспользоваться таблицей сравнения вариантов, в которой дается обзорная сравнительная расчетно-экспертная оценка вариантов. Фрагмент такой сравнительной оценки для некоего аппарата приведен в таблице 3.21.

Таблица 3.21

Сравнительная оценка вариантов

Показатели сравнения	Варианты ТР		
	S_1	S_2	S_3
Затраты меди, кг	26,2	21,5	34,0
Трудоемкость сборки	Высокая	Средняя	Низкая
КПД	0,89	0,92	0,94
Внешний вид	Некрасивый	Красивый	Удовлетворительный

Оформление предварительных эскизов ТР и их описание. Для выбранных выше вариантов дают краткое их описание с приведением схем и эскизов, как это принято в патентных описаниях.

После составления предварительных эскизов проводят более детальную конструкторскую проработку найденных ТР с учетом дополнительного списка требований (надежность работы, удобство обслуживания, трудоемкость изготовления, расход энергии и дефицитных материалов, общая стоимость и т.д.). При этом отдельные наиболее важные и сложные элементы могут быть рассмотрены и проработаны по данной методике в соответствии с рекомендациями, приведенными выше.

Дополнительные рекомендации по дальнейшей проработке полученных ТР даны в Приложении 2 (этапы 5 - 7).

Замечание 1. Если в морфологической таблице 3.17 полифункциональные элементы выполняют одновременно несколько функций, то для них иногда целесообразно составлять отдельно наборы альтернативных средств реализации каждой функции или меньшего числа функций. После этого для по-

лучения более эффективных вариантов ТР нужно попробовать заменить полифункциональные элементы на элементы, реализующие отдельные функции или меньшее число функций.

Замечание 2. При решении задач методом морфологического анализа и синтеза часто имеет большой практический смысл использовать только готовые элементы. В этих случаях морфологическая таблица заполняется наименованиями только стандартных, унифицированных и серийно производимых элементов, для которых известны такие показатели, как стоимость, масса и т.д. Синтезируемые в этой таблице допустимые варианты, как правило, легко и быстро изготавливаются и осваиваются на практике. Наилучший вариант легко выбрать по суммарным показателям стоимости, массы и т.п.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

В настоящем примере пункты 1 - 4, 6 выполнены в соответствии с операциями 1 - 4, изложенными в разделе 3.1, а пункты 7, 8 – в соответствии с рекомендациями настоящего раздела.

1. Описание проблемной ситуации. Описание выполняется по этапам.

Этап 1. Применение аналогового электронного вольтметра [33] в качестве прибора для снятия многократных статистических данных или для непрерывного мониторинга выходных параметров системы связано с низкой производительностью и большой трудоемкостью измерений. В зависимости от квалификации оператора время, затраченное на одно измерение физической величины, может достигать нескольких минут.

Этап 2. Необходимо создать вольтметр с высокой производительностью многократных измерений, когда процесс единичного измерения не превышает нескольких секунд.

Этап 3. Низкая производительность труда по измерению физических величин связана с общим временем измерения t :

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5,$$

где t_1 – время подключения измерительного щупа; t_2 – выбор масштаба измерения; t_3 – визуальное снятие показаний со шкалы прибора; t_4 – фиксация показаний на бумаге; t_5 – ввод данных в ЭВМ.

Кроме этого, существует вероятность ошибки оператора при выполнении указанных этапов, вследствие чего возможно появление ложных результатов измерений.

Этап 4. Устранение указанных недостатков вольтметра позволит получить значительную экономию времени, материальных ресурсов, а также значительно повысить достоверность измеряемых величин.

2. Описание потребности (функции) вольтметра. *Обобщенное описание:* измерение напряжения в цепях электрического тока. *Количественное описание:* измерение уровней постоянного напряжений и среднеквадратиче-

ских значений переменного тока синусоидальной формы от 100 мкВ до 300 В в диапазоне частот от 20 Гц до 5 МГц при времени, затрачиваемом на одно измерение не более 5 с.

3. Выбор прототипа и его описание. В качестве прототипа взят аналоговый электронный вольтметр (рисунок 3.10, а), состоящий из входного устройства 1, среднеквадратичного детектора 2, усилителя постоянного тока 3 и стрелочного измерителя магнитоэлектрической системы 4. Электронные функциональные узлы 1 – 4 размещаются внутри корпуса 5 (рисунок 3.10, б). Измеряемая величина снимается путем удержания руками измерительного щупа 6 на контактной поверхности объекта.

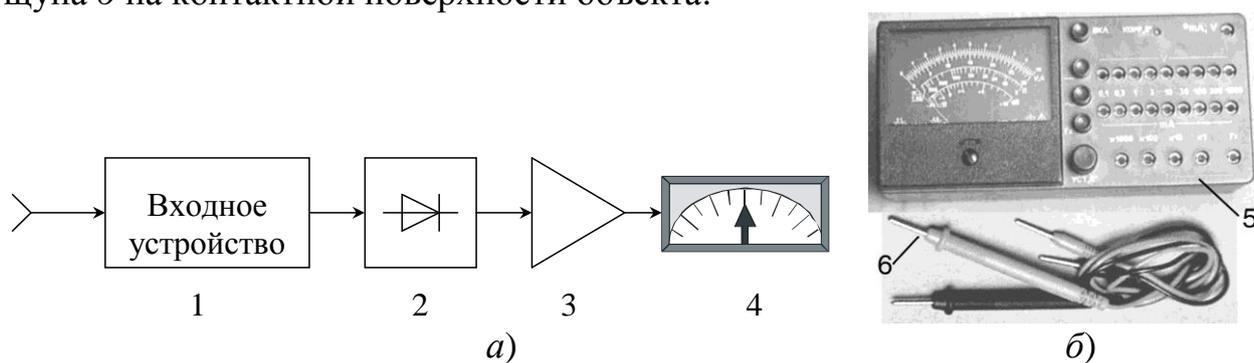


Рисунок 3.10 – Аналоговый вольтметр

В качестве дополнительных прототипов к описанному выше можно рассмотреть варианты с пиковым детектором и детектором средневыпрямленного значения.

4. Выявление недостатков прототипа. Удержание измерительного щупа руками на контактной поверхности объекта не гарантирует плотного и надежного контакта, вследствие чего правильность измерений может быть нарушена. Время, затрачиваемое на этапы регистрации измерения, оказывается чрезмерным. Поскольку регистрация измерения проводится оператором вручную, не исключены ошибки: на этапе считывания показаний со шкалы стрелочного измерителя магнитоэлектрической системы 4 за счет параллакса; на этапе фиксации результата на бумаге за счет описок; на этапе ввода данных измерений в ЭВМ за счет ошибок программиста.

Для снижения вероятности появления ошибок измерения и их регистрации, а также для повышения производительности процесса многократных измерений желательно иметь измерительный комплекс с надежным креплением измерительного щупа к контактной поверхности объекта и автоматизированным вводом значений измеряемой величины в ЭВМ.

5. Выбор критериев качества. За критерий качества примем относительное время регистрации одного измерения:

$$\tau = \frac{t_1}{t_{РЕГ}},$$

где $t_{\text{РЕГ}}$ – абсолютное время регистрации одного измерения; t_1 – время на подключение измерительного щупа.

Точность измерения за критерий качества, в данном случае, принимать не целесообразно, поскольку автоматизированные измерительные комплексы вносят дополнительные погрешности измерения, связанные с аналого-цифровым преобразователем.

6. Разделение вольтметра (прототипа) на элементы. Описание функций элементов вольтметра приведено в таблице 3.22, а соответствующая ему конструктивно-функциональная схема – на рисунке 3.11.

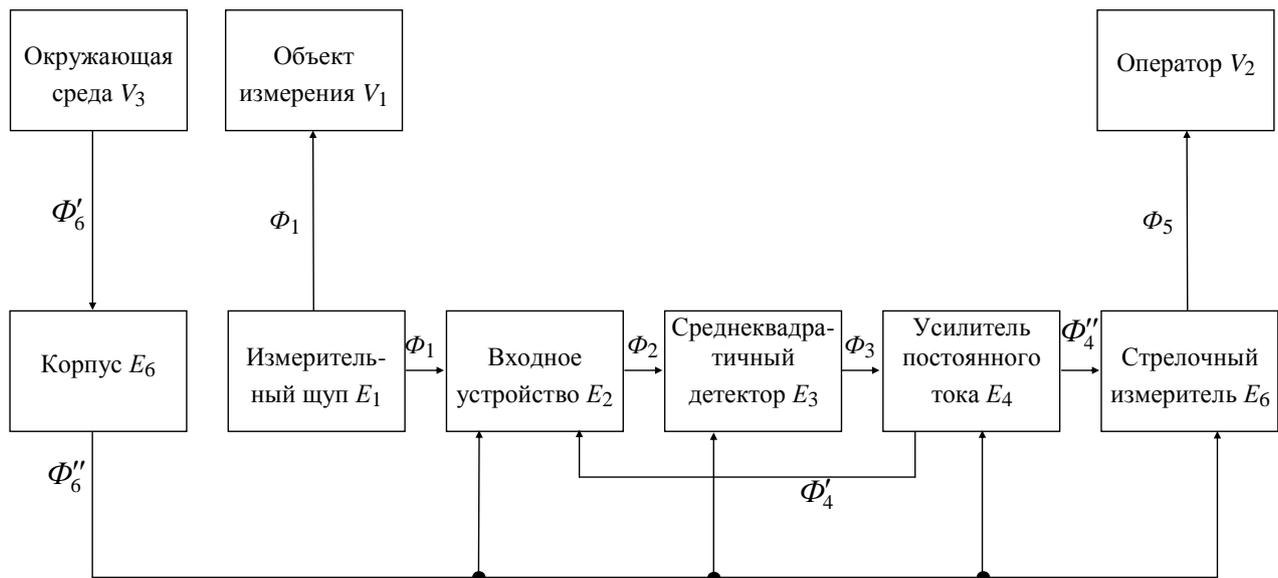


Рисунок 3.11 – Конструктивно-функциональная схема прототипа

Построение улучшенных ФС. Для автоматизации процесса измерения напряжения и передачи измеренных данных в ЭВМ необходимо перейти к цифровому (дискретному) представлению информации. Для этого целесообразно ввести блок аналого-цифрового преобразования E_4 . Поэлементная детализация блока аналого-цифрового преобразования не приводится, чтобы не усложнять конструктивно-функциональную схему нового устройства. Необходимо также ввести новый интерфейсный блок E_7 , который бы обеспечивал передачу данных в ЭВМ. Желательно отказаться от стрелочного измерителя магнитоэлектрической системы и заменить его устройством цифрового отсчета (индикатором) E_5 . Улучшенная ФС представлена в таблице 3.23 и на рисунке 3.12.

Таблица 3.22

Измерение постоянного и переменного напряжений (прототип)

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Измерительный щуп	Φ_1	Электрическое соединение между контактной поверхностью объекта измерения V_1 и клеммами входного устройства E_2
E_2	Входное устройство	Φ_2	Деление напряжения, действующего на измерительном щупе E_1
E_3	Среднеквадратичный детектор	Φ_3	Выделение постоянной составляющей напряжения со входного устройства E_2 , которое прямо пропорционально среднеквадратичному значению напряжения на измерительном щупе E_1
E_4	Усилитель постоянного тока	Φ'_4	Обеспечение высокого сопротивления и чувствительности входного устройства E_2
		Φ''_4	Подача сигнала на магнитоэлектрическую систему для отклонения стрелочного измерителя E_5
E_5	Стрелочный измеритель магнитоэлектрической системы	Φ_5	Отображение значения измеряемого напряжения для оператора V_2
E_6	Корпус	Φ'_6	Защита внутренних элементов вольтметра $E_2 - E_5$ от внешних воздействий V_3
		Φ''_6	Фиксация внутренних элементов вольтметра $E_2 - E_5$

Таблица 3.23

Измерение постоянного и переменного напряжений (улучшенный вариант)

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Измерительный щуп	Φ_1	Электрическое соединение между контактной поверхностью объекта измерения V_1 и клеммами входного устройства E_2
E_2	Входное устройство	Φ_2	Деление напряжения, действующего на измерительном щупе E_1
E_3	Детектор	Φ_3	Выделение постоянной составляющей напряжения со входного устройства E_2
E_4	Блок аналого-цифрового преобразования	Φ_4	Преобразование аналоговой величины напряжения, выделенной детектором E_3 , в дискретную величину
E_5	Устройство цифрового отсчета (индикатор)	Φ_5	Отображение цифрового значения измеряемого напряжения для оператора V_2
E_6	Корпус	Φ'_6	Защита внутренних элементов вольтметра $E_2 - E_5$ от внешних воздействий V_3
		Φ''_6	Фиксация внутренних элементов вольтметра $E_2 - E_5$
E_7	Интерфейсный блок	Φ_7	Передача цифровых данных об измеряемой величине в ЭВМ V_4

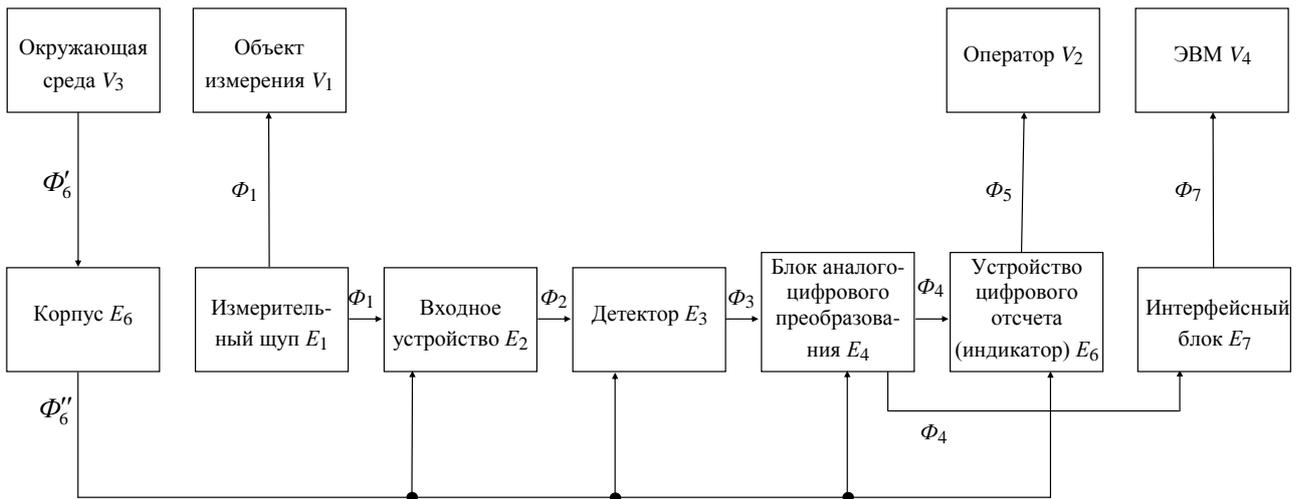


Рисунок 3.12 - Улучшенная функциональная структура вольтметра

7. Составление морфологических таблиц. Анализ задачи показывает, что различные способы реализации функций Φ_2 , Φ_5 , Φ_6 мало влияют на устранение недостатков прототипа и повышение критерия его качества. Поэтому для этих функций не будем рассматривать различные альтернативные варианты реализации и не будем включать их в морфологическую таблицу. Результаты работы по заполнению морфологической матрицы приведены в таблице 3.24.

Таблица 3.24

Морфологическая таблица вариантов цифрового вольтметра

Φ_1 - способ контакта между поверхностью объекта измерения и измерительным щупом	Φ_3 - выделение постоянной составляющей напряжения со входного устройства	Φ_4 - преобразование аналоговой величины напряжения в дискретную	Φ_7 - передача цифровых данных об измеряемой величине в ЭВМ
A_1^1 - вакуумный	A_3^1 - пиковый (амплитудный) детектор с открытым входом	A_4^1 - времяимпульсное преобразование	A_7^1 - параллельный интерфейс данных LPT
A_1^2 - механический контакт	A_3^2 - пиковый (амплитудный) детектор с закрытым входом	A_4^2 - поразрядное уравнивание	A_7^2 - последовательный интерфейс данных COM

Продолжение таблицы 3.24

Ф1 - способ контакта между поверхностью объекта измерения и измерительным щупом	Ф3 - выделение постоянной составляющей напряжения со входного устройства	Ф4 - преобразование аналоговой величины напряжения в дискретную	Ф7 - передача цифровых данных об измеряемой величине в ЭВМ
A_1^3 - клейкое электропроводное покрытие измерительного щупа	A_3^3 - детектор среднеквадратичного значения	A_4^3 - параллельное уравнивание	A_7^3 - универсальная последовательная шина USB аппаратной версии 1.0
	A_3^4 - детектор средневыпрямленного значения	A_4^4 - комбинированное преобразование (A_4^1, A_4^2); (A_4^1, A_4^3); (A_4^2, A_4^3) и т.д.	A_7^4 - универсальная последовательная шина USB аппаратной версии 2.0 (повышенная скорость передачи данных)

8. Выбор наиболее эффективных ТР. В соответствии с таблицей 3.24 число возможных вариантов ТР цифрового вольтметра составляет $N = 3 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 = 192$. Поскольку $N < 10^4$, то сокращение альтернатив в столбцах проводить не нужно.

Сокращение множества возможных вариантов ТР. В соответствии с указаниями методики строится таблица 3.25, в которой исключаются наихудшие комбинации. Затем строится таблица 3.26, в которой устраняются наихудшие комбинации (зачеркнуты двумя линиями). Поскольку осталось много допустимых вариантов, то для них проводится сравнительная оценка, и из них исключаются худшие (зачеркнуты одной чертой).

Таблица 3.25

Сокращение комбинаций из двух элементов

	A_3^1	A_3^2	A_3^3	A_3^4
A_1^1				
A_1^2				
A_1^3				

Таблица 3.26

Сокращение комбинаций из трех элементов

	A_4^1	A_4^2	A_4^3	A_4^4
$A_1^1 A_3^1$				
$A_1^1 A_3^2$				
$A_1^1 A_3^3$				
$A_1^2 A_3^1$				
$A_1^2 A_3^2$				
$A_1^2 A_3^3$				

Строится окончательная таблица 3.27, в которой сначала устранили явно худшие варианты (зачеркнуты двумя линиями). Оставшиеся варианты сравниваются между собой с использованием также дополнительных показателей сравнения (надежность, трудоемкость изготовления, стоимость). Исключенные при этом варианты зачеркнуты в таблице 3.27 одной чертой.

Таблица 3.27

Сокращение комбинаций из четырех элементов

№№		A_7^1	A_7^2	A_7^3	A_7^4
1	$A_1^1 A_3^2 A_4^1$				
2	$A_1^1 A_3^2 A_4^3$				
3	$A_1^1 A_3^2 A_4^4$				
4	$A_1^1 A_3^3 A_4^1$				
5	$A_1^1 A_3^3 A_4^3$				
6	$A_1^1 A_3^3 A_4^4$				
7	$A_1^2 A_3^2 A_4^1$				
8	$A_1^2 A_3^2 A_4^3$				
9	$A_1^2 A_3^2 A_4^4$				
10	$A_1^2 A_3^3 A_4^1$				
11	$A_1^2 A_3^3 A_4^3$				
12	$A_1^2 A_3^3 A_4^4$				

Выбор наиболее эффективных вариантов ТР. Формально в таблице 3.27 осталось четыре варианта, относящихся к двум строкам. Таким образом, для более детальной проработки предлагается четыре варианта:

$$TP1 = (A_1^2, A_3^3, A_4^1, A_7^1),$$

$$TP2 = (A_1^2, A_3^3, A_4^1, A_7^4),$$

$$TP3 = (A_1^2, A_3^3, A_4^3, A_7^1),$$

$$TP4 = (A_1^2, A_3^3, A_4^3, A_7^4).$$

9. Оформление предварительных эскизов ТР и их описание. Полученное TP1 изображено на рисунке 3.13. В качестве способа крепления измерительного щупа к объекту измерения выбран механический способ фиксации. В частности, целесообразно применить широко распространенный зажим типа «крокодильчик» (на рисунке не показан). Во входном устройстве 3 в отличие от прототипа число входных гнезд сокращено до четырех, а выбор необходимых масштабов измерения осуществляется поворотным переключателем. Вид детектора и метод аналого-цифрового преобразования в улучшенной конструктивно-функциональной схеме вольтметра не изменились по сравнению с прототипом на рисунке 3.10. Стрелочный измеритель магнитоэлектрической системы преобразован в мультidisплей 2 с одновременным отображением измеряемой величины в цифровом виде и на графической шкале. Для связи с ЭВМ 1 служит параллельный интерфейс LPT 4, особенностью которого является относительно высокая скорость передачи информации.

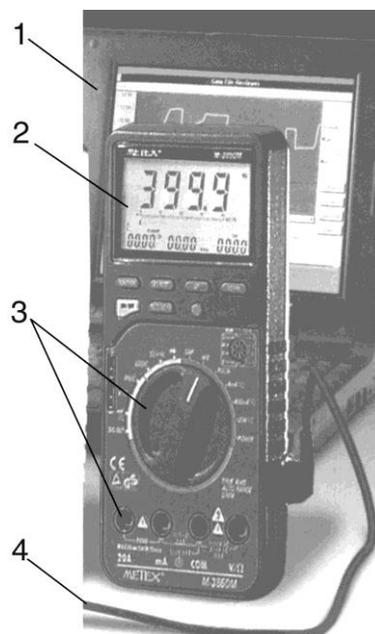


Рисунок 3.13 - Улучшенное техническое решение вольтметра

TP2 отличается использованием перспективного интерфейса USB аппаратной версии 2.0, который обладает не только высокой скоростью передачи

информации, но и возможностью «горячего» подключения к ЭВМ (без перезагрузки).

ТР3 и ТР4 отличаются использованием другого способа аналого-цифрового преобразования – параллельного уравнивания (метод считывания) [11]. Указанный способ преобразования наиболее полно отвечает сформулированному критерию качества.

3.4.4 Функционально-стоимостной анализ

Начиная с конца 60-х годов XX века в инженерной практике технически развитых стран стал быстро распространяться новый подход снижения стоимости (затрат) и повышения качества продукции. Этот подход называли функционально-стоимостным анализом (ФСА). Многочисленная статистика разных стран показывает, что ФСА позволяет на одну денежную единицу затрат получить до 20 единиц экономии.

Основная суть ФСА заключается в следующем:

- применение системного подхода при выявлении по возможности всех излишних затрат (трудоемкость, расход материалов и энергии и т.д.) в существующих или проектируемых изделиях;
- систематическое применение методов инженерного творчества при поиске новых ТР с пониженными затратами;
- четкая организация работ, исходящая от руководства предприятием и направленная на проведение ФСА и реализацию его предложений.

При проведении ФСА выполняют следующую работу:

- выявляют и определяют функции (назначение) элементов изделия;
- оценивают стоимость выполнения каждой функции (в виде расхода материала, энергии, денежных затрат и т.д.);
- выделяют «лишние» (ненужные) функции и функции с чрезмерными затратами на реализацию;
- исключают элементы с ненужными функциями и выбирают наиболее рациональные ТР элементов с чрезмерными затратами;
- реализуют на практике результаты ФСА.

Причину возникновения ФСА можно пояснить следующим образом [34].

Решение задач, связанных со снижением себестоимости, предполагает возможность применения двух подходов: предметного и функционального. Традиционным, применяемым в течение многих десятилетий, является предметный подход. Специалист, занимающийся проблемой снижения себестоимости изделия, формулирует задачу примерно следующим образом: как снизить затраты на данное изделие?

При функциональном подходе специалист, наоборот, полностью абстрагируется от реальной конструкции анализируемой системы и сосредоточивает внимание на ее функциях. При этом изменяется и направление поиска путей снижения себестоимости продукции. Четко определив функции анализируемого объекта, их количественные характеристики, специалист по-другому формулирует задачу: необходимы ли эти функции? Если да, то необходимы ли предусмотренные количественные характеристики? Каким наиболее экономичным путем можно достичь выполнения функций?

Важность и целесообразность функционального подхода обуславливается тем, что потребителя в конечном итоге интересуют не предметы и вещи

как таковые, а те действия, которые он может производить с их помощью, т.е. их функции. Например, его интересует не электродвигатель, холодильник, трансформатор, лампочка и т.д., а соответствующие выполняемые ими функции: вращение вала, сохранение продуктов, изменение напряжения, излучение света и т.д.

Область применения ФСА весьма широка, поскольку этот подход имеет смысл использовать в любой сфере человеческой деятельности, в которой требуется снизить какие-либо затраты. ФСА является очень сильным средством интенсификации экономики. Учитывая опыт успешного применения ФСА, его, в первую очередь, рекомендуется использовать при решении следующих задач:

- проектирование новых изделий и технологий;
- модернизация освоенных в производстве изделий;
- реконструкция предприятий;
- снижение затрат основного и вспомогательного производства;
- снижение затрат сырья, материалов, топлива и энергии;
- снижение трудоемкости и экономия людских ресурсов.

В эпоху существования СССР наибольший опыт по освоению и использованию ФСА имело Министерство электротехнической промышленности, которое, начиная с 1977 г., определило следующие организационные основы этой системы:

- создание специальных органов и подразделений, способных реализовать резервы снижения затрат с помощью ФСА;
- разработка методических и руководящих материалов по организации и проведению ФСА;
- обучение основам метода ФСА и его пропаганда среди возможно большего числа специалистов отрасли;
- непосредственное проведение ФСА конкретных изделий, освоенных как в производстве, так и на стадии их проектирования; внедрение рекомендаций ФСА для получения реального экономического эффекта.

Все эти мероприятия взаимосвязаны между собой. В настоящей главе в основном обобщен и развит опыт указанного Министерства [34, 35] в направлении усиления ФСА с помощью широкого использования методов инженерного творчества.

Порядок проведения ФСА. Один из основополагающих принципов ФСА – определенная последовательность его проведения, задаваемая рабочим планом ФСА. Рабочий план ФСА включает четыре взаимосвязанных этапа, каждый из которых состоит из нескольких отдельных работ. Последовательность, заданная рабочим планом, должна носить обязательный характер, т.е. нельзя приступать к очередному этапу, не выполнив полного объема работы предыдущего этапа.

Рабочий план проведения ФСА включает следующие этапы и виды работ:

1. Подготовительный этап.

- 1.1 Выбор ТО и определение целей ФСА.
- 1.2 Подбор и утверждение состава исследовательской группы.
- 1.3 Обучение специалистов группы основам ФСА.
- 1.4 Составление, согласование и утверждение технического задания (ТЗ) на проведение ФСА.

2. Информационно-аналитический этап.

- 2.1 Сбор и изучение информации по проектно-конструкторским решениям ТО, интересующим затратам, условиям работы и недостаткам ТО.
- 2.2 Построение конструктивной функциональной структуры ТО.
- 2.3 Определение списка основных показателей и требований к ТО, критериев развития ТО.
- 2.4 Анализ и классификация функций элементов ТО.
- 2.5 Определение и сравнение стоимостей функций.
- 2.6 Выявление функциональных зон наибольшего сосредоточения затрат в ТО.
- 2.7 Постановка задач поиска более рациональных и оптимальных конструкторско-технологических решений.

3. Поисково-исследовательский этап.

- 3.1 Поиск улучшенных ТР.
- 3.2 Математическое моделирование улучшенных ТР.
- 3.3 Поиск оптимальных параметров улучшенных ТР.
- 3.4 Экспериментальное испытание новых ТР.
- 3.5 Выбор наилучших вариантов ТР.
- 3.6 Оформление результатов в виде технического предложения или/и эскизного проекта, их согласование с заинтересованными подразделениями и утверждение.

4. Разработка и внедрение результатов ФСА.

- 4.1 Составление и оформление проектно-технологической документации и рекомендаций по реализации результатов ФСА с уточнением расчетов эффективности.
- 4.2 Согласование предложений по пункту 4.1 с заинтересованными подразделениями, службами и их утверждение.
- 4.3 Организация работы по реализации предложений.
- 4.4 Материальное и моральное поощрение участников разработки и внедрения рекомендаций по ФСА. Оформление отчета о выполненной работе с предложениями по улучшению проведения ФСА.

Работа на первом, подготовительном этапе имеет две стадии. Сначала по пунктам 1.1, 1.2 готовится приказ, в котором, во-первых, указывает, какое изделие или какой технологический процесс требуется проработать с позиции ФСА и какие затраты понизить в первую очередь. Во-вторых, определяется состав временной группы специалистов, сроки проведения исследований и подразделения, обеспечивающие работу временной группы ФСА.

Во временную группу ФСА входят один или несколько человек из постоянной группы (отдела) ФСА, а также прикомандировываются разные специалисты (технолог, методолог, энергетик, снабженец, экономист, эколог и т.д.), компетенция которых необходима при решении поставленных задач ФСА. Если на предприятии нет подразделения ФСА, то во временную группу необходимо включить хотя бы одного специалиста (желательно руководителя временной группы), владеющего подходом ФСА, и методолога-специалиста, владеющего методами инженерного творчества.

На второй стадии (пункты 1.3, 1.4 подготовительного этапа) временная группа ФСА составляет ТЗ, в котором уточняется:

- какие узлы и блоки изделия необходимо подвергнуть тщательному ФСА;
- какие затраты требуется сократить в первую и во вторую очередь;
- какие особые условия и ограничения требуется выполнить;
- какая необходима работа обеспечивающих подразделений по сбору и подготовке информации.

Составной частью ТЗ является также сетевой график или план-график проведения ФСА.

Одновременно с составлением ТЗ ведется обучение членов временной группы основам ФСА, если они не имеют соответствующего опыта работы. Для этого иногда целесообразно привлекать преподавателя (методолога) со стороны.

Рекомендации по выполнению этапов 2 - 4 ФСА даны ниже.

Сбор и анализ информации. Выполнение работ по пунктам 2.1 – 2.3 информационно-аналитического этапа не требует дополнительных пояснений. Напомним, что при выполнении пункта 2.1 в первую очередь нужно использовать словарь технических функций. Заметим, что при комплексном изучении затрат придется часто проводить многоуровневый анализ функций ТО, например, описывать функции интересующих блоков ТО, затем функции узлов, из которых состоят блоки, затем функции деталей и т. д.

Классификация функций ТО (пункт 2.4). Функции элементов ТО, выявленные и описанные при выполнении пункта 2.2, могут быть разделены на четыре группы [36]: главные, основные, вспомогательные, вредные. Указанные четыре группы функций уже упоминались ранее в разделе 2.1 при рассмотрении свойств систем.

Главные функции имеют главные элементы; они выделяются при составлении таблицы анализа функций и обозначаются через Φ_0 .

Основные функции относятся к элементам, которые непосредственно обеспечивают работу главных элементов; при исключении любой основной функции главная функция в принципе не может быть реализована.

Вспомогательные функции относятся к элементам, которые делают реализацию главной или основной функции более эффективной, более приемлемой или привлекательной для потребителя и т.п.; при исключении любой

вспомогательной функции работоспособность ТО сохраняется, но ухудшаются некоторые показатели качества.

Вредные функции относятся к элементам, которые не играют существенной (или никакой) роли в обеспечении работоспособности ТО и повышении его качества; таким образом, при исключении вредной функции и соответствующих элементов показатели качества не ухудшаются, а некоторые могут даже улучшаться.

Часть элементов с вредными функциями выявляется уже при составлении таблицы анализа функций, когда возникает затруднение при формулировке функции какого-либо элемента. Для этих элементов в таблице анализа функций следует указывать: «Полезной функции не имеет». Другую часть таких элементов выявляют среди тех, которые имеют вспомогательные функции. По отношению к этим элементам задают вопрос: «Какие появятся отрицательные последствия при исключении данного элемента?» При ответе на этот вопрос проводят мысленное моделирование; если оно не дает четкого ответа, проводят математическое моделирование или физическое – путем экспериментального испытания.

Ниже приведен пример классификации функций сетевого фильтра (таблица 3.28).

Таблица 3.28

Классификация функций сетевого фильтра

Класс функций	Описание функций
Главная функция	Стабильность электропитания бытовой радиоаппаратуры
Основные функции	Обеспечение непрерывности электрической цепи между входом и выходом
	Устранение пульсаций питающего напряжения
	Устранение выбросов (скачков) питающего напряжения
	Включение/выключение бытовой радиоаппаратуры от сети питающего напряжения
Вспомогательные функции	Использование сетевого фильтра в качестве удлинителя
	Использование сетевого фильтра в качестве разветвителя
	Создание внешнего красивого вида
	Гарантирование требуемой надежности и износостойчивости
	Обеспечение нормального уровня техники безопасности

Определение и сравнение стоимости функций (пункт 2.5). Стоимость функций понимается в широком смысле, т.е. имеются в виду любые затраты, связанные с реализацией функций.

Поскольку определение и сравнение стоимости функций проводится для выявления излишних затрат, то укажем следующие основные причины возникновения (источники) излишних затрат.

1. Конструкторы в первую очередь стремятся получить требуемые эксплуатационные показатели. При этом они не уделяют достаточного внимания экономическим показателям или у них нет полной информации о стоимости некоторых материалов, способов обработки и т.д. Это часто приводит к изготовлению многих деталей из неоправданно дорогих или дефицитных материалов, с использованием не самых дешевых технологий.

2. Иногда конструкторы слабо знают условия эксплуатации и изготовления ГО. В связи с этим к некоторым показателям ГО они предъявляют для перестраховки неоправданно высокие требования, что приводит к излишним затратам.

3. В ряде случаев из-за чрезмерной загруженности конструкторы принимают на начальных стадиях проектирования временные, недостаточно обоснованные и отработанные ТР, которые затем переходят в документацию на серийное производство.

4. Стремление к достижению высокого уровня унификации часто превращается в самоцель. При этом не учитываются объем выпускаемой продукции и экономическая целесообразность унификации.

Существуют два способа оценки стоимости функций. Первый – метод прямого расчета затрат на основании стоимости материалов, операций технологического процесса и т.д. Несмотря на высокую точность этого метода, часто не удается (в связи с большой трудоемкостью сбора информации или отсутствием таковой) расчетным путем определить стоимость функций для изучаемого и аналогичных ГО.

В связи с этим чаще используют менее трудоемкий и более универсальный метод экспертных сравнений стоимостей функций для изучаемого и аналогичных изделий. При использовании этого метода для каждой функции заполняют форму (таблица 3.29), в которой по каждому показателю и для каждого варианта реализации функции устанавливается относительная шкала порядка, т.е. лучшему варианту присваивается стоимость 1, худшему – стоимость m , равная числу сравниваемых вариантов. В таблице 3.29 приведен пример относительной оценки затрат для пяти вариантов реализации функции, где вариант 4 (патент 1) имеет наименьшие затраты.

Разумеется, набор показателей затрат в таблице 3.29 для разных функций будет различным.

Самая предварительная оценка затрат, определяемая по таблице 3.29, равна сумме оценок $C = \sum \gamma_i$. Более точная оценка затрат может быть сделана с учетом весовых коэффициентов:

$$C = \sum_{i=1}^m \frac{\gamma_i}{k_i}, \quad (3.12)$$

где k_i — весовой коэффициент, принимает значения на отрезке $[1, 10]$; чем важнее показатель, тем выше вес.

Таблица 3.29

Сравнение затрат на реализацию функции

№ по порядку	Варианты реализации функции	Показатели затрат					
		Расход материала		Трудоемкость		Энергозатраты γ_5	Суммарная стоимость $\Sigma\gamma_i$
		сталь γ_1	медь γ_2	изготовления γ_3	эксплуатации γ_4		
1	Изучаемое изделие	3	2	5	4	2	16
2	Аналог 1	1	3	3	5	5	17
3	Аналог 2	5	4	1	3	1	14
4	Патент 1	4	1	2	2	3	12
5	Патент 2	2	5	4	1	4	16

При относительной оценке стоимостей функций важно выделить минимальную стоимость по таблице 3.29 или формуле (3.12) и максимальную допустимую стоимость (обычно соответствующую изучаемому изделию). Обе эти величины являются хорошими ориентирами при поиске улучшенных вариантов ТР при выполнении третьего, поисково-исследовательского этапа.

Работу по оценке стоимостей отдельных функций оформляют в виде сводной таблицы стоимостей функций, форма которой дана в таблице 3.30. Следует заметить, что функция может иметь несколько показателей оценки, при этом в таблице 3.30 приводят только основные показатели.

Оценка функций и установление стоимостных ориентиров в виде минимально возможной и максимально допустимой стоимости функций делают процесс снижения затрат **целенаправленным**.

Изложенная методика сравнительной оценки функций элементов и изделий в целом представляется довольно трудоемкой. Устранение этого недостатка, по-видимому, возможно при создании объектно-ориентированных каталогов или банков данных, где конструктор мог бы быстро находить готовые оценки затрат на реализацию интересующей функции.

Выявление зон наибольшего сосредоточения затрат (пункт 2.6). При выявлении функциональных зон наибольшего сосредоточения затрат в ТО можно использовать несколько подходов.

Таблица 3.30

Сводная ведомость стоимостей функций

Описание функции	Наименование соответствующего элемента	Наименование показателей затрат (оценки стоимости функции)	Единица измерения	Стоимость функции	
				минимально возможная	максимально допустимая
1 ...	1 ...	1.1. ... 1.2.			
2 ...	2 ...	2.1. ... 2.2.			

1. После выявления затрат на выполнение функций элементов для каждой из них определяют ресурс функции по сравнению с нормативным сроком эксплуатации ТО. Относительно этого срока вычисляют повышенный (со знаком «+») или пониженный (со знаком «-») ресурс i -го элемента, реализующего свою функцию:

$$P_i = \frac{D_i \pm D_n}{D_n} \cdot 100\% .$$

Здесь D_i – срок службы i -го элемента (детали, узла, и т.п.); D_n – нормативный (фактический) срок службы ТО.

Далее определяют долю излишних и недостающих затрат:

$$R_i = \frac{P_i \cdot Q_i}{100} \quad (3.13)$$

где Q_i — относительные затраты на выполнение функции i -м элементом в процентах. Значение R_i соответствует доле повышенных (излишних) или пониженных (недостающих) затрат по отношению к стоимости ТО.

Наибольшие положительные значения R_i соответствуют зонам наибольшего сосредоточения затрат. Если повышение ресурса ТО в целом является актуальной задачей, то следует рассматривать наибольшие отрицательные значения R_i повышения ресурса i -го элемента.

С помощью таблиц 3.29 и 3.30 составляют таблицу наибольших разностей между существующей (в рассматриваемом ТО) и минимально возможной стоимостью функций, форма которой дана в таблице 3.31, где относи-

тельная разность берется между существующей и минимально возможной стоимостями по отношению к существующей. В этой таблице функции упорядочивают по уменьшению разностей до 5 - 10 %. Зоны наибольшего сосредоточения излишних затрат соответствуют наибольшим разностям стоимостей функций.

Таблица 3.31

Таблица наибольших разностей стоимости функций

Описание функции	Наименование соответствующего элемента	Относительная разность стоимостей, %
1.
2. ...		
.....		

Для выявления зон наибольшего сосредоточения затрат используют АВС-анализ, который предполагает разбивку узлов и деталей любого изделия на три группы:

- группа *A* – дорогостоящие элементы (детали, узлы);
- группа *B* – элементы средней стоимости;
- группа *C* – элементы низкой стоимости.

Статистические исследования показывают, что в большинстве случаев между числом деталей в этих группах и их суммарной себестоимостью сохраняется более или менее постоянное соотношение (таблица 3.32).

Таблица 3.32

Классификация зон сосредоточения затрат

Группа элементов	Доля от общего числа элементов (деталей), %	Доля от общей стоимости изделия, %
<i>A</i>	5	75
<i>B</i>	20	20
<i>C</i>	75	5

Для выявления зон наибольшего сосредоточения затрат используют данные расчетов по формуле (3.13) и данные таблицы 3.31, на основе которых составляют список функций с наибольшими затратами. В этот список включают функции (элементы), которые одновременно имеют наибольшие значения в таблице 3.31 и наибольшие положительные значения R_i . Кроме того, выделяют функции с наибольшими отрицательными значениями R_i , для реализации которых необходимы другие (более долговечные и надежные) ТР или дополнительные затраты.

Другой способ выделения зон наибольшего сосредоточения затрат состоит в том, что на основании таблиц 3.31 и 3.32 составляют два списка таких зон: первый (главный) список включает функции (элементы), которые одновременно вошли в таблицу 3.31 и в группу элементов *A* в таблице 3.32, второй (дополнительный) список включает функции элементов, которые одновременно вошли в таблицу 3.31 и в группу *B* в таблице 3.32.

Существует еще один подход выявления зон наибольшего сосредоточения затрат. В соответствии с изложенной выше классификацией функций затраты обычно имеют следующее нормативное распределение:

- основные функции 20 – 30 %;
- вспомогательные функции 40 – 50 %;
- вредные функции 5 – 10 %.

При оценке функций нередко обнаруживается, что на осуществление вспомогательных функций приходится чрезмерно большая доля затрат (60 – 70 %), т.е. здесь заложены основные резервы снижения себестоимости.

Следует оговориться, что распределение затрат в соответствии с классификацией функций в значительной степени зависит от специфики ТО. Поэтому требуются обоснованные нормативы распределения долей затрат по группам функций для интересующего класса ТО. Однако таких нормативов пока нет.

Постановка задач поиска более рациональных решений и оформление результатов информационно-аналитического этапа (пункт 2.7). Постановка задачи поиска улучшенных решений выполняется по рекомендациям раздела 3.1. Отметим некоторые особенности только для двух операций. Так, при выполнении операции 3 берут имеющийся ТО, который требуется улучшить, и выбирают наиболее выигрышные и эффективные варианты реализации из таблицы 3.29. В списке недостатков (операция 4) отражаются в основном зоны наибольшего сосредоточения излишних затрат.

В результате проведения информационно-аналитического этапа получаем следующую документацию:

- таблицу анализа функций ТО и конструктивную функциональную структуру ТО;
- перечень главных, основных, вспомогательных и вредных функций;
- список критериев развития, основных показателей и требований, предъявляемых к улучшаемому ТО;
- сводную таблицу стоимостей функций;
- список и характеристику зон наибольшего сосредоточения затрат;
- постановку конструкторских задач по устранению элементов с вредными функциями;
- постановку конструкторских задач по удешевлению функций, содержащих излишние затраты;
- список неясных вопросов, возникших при сборе, систематизации и анализе информации, для последующего обсуждения со специалистами;
- перечень и описание возникших идей по улучшению ТО.

При выполнении информационно-аналитического этапа можно отметить следующие характерные ошибки:

- слабое привлечение знаний и опыта специалистов других служб из-за ложной боязни потерять свой авторитет или из-за нежелания, а иногда и неумения, наладить с ними деловые контакты;

- получение слишком скудного или чрезмерно большого объема информации об исследуемом объекте, на что затрачивается слишком много времени и ресурсов (поэтому следует ограничиваться оптимальным объемом информации, определяемым конкретными целями анализа и временем, оговоренном в плане работы);

- пренебрежение известными правилами делопроизводства (вся собранная и обработанная информация должна систематизироваться и надежно храниться для повторного использования).

Весьма характерной ошибкой является отвлечение на одну из первых идей, возникших в процессе сбора и анализа информации. Идея может показаться интересной, перспективной. Появляется желание заняться ее разработкой и, по существу, прекратить дальнейший сбор и анализ информации. От таких соблазнов следует уходить, не изменяя главным принципам системного анализа.

Разработка улучшенных проектно-конструкторских решений. При выполнении пункта 3.1 (поиск улучшенных технических решений) следует руководствоваться рекомендациями, данными по методам мозговой атаки, эвристических приемов и морфологического анализа.

Для выполнения пункта 3.2 (математическое моделирование улучшенных ТР) следует руководствоваться рекомендациями, данными по проведению теоретических и экспериментальных исследований (раздел 3.3). Целесообразно использовать интегрированные системы математического моделирования, которые имеют большие возможности по моделированию изделий с различными ТР. Указанные интегрированные системы в свое время были разработаны в Уфимском авиационном институте и Научно-исследовательском институте прикладной математики и механики при Томском государственном университете [37, 38].

При выполнении пункта 3.3 (поиск оптимальных параметров улучшенных ТР) следует также использовать соответствующие пакеты прикладных программ.

Выполнение пунктов 3.4 – 3.6 не требует дополнительных пояснений. Здесь только заметим, что пункт 3.4 (экспериментальное испытание новых ТР) проводится в случае, если математическое моделирование не дает удовлетворительных результатов, а проверка предложений необходима. При выборе наилучших вариантов пункта 3.5 полезно составлять положительно-отрицательные оценки по форме таблицы 3.33, где приведен пример оценки вариантов изготовления корпусов для радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в условиях массового производства.

Таблица 3.33

Пример оценки вариантов изготовления корпусов РЭА

Факторы	Варианты	
	1	2
Положительные	Сумма приведенных затрат 72 млн. руб. Снижение себестоимости на 12 млн. руб. Рост производительности труда на 18 % Улучшение качества и товарного вида	Сумма приведенных затрат 90 млн. руб. Снижение себестоимости на 6 млн. руб. Рост производительности труда на 5 %
Отрицательные	Реактопластавтоматы - «узкое место» производственного оборудования Изготовление сложной пресс-формы Необходимость применения нового пресс-материала ГСП - 32	Остается трудоемкая операция доработки детали после прессования в компрессионной пресс-форме Сложность переработки пресс-материала АГ- 4В

Разработка и внедрение результатов ФСА. Выполнение пунктов 4.1, 4.2 не требует особых пояснений. Следует заметить, что в некоторых случаях вообще не потребуется разработка проектно-технологической документации, а достаточно будет ограничиться рационализаторским предложением.

Выполнение пункта 4.3 связано с составлением и утверждением плана-графика внедрения рекомендаций по ФСА, доведением его до соответствующих подразделений и служб, а также обеспечением контроля выполнения плана-графика. При этом необходимо добиться, чтобы внедрение предложений ФСА осуществлялось в рамках общего плана повышения эффективности производства, а мероприятиям по ФСА уделялось особое внимание ввиду их новизны и повышенной сложности из-за большего числа новых оригинальных решений.

Один из возможных путей ускорения практической реализации результатов ФСА – создание специальных групп (групп реализации, комплексных бригад и т.п.), состоящих из конструкторов, технологов, исследователей, работников цехов, которые осуществляют более оперативное доведение найденных решений до практического осуществления [34].

В этой связи целесообразно участников внедрения заинтересовать и привлечь к работам по ФСА на всех четырех этапах.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Рассмотрим пример, иллюстрирующий использование ФСА на втором этапе (выполнение пунктов 2.1 - 2.7) при решении задачи оптимизации конфигурации персонального компьютера, входящего в автоматизированного рабочего место (АРМ) конструктора РЭС.

В настоящее время существует большое число различных моделей и конфигураций персональных компьютеров. Персональный компьютер, входящий в АРМ конструктора РЭС, предназначен для автоматизированного проектирования функциональных узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры. Эксплуатация персонального компьютера предполагается в конструкторском бюро в течение всего рабочего дня. Условия окружающей среды при этом – температура, влажность, чистота помещения, уровень освещения – близки к домашним условиям. Возможно применение персонального компьютера не по назначению: для корпоративной связи с другими ЭВМ, для выхода в Интернет и т.д. Персональный компьютер, входящий в АРМ, может быть переориентирован для других задач производства: в качестве сервера, в качестве ЭВМ для управления технологическими процессами. Срок эксплуатации персонального компьютера составляет 2 – 3 года, что обусловлено его моральным и, отчасти, физическим старением. Существующие модели персональных компьютеров обладают рядом недостатков: универсальная конфигурация зачастую не отвечает специфическим требованиям и условиям эксплуатации; нестандартные дизайнерские решения внешнего вида идут вразрез с производительностью труда конструктора на персональном компьютере и т.д.

В данном примере целью функционально-стоимостного анализа персонального компьютера, входящего в АРМ конструктора РЭС, является установление оптимального соотношения цена/производительность по состоянию на декабрь 2002 года.

В таблице 3.34 приведен анализ функций наиболее распространенной конфигурации персонального компьютера без учета специфики работы пользователя, а на рисунке 3.14 изображена соответствующая конструктивно-функциональная структура. Для упрощения анализа в таблице 3.34 приведены лишь некоторые функции элементов персонального компьютера.

Список основных требований к персональному компьютеру, входящему в АРМ конструктора РЭС, можно сформулировать таким образом:

- высокое быстродействие персонального компьютера;
- хорошее визуальное представление информации;
- срок эксплуатации – 3 года;
- снижение общей стоимости персонального компьютера;
- программная и аппаратная совместимость с другими персональными компьютерами;
- повышение надежности работы персонального компьютера;

- достаточный объем дискового пространства для хранения информации.

Таблица 3.34

Анализ функций персонального компьютера

Элементы		Функция	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Корпус системного блока MidiTower с мощностью блока питания 300Вт	Φ'_1	Подача питающего напряжения на монитор E_2 , материнскую плату E_5 и дисковые накопители E_8 от сети переменного тока V_4
		Φ''_1	Предохранение элементов системного блока $E_5 - E_{10}$ от внешних воздействий окружающей среды V_1
		Φ'''_1	Шум от вентилятора блока питания корпуса E_1 , действующий на пользователя V_2
E_2	Монитор на основе электронно-лучевой трубки с диагональю 15 дюймов	Φ'_2	Восприятие пользователем V_2 визуальной информации
		Φ''_2	Электромагнитное излучение, действующее на пользователя V_2
E_3	Двухкнопочный манипулятор типа «мышь»	Φ_3	Перемещение пользователем V_2 указателя мыши
E_4	Клавиатура	Φ_4	Ввод текстовой информации пользователем V_2
E_5	Материнская плата с поддержкой памяти DDR	Φ_5	Управление аппаратными элементами $E_1 - E_4$, $E_6 - E_{10}$ персонального компьютера

Продолжение таблицы 3.34

Элементы		Функция	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_6	Процессор с тактовой частотой 1.3 ГГц	Φ'_6	Обработка данных, поступающих из ОЗУ E_7
		Φ''_6	Выдача управляющих сигналов на материнскую плату E_5
		Φ'''_6	Шум от вентилятора, действующий на пользователя V_2
E_7	Оперативное запоминающее устройство типа DDR объемом 512 МБайт	Φ_7	Оперативное хранение данных, поступающих от процессора E_6 , с дисковых накопителей E_8 и т.д.
E_8	Дисковые накопители HDD объемом 80 ГБайт, FDD, CD-ROM и т.д.	Φ_8	Долговременное хранение данных, поступающих из ОЗУ E_7 , с сетевой карты E_{10} и т.д.
E_9	Видеоадаптер с объемом видеопамяти 32 МБайта	Φ_9	Формирование видеопотока информации для отображения на мониторе E_2
E_{10}	Сетевая плата	Φ_{10}	Коммуникация с другими персональными компьютерами V_3

Можно выделить следующие критерии развития:

- трудоемкость модернизации персонального компьютера;
- массогабаритные показатели;
- эргономичность;
- внешняя эстетика.

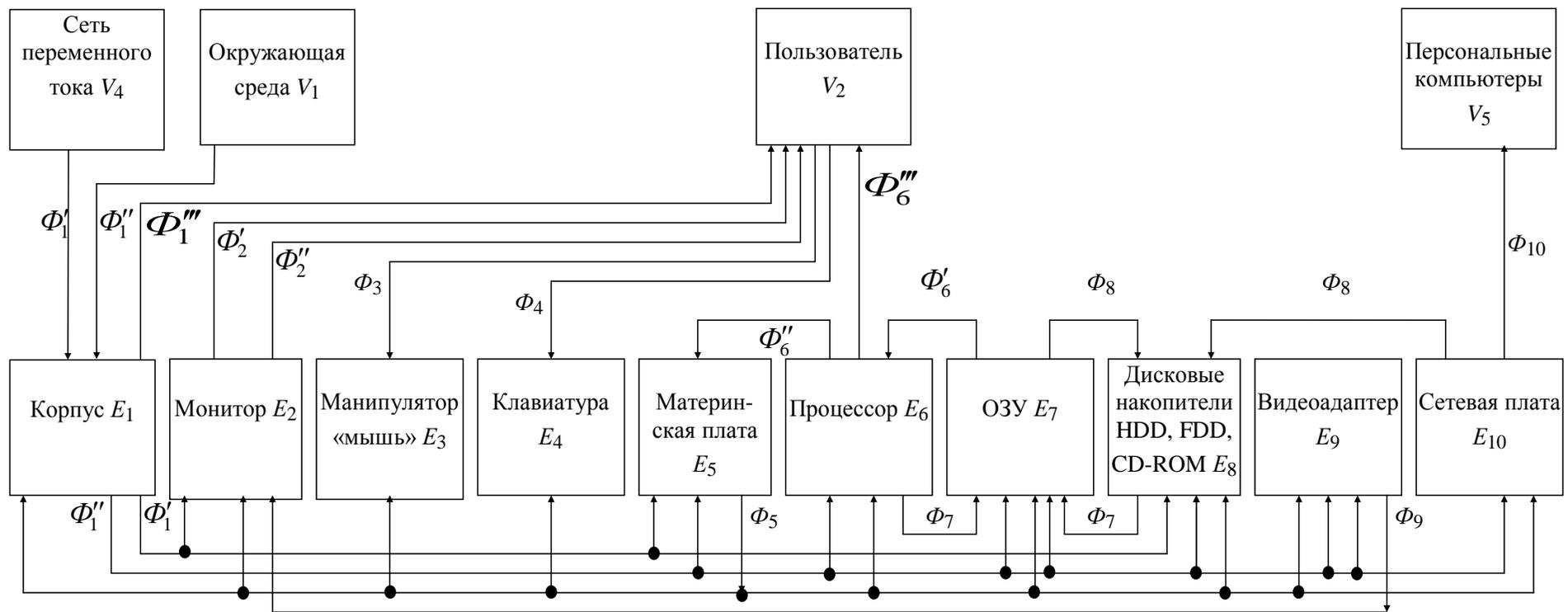


Рисунок 3.14 – Функциональная структура персонального компьютера

Выявленные и описанные функции элементов персонального компьютера можно разделить следующим образом. Главная функция персонального компьютера, входящего в состав АРМ конструктора РЭС - автоматизированное проектирование функциональных узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры. К основным функциям относятся - Φ_1' , Φ_2' , Φ_4 , Φ_5 , Φ_6' , Φ_6'' , Φ_7 , Φ_8 , Φ_9 . Заметим, что без выполнения указанных основных функций реализация главной функции персонального компьютера невозможна. Функции Φ_1'' , Φ_3 , Φ_{10} относятся к вспомогательным – предоставление пользователю дополнительных возможностей, сопутствующих реализации главной функции. К вредным функциям можно отнести шум от вентиляторов систем охлаждения блока питания и процессора Φ_1''' и Φ_6''' , а также уровень электромагнитного излучения от монитора Φ_2'' .

Определение и сравнение стоимости функций элементов персонального компьютера нетрудно сделать в сопоставимых денежных единицах. В таблице 3.35 приведена сводная ведомость стоимости функций, где базовая стоимость соответствует взятой за основу стандартной конфигурации персонального компьютера по состоянию на декабрь 2002 года. Минимально возможная стоимость элементов персонального компьютера определена по каталогам компьютерных салонов г. Томска.

Таблица 3.35

Сводная ведомость стоимостей функций

Функция	Наименование элементов	Стоимость функции, руб.	
		Минимально возможная	Базовая
Φ_1' , Φ_1'' , Φ_1'''	Корпус системного блока	1 000	2 000
Φ_2' , Φ_2''	Монитор	4 700	5 000
Φ_3	Манипулятор «мышь» с коврик-ком	100 + 15	100 + 15
Φ_4	Клавиатура	200	200
Φ_5	Материнская плата	2 000	4 500
Φ_6' , Φ_6'' , Φ_6'''	Процессор	900	4 500
Φ_7	ОЗУ	600	4 600
Φ_8	Дисковые накопители	2 200	4 700
Φ_9	Видеоадаптер	800	1 900
Φ_{10}	Сетевая плата	200	200

Выявление зон наибольшего сосредоточения затрат начнем с оценки ресурса функций. Ресурс службы элементов персонального компьютера, как

правило, значительно превышает срок его морального старения. Следовательно, производить оценку ресурса функций элементов на основе их срока службы нецелесообразно. Имеет смысл оценить ресурс функций элементов персонального компьютера по избыточности или недостаточности их количественных характеристик в соответствии с выполняемыми задачами.

Функция Φ'_1 связана с мощностью блока питания системного блока. Поскольку в базовой конфигурации выбран корпус с блоком питания мощностью 300 Вт, то избыточность функции Φ'_1 составляет примерно 20 %. Функция Φ''_1 имеет ресурс, соизмеримый с продолжительностью эксплуатации персонального компьютера, при этом избыточности функции не наблюдается.

Учитывая специфику применения персонального компьютера, целесообразно усилить функцию Φ'_2 , т.е. недостаточность функции составляет примерно 15 %.

Эффективная реализация функций Φ_3 и Φ_4 напрямую связана с производительностью труда конструктора РЭС. Существует необходимость в усилении функций Φ_3 и Φ_4 . Недостаточность реализации этих функций составляет примерно 200 % по отношению к ценам более совершенных моделей соответствующих элементов.

Функция Φ_5 имеет на настоящий момент избыточность из-за возможности поддержки памяти типа DDR. Следствием этого является избыточность функции примерно на 50% по отношению к ценам моделей без указанной возможности.

Функции Φ'_6 и Φ''_6 имеют избыточность примерно на 25%. Функция Φ_7 имеет избыточность примерно на 80%. Функция Φ_8 имеет избыточность примерно на 50%. Функция Φ_9 имеет недостаточность, учитывая специфику работы персонального компьютера, которая составляет примерно 100%. Функция Φ_{10} не нуждается в устранении избыточности или недостаточности.

Для выявления зон наибольшего сосредоточения затрат результаты проведенного анализа удобно представить в виде таблицы 3.36, из которой видно, что наибольшие излишние затраты выпадают на долю функции Φ_7 (ОЗУ), а наибольшие недостающие затраты несет функция Φ_9 (видеоадаптер).

На основе таблицы 3.35 составим таблицу 3.37 наибольших разностей (более 50 %) стоимостей функций в порядке убывания.

Таблица 3.36

Доли излишних и недостающих затрат

Обозначение функции	Ресурс функции повышенный (+), пониженный (-) $P_i, \%$	Относительные затраты на вы- полнение функ- ции $Q_i, \%$	Доли излишних (+) или недо- стающих (-) за- трат $R_i, \%$
Φ'_1	+20	7.2	+1.44
Φ'_2	-15	18	-2.7
Φ_3	-200	0.4	-0.8
Φ_4	-200	0.7	-1.4
Φ_5	+50	16	+8
Φ'_6, Φ''_6	+25	16	+4
Φ_7	+80	17	+13.6
Φ_8	+50	17	+8.5
Φ_9	-100	7	-7
Φ_{10}	0	0.7	0

Таблица 3.37

Выявление относительной разницы стоимостей

Функции	Наименование эле- ментов	Относительная разность стоимо- стей, %
Φ_7	ОЗУ	87
Φ'_6, Φ''_6	Процессор	80
Φ_9	Видеоадаптер	58
Φ_5	Материнская плата	56
Φ_8	Дисковые накопители	53

На основании таблиц 3.36, 3.37 можно сделать вывод, что наибольшие затраты сосредоточены при реализации функций Φ_7, Φ_8, Φ_5 . Несмотря на максимальную относительную разницу стоимостей функций Φ'_6, Φ''_6 (80%), доля излишних затрат на их реализацию не является значительной. Это объясняется широким диапазоном стоимостей функций Φ'_6, Φ''_6 , а также незначительной долей избыточности в базовой конфигурации персонального компьютера. Следует обратить внимание на недостающие затраты по реализации функций $\Phi_9, \Phi'_2, \Phi_4, \Phi_3$.

По результатам расчетов, приведенных в таблицах 3.36, 3.37, можно сформулировать задание на усовершенствование базовой конфигурации пер-

сонального компьютера и применение его в составе АРМ конструктора РЭС. Цели усовершенствования конфигурации:

- 1) снижение общей стоимости;
- 2) компенсация недостающих затрат по реализации функций Φ_9 , Φ'_2 , Φ_4 , Φ_3 .

Корпус системного блока следует выбрать с мощностью блока питания 250 Вт и, тем самым, удовлетворить сформулированным критериям развития: массогабаритные показатели и внешняя эстетика. Недостающие затраты на реализацию функции Φ'_2 требуют наличия монитора с большей диагональю, например 17 дюймов.

Доля недостающих затрат на реализацию функций Φ_3 и Φ_4 невелика. Однако, для удовлетворения критерия развития «эргономичность» следует использовать мышь, оборудованную роликом, боковыми кнопками, ковриком с гелевой подушкой под запястье, а также эргономическую клавиатуру с «разломом».

С целью снижения общей стоимости персонального компьютера целесообразно применить материнскую плату без поддержки модулей памяти DDR. Для реализации функции Φ_7 используются более дешевые модули памяти SDRAM объемом 256 МБайт. Реализация функции Φ_8 осуществляется жестким диском с объемом дискового пространства 40 ГБайт.

Недостающие затраты функции Φ_9 целесообразно усилить видеоадаптером с объемом памяти 64 МБайт. Реализация функции Φ_{10} остается без изменения.

В таблице 3.38 приведена сводная ведомость стоимости функций элементов персонального компьютера базовой и улучшенной конфигураций. Результатами проведенного ФСА явилось:

- 1) общее уменьшение стоимости персонального компьютера (около 7 000 руб.);
- 2) удовлетворение недостаточности функций Φ_9 , Φ'_2 , Φ_4 , Φ_3 в соответствии с выдвинутыми требованиями и сформулированными критериями развития;
- 3) особо выгодное соотношение цена/качество для функций Φ'_2 , Φ'_6 , Φ''_6 , Φ_7 .

Более подробно примеры выполнения ФСА можно найти в книге [34].

Сводная ведомость стоимостей функций базовой и улучшенной конфигураций персонального компьютера

Наименование элементов	Стоимость функции, руб.	
	Базовая конфигурация	Улучшенная конфигурация
Корпус системного блока	2 000	1 000
Монитор	5 000	7 000
Манипулятор «мышь» с ковриком	100 + 15	150 + 150
Клавиатура	200	600
Материнская плата	4 500	2 500
Процессор	4 500	1 500
ОЗУ	4 600	1 200
Дисковые накопители	4 700	3 000
Видеоадаптер	1 900	3 000
Сетевая плата	200	200
Итого	27 715	20 300

Дальнейшее развитие ФСА. ФСА, как видно из рабочего плана его проведения, кроме своего основного назначения дает действенные организационные рекомендации для внедрения методов инженерного творчества на предприятиях. Наряду с этими методами необходимо пропагандировать и обучать специалистов использованию подходов ФСА.

Следует отметить, что, несмотря на успешный опыт применения ФСА в прошлом, этот весьма эффективный и перспективный метод пока слабо разработан. В связи с этим укажем некоторые важные направления работ по развитию ФСА и повышению его эффективности.

1. Разработка объектно- и проблемно-ориентированных словарей технических функций, а также межотраслевого словаря технических функций. Такие словари должны создаваться в виде баз данных на CD-ROM с необходимым программным обеспечением.

2. Теоретическая и методическая разработка вопросов определения стоимости функций элементов ТО. Особое внимание следует обратить на создание соответствующих автоматизированных информационно-поисковых систем и баз данных.

3. Теоретическая и методическая разработка вопросов определения зон наибольшего сосредоточения в ТО интересующих затрат. Полезно проводить исследования и разработки с учетом как объектной и проблемной ориентации, так и обобщенного межотраслевого характера.

4. Объединение разработки и внедрения САПР и ФСА, т.е. широкое использование подходов и достижений ФСА в САПР.

5. Разработка организационно-правовых вопросов внедрения ФСА на предприятиях.

3.4.5 Использование теории решения изобретательских задач

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) разработана советским ученым Генрихом Альтшуллером (рисунок 3.15) и получила наиболее широкое распространение в СССР.



Рисунок 3.15 – Генрих Саулович Альтшуллер

Первая работа по ТРИЗ была опубликована в 1956 году [39]. Основная суть ТРИЗ - выявление и использование законов, закономерностей и тенденций развития технических систем.

Опишем подробнее *функции ТРИЗ*:

- решение творческих и изобретательских задач любой сложности и направленности без перебора вариантов;
- решение научных и исследовательских задач;
- выявление проблем и задач при работе с техническими системами и при их развитии;
- выявление и устранение причин брака и аварийных ситуаций;
- максимально эффективное использование ресурсов природы и техники для решения многих проблем;
- прогнозирование развития технических систем и получение перспективных решений (в том числе и принципиально новых);
- объективная оценка решений;
- систематизация знаний любых областей деятельности, позволяющее эффективнее использовать эти знания и на принципиально новой основе развивать конкретные науки;
- развитие творческого воображения и мышления;
- развитие качеств творческой личности;
- развитие творческих коллективов.

В *состав ТРИЗ* (рисунок 3.16) входят:

- законы развития технических систем;
- информационный фонд;

- вепольный анализ (структурный вещественно-полевой анализ) технических систем;
- алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ);
- методы развития творческого воображения.

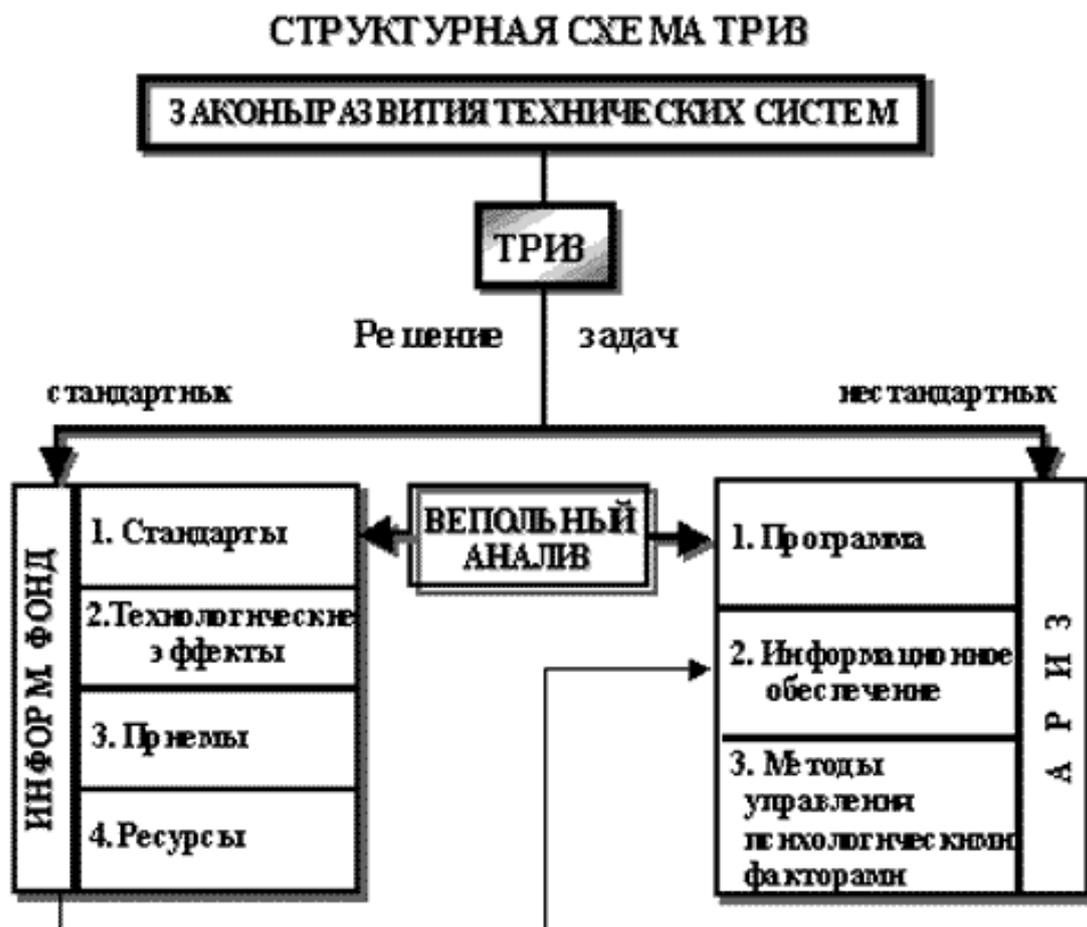


Рисунок 3.16 – Структурная схема ТРИЗ

Информационный фонд состоит из:

- системы стандартов на решение изобретательских задач (типовые решения определенного класса задач);
- технологических эффектов (физических, химических, биологических, математических, в частности, наиболее разработанный из них в настоящее время - геометрический) и таблицы их использования;
- приемов устранения противоречий и таблицы их применения;
- ресурсов природы и техники и способов их использования.

АРИЗ представляет собой программу (последовательность действий) по выявлению и разрешению противоречий, т.е. решению задач. АРИЗ включает: собственно программу, информационное обеспечение, питающееся из информационного фонда (на рисунке 3.16 показано стрелкой), и методы управления психологическими факторами, которые входят составной частью в ме-

тоды развития творческого воображения. Кроме того, в АРИЗ предусмотрены части, предназначенные для выбора задачи и оценки полученного решения.

Вепольный анализ позволяет представить структурную модель исходной технической системы, выявить ее свойства, с помощью специальных правил преобразовать модель задачи, получив тем самым структуру решения, которое устраняет недостатки исходной задачи.

Классификация системы стандартов на решение изобретательских задач и сами стандарты построены на основе вепольного анализа технических систем. Кроме того, он включен в программу АРИЗ (это показано стрелками на рисунке 3.16).

Методы развития творческого воображения [40] позволяют уменьшить психологическую инерцию при решении творческих задач.

Разработаны теории развития творческой личности и творческих коллективов [41]. **Теория развития творческой личности** описывает качества и знакомит с жизненной стратегией творческой личности. **Теория развития творческих коллективов** выявляет и использует законы развития творческих коллективов.

Использование различных элементов ТРИЗ для конкретных функций показано в таблице 3.39. При прогнозировании развития техники, поиске и выборе задач и оценке полученного решения используются система законов развития техники и система стандартов на решение изобретательских задач, вепольный анализ.

Для развития творческого воображения могут использоваться все элементы ТРИЗ, но основной упор делается на методы развития творческого воображения.

Решение изобретательских задач осуществляется с помощью законов развития технических систем, информационного фонда, вепольного анализа, АРИЗ и, частично, с помощью методов развития творческого воображения.

С помощью ТРИЗ решаются известные и неизвестные типы задач. Известные (стандартные) типы изобретательских задач решаются с использованием информационного фонда, а неизвестные (нестандартные) - применением АРИЗ. По мере накопления опыта решения класс известных типов задач пополняется и структурируется.

В настоящее время разработаны **компьютерные программы**, основанные на ТРИЗ, обеспечивающие интеллектуальную помощь инженерам и изобретателям при решении технических задач, а также выявлению и прогнозированию аварийных ситуаций и нежелательных явлений.

Рассмотрим более подробно отдельные разделы ТРИЗ.

Наиболее распространены простейшие **приемы изобретательства**:

- аналогия;
- инверсия;
- эмпатия;
- фантазия.

Таблица 3.39

Функции и структура ТРИЗ

Функции	Структура													
	Законы развития ТС	АРИЗ	Вепольный анализ	ИНФОРМАЦИОННЫЙ ФОНД								Методы развития		
				Стандарты	Технологические эффекты				Приемы	Ресурсы	Творческого воображения	Творческой личности	Творческих коллективов	
					Физический	Химический	Биологический	Математический						
1 Прогнозирование развития ТС	1	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2 Поиск задачи	1	-	2	1	3	3	3	3	4	3	4	-	-	
3 Выбор задачи	2	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4 Решение задачи	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	3	-	-	
5 Оценка решения	1	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6 Развитие творческого воображения	2	-	-	-	-	-	-	-	3	2	1	-	-	
7 Развитие творческой личности	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
8 Развитие творческих коллективов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	

Примечание. В таблице цифрами обозначена очередность применения, что примерно соответствует степени важности этого элемента для данной функции. Знак "-" показывает, что данный элемент для этой функции не используется.

Аналогия. При решении задач идею решения можно получить путем применения известного аналогичного решения, «подсказанного» технической или художественной литературой, увиденного в кино или «подсмотренного» в природе.

Выявлением и использованием «механизмов природы» занимается наука бионика. Она исследует объекты живого и растительного мира и выявляет принципы их действия и конструктивные особенности, с целью применения этих знаний в науке и технике.

Прием **инверсия** или обратная аналогия означает - выполнить что-нибудь наоборот. Для него характерны выражения: перевернуть «вверх нога ми», «вывернуть наизнанку», поменять местами и т.д.

Этот прием означает, что если объект рассматривается снаружи, то можно достичь желаемого результата, если его исследовать изнутри. Если какой-то объект расположен вертикально, то применение инверсии означает, что его ставят горизонтально - и наоборот. Инверсия предполагает возможную замену подвижной части неподвижной, отказ от симметрии в пользу асимметрии, переход от растяжения к сжатию. Инверсные понятия - приемник и передатчик, модулятор и демодулятор, электрогенератор и электродвигатель.

Эмпатия - это отождествление себя с личностью другого. Иногда об этом действии говорят «войти в шкуру другого», то есть поставить себя на место другого. Таким приемом часто пользуются артисты, писатели, художники и т.п. Подобным образом можно использовать этот прием при разработке объекта.

Проектировщик отождествляет себя с разрабатываемым объектом, процессом, деталью. Применение приема заключается в том, чтобы человек, посмотрел с позиции детали (с «ее точки зрения»), что можно сделать для устранения недостатков или для выполнения новых функций.

Прием **фантазия** связан с желанием получить то, чего желаешь. Использование фантазии для стимулирования новых идей заключается в размышлении над некоторыми фантастическими решениями, в которых при необходимости используются нереальные вещи или сверхъестественные процессы. Часто бывает полезно рассматривать идеальные решения, даже если это сопряжено с некоторой долей фантазии. Размышления о желаемом могут натолкнуть на новую идею или точку зрения, которая, в конечном счете, приведет к новому, осуществимому решению.

Примеры использования приема «фантазия».

1. Человек возвращается домой поздно вечером и в темноте начинает искать руками на стене выключатель. Проблема решается просто, если воспользоваться устройством, предложенным швейцарскими инженерами [42]. В темной комнате достаточно хлопнуть два раза в ладоши, чтобы зажегся свет. При этом вспыхивает не люстра, а сигнальная лампочка, обозначающая расположение выключателя. Это устройство питается от автономной батареи с

напряжением 1.5 вольта. Сегодня оно получает применение в квартирах, но создано было как аварийное средство - для включения света в операционных, научных лабораториях и цехах при неожиданных повреждениях электрической сети. Появилось много игрушек, которые начинают действовать от хлопка, например, петь и танцевать.

2. Фирма IBM выпустила компьютер, который можно диагностировать и ремонтировать на расстоянии. Такой компьютер содержит радиоприемник и радиопередатчик. Если компьютер вышел из строя, хозяин компьютера связывается с фирмой IBM. Они тестируют компьютер, связываясь с ним по радио. У изготовителя имеется эталонная модель такого компьютера. Данные неисправного и эталонного компьютеров сравниваются. По радио неисправному компьютеру выдаются команды, что нужно сделать для устранения неисправности. Все операции выполняются автоматически без участия человека.

Природа, различные области знания, деятельности, мышления и любые объекты материального мира, в том числе и техника, развиваются по своим определенным законам. Но существуют и некоторые общие законы развития, появившиеся вследствие единства материального мира. Самые общие из них - законы диалектики.

Техника развивается в тесном взаимодействии с общественным развитием и экосферой, вследствие чего наблюдаются значительное проникновение и обогащение законов развития общества, природы и техники. Развитие техники во многом зависит от потребностей общества и влияет на развитие природы [43].

В общем, виде система законов техники должна иметь уровни *потребностей, функций и систем* [44]. Схематично это изображено на рисунке 3.17.

Уровни законов	Законы развития систем
Потребностей	Законы развития потребностей
Функций	Законы изменения функций
Систем	Законы развития систем

Рисунок 3.17 – Система законов техники

Закономерности развития потребностей определяют тенденции их изменения. Это необходимо для определения функций и систем, с помощью которых можно удовлетворить возрастающие потребности.

Закономерности развития функций связаны с закономерностями развития потребностей, но имеют и свою специфику, например, переход систем к многофункциональности (универсальности) или, наоборот, к однофункциональности (специализации).

Собственно **законы развития технических систем** можно разделить на две группы (рисунок 3.18):

- **законы организации систем** (определяющие жизнеспособность системы);
- **законы эволюции систем** (определяющие развитие технических систем).



Рисунок 3.18 – Законы развития технических систем

К основным понятиям АРИЗ относятся: **противоречия и идеальный конечный результат (ИКР)**.

Различные технические средства создавались и создаются для удовлетворения тех или иных потребностей человека. Потребности растут значительно быстрее возможностей их удовлетворения, что и является своего рода источником технического прогресса.

Проектирование новых объектов чаще всего подразумевает улучшение тех или иных технических параметров системы. Сложные изобретательские задачи (неизвестных типов) требуют нетривиального подхода, так как улучшение одних параметров системы приводит к недопустимому ухудшению других параметров. Возникают противоречия.

Решение задач по АРИЗ представляет собой последовательность по выявлению и разрешению противоречий, причин, породивших данные противоречия и устранению их использованием информационного фонда. Так определяются причинно-следственные связи, суть которых - углубление и обострение противоречий.

Для этого в АРИЗ рассматриваются три вида противоречий: **поверхностное, углубленное и обостренное**.

Поверхностное противоречие - противоречие между потребностью и возможностью ее удовлетворения. Его достаточно легко выявить. Оно часто задается заказчиком и формулируется в виде: «Надо выполнить нечто, а как неизвестно», «Некоторый параметр системы плохой, нужно его улучшить», «Нужно устранить некий недостаток, но не известно как», «Имеется брак в производстве изделий, а причина его не известна».

Таким образом, поверхностное противоречие выражается в виде нежелательного эффекта - что-то плохо, или необходимо создать что-то новое неизвестно каким образом.

Пример поверхностного противоречия. Перед конструкторским бюро А.Н.Туполева была поставлена задача создания к концу 50-х годов нового пассажирского самолета на 170 мест с большой дальностью полета. Для этого потребовалось авиадвигатели суммарной мощностью 50 000 л.с. У самого мощного из имеющихся в СССР двигателей было всего 6 000 л.с. Это типичное поверхностное противоречие.

Углубленное противоречие - это противоречие между определенными частями, качествами или параметрами системы. Углубленное противоречие возникает при улучшении одних частей (качеств или параметров) системы за счет недопустимого ухудшения других. Оно представляет собой причину возникновения поверхностного противоречия, углубляя его. В глубине одного поверхностного противоречия, чаще всего, лежит несколько углубленных противоречий.

При решении технических задач изменяют технические характеристики объекта, поэтому Г. Альтшуллер углубленное противоречие назвал техническим противоречием.

Техническое противоречие возникает в результате диспропорции развития различных частей (параметров) системы. При значительных количественных изменениях одной из частей (параметров) системы и резком «отставании» другой (других) ее частей возникают ситуации, когда количественные изменения одной из сторон системы вступают в противоречие с другими. Разрешение такого противоречия часто требует качественного изменения этой технической системы. В этом и проявляется закон перехода количественных изменений в качественные.

Пример технического противоречия. Обычно проводники в интегральных микросхемах делают из золота, имеющего малое удельное сопротивление току, но недопустимо плохую адгезию с материалом подложки. Возникает углубленное противоречие между электропроводностью и адгезией [45].

Обостренное противоречие - предъявление диаметрально противоположных свойств (например, физических) к определенной части технической системы. Оно необходимо для определения причин, породивших углубленное противоречие, т.е. является дальнейшим его углублением. Уточнение (углубление) противоречий может продолжаться и дальше для выявления перво-

причины. Для человека, незнакомого с АРИЗ, формулировка обостренного противоречия звучит непривычно - некоторая часть технической системы должна находиться сразу в двух взаимоисключающих состояниях: быть холодной и горячей, подвижной и неподвижной, длинной и короткой, гибкой и жесткой, электропроводной и неэлектропроводной и т.д.

Примеры обостренных противоречий.

1. Чтобы проводник в интегральной микросхеме имел малое сопротивление, он должен быть выполнен из золота, а чтобы проводник имел хорошую адгезию с подложкой, он должен быть из другого материала. Более короткое обостренное противоречие можно сформулировать следующим образом: материал проводника должен быть из золота и не из золота. Типичное разрешение такого обостренного противоречия - использование «посредника».

Решение данной задачи заключается в нанесении подслоя, имеющего хорошую адгезию с подложкой и с золотом, а затем на него напыляют золото. В качестве подслоя берут никель или титан.

2. Для питания многих радиотехнических устройств используется промышленная сеть переменного тока, хотя большинство блоков радиотехнических устройств, например, усилитель, генератор и другие нуждаются в постоянном питающем напряжении. По этой причине на входе усилителя необходим элемент, имеющий противоречивые физические свойства. Он должен быть проводящим для положительной полуволны синусоидального тока и непроводящим для отрицательной, чтобы обеспечить усилитель однополярным питающим напряжением. Данное обостренное противоречие разрешается за счет выпрямителя, выполненного на диодах, обладающих указанными физическими свойствами и реализующих функцию преобразования переменного тока в постоянный.

Следует подчеркнуть, что в отличие от углубленного (технического) противоречия, принадлежащего всей системе, обостренное (физическое) - относится только к определенной ее части.

Таким образом, рассмотренные три вида противоречий образуют цепочку: поверхностное противоречие - углубленное противоречие - обостренное противоречие, которая определяет причинно-следственные связи в исследуемой технической системе.

Пример. Неидеальность ключевых свойств мощных транзисторов и диодов являются причиной потерь электрической энергии, которая разогревает полупроводниковый прибор, ухудшая тепловой режим его работы. Сформулируем поверхностное противоречие: «Необходимо улучшить тепловой режим транзисторного (диодного) ключа в радиоаппаратуре, в которую он устанавливается». Или: «Необходимо исключить перегрев силового транзистора в усилителе радиоприемника». В первой формулировке поверхностное противоречие указывает какое качество нужно улучшить, а во второй – указан нежелательный эффект - перегрев транзистора. Устранение поверх-

ностного противоречия может осуществляться за счет создания нового транзистора или применения радиатора, который улучшает тепловой режим работы транзистора, но увеличивает габариты радиоаппаратуры.

Углубленное противоречие заключается между температурой и габаритами или потерями энергии (мощности) и габаритами. Улучшение теплоотвода приводит к необходимости увеличения площади радиатора, а снижение габаритов радиоаппаратуры требует уменьшения площади радиатора.

Обостренное противоречие: площадь радиатора должна быть большой, чтобы улучшить отвод тепла, и малой, чтобы радиоаппаратура была малых габаритов.

Такое противоречие можно, например, разрешить путем изменения структуры. На радиаторе делают ребра. Общая площадь радиатора остается такой же или больше, а габариты аппаратуры не увеличиваются и даже могут быть уменьшены.

Можно представить идеал разрабатываемого устройства - идеальное устройство - идеальный конечный результат (ИКР). Идеальная техническая система - это система, которой нет, а ее функции выполняются, т.е. цели достигаются без средств. ИКР - маяк, к которому следует стремиться при решении задачи. Близость полученного решения к идеальному определяет уровень и качество решения (см. рисунок 3.4).

Основная особенность состоит в том, что «идеальное устройство» должно появляться только в тот момент, когда необходимо выполнять полезную работу, причем в это время оно несет 100% расчетную нагрузку.

Вторая особенность «идеального устройства» в том, что его вообще нет, а работа, которую оно должно выполнять, производится как бы сама собой.

Стремление к идеалу - общая тенденция развития технических систем.

Пример. Определим ИКР радиатора (теплоотвода) - отсутствующий радиатор, обеспечивающий полный отвод тепла от транзистора. Радиатора не должно быть, а тепло должно отводиться самим транзистором, либо радиатор должен появляться только при начинающемся перегреве транзистора, либо радиатор должен быть вынесен за пределы данной радиоаппаратуры, либо роль радиатора должен выполнять какой-то другой элемент. Таким образом, задаются направления решения. В первом направлении следует идти по пути создания транзистора без потерь энергии, чтобы не вставала задача отвода тепла. Это направление самое трудное и, как правило, для разработки радиоаппаратуры не пригодное. Вполне приемлемо второе направление, поскольку можно создать теплопроводник с лепестками из никелида титана (нитинола) - материала, обладающего эффектом памяти формы. При нормальной температуре лепестки прижаты к транзистору, а при повышении температуры за пределы допустимой, они отгибаются, увеличивая площадь теплоотвода. Вынесение теплоотвода за пределы радиоаппаратуры - третье направление - реализуется путем размещения радиатора вместе с транзистором на наружной стенке блока, как это сделано в измерительных приборах: цифровых вольт-

метрах и частотомерах. Можно использовать тепловую трубу, позволяющую отвести локально выделяемое тепло на значительное расстояние от его источника. Использование имеющихся в блоке элементов для отвода тепла (четвертое направление) - решение аналогичное радиоэлектронному модулю, содержащему кроме теплонагруженных полупроводниковых приборов, элементы с теплопроводными корпусами, например, электромагнитное реле, выполняющие свои функции. Для сокращения габаритов модуля реле расположены в два ряда, а между рядами размещены теплонагруженные элементы с возможностью теплового контакта с теплопроводными корпусами реле.

В некоторых случаях можно говорить и об идеальной форме. Идеальная форма - обеспечивает максимум полезного эффекта, например, прочность при минимуме используемого материала.

Идеальный процесс - получение результатов без процесса, то есть мгновенно. Сокращение процесса изготовления изделий - цель любой прогрессивной технологии.

Идеальное решение получить почти невозможно. ИКР - это эталон, к которому следует стремиться. Близость полученного решения к ИКР и определяет качество решения. Сравнивая реальное решение с ИКР, определяются противоречия. Таким образом, ИКР - инструмент, необходимый для выявления противоречий и для оценки качества решения.

Рассмотрев основные понятия АРИЗ - ИКР, углубленное и обостренное противоречия - можно представить этапы точной формулировки технической задачи. С точки зрения АРИЗ задача точно сформулирована, когда выявлены:

- 1) поверхностное противоречие;
- 2) углубленное противоречие;
- 3) идеальный конечный результат;
- 4) обостренное противоречие.

Для формулировки всех ее звеньев выявляют, чем не устраивает заказчика данная система (поверхностное противоречие), что в ней плохого (нежелательный эффект), какие надо предъявить к системе требования. В результате определяется углубленное противоречие.

Затем систему представляют таким образом, что в ней отсутствует нежелательный эффект, но сохраняются имеющиеся положительные качества. Результатом такого представления системы является формулировка ИКР. После сравнения существующей ситуации и ИКР выявляют помехи к достижению идеального результата, выявляют причины возникновения помех и определяют противоречивые свойства, предъявляемые к определенной части системы (оперативной зоны), не удовлетворяющие требованиям ИКР. Таким образом формулируется обостренное противоречие, которое представляет собой точную формулировку задачи.

Приведенная последовательность характерна для основных модификаций АРИЗ. Развитие АРИЗ идет в направлении формализации и детализации

описанной последовательности, углубленного использования законов развития технических систем и информационного фонда.

Пример. Имеется мощная радиолокационная станция (РЛС) с массивной антенной большой площади. Антенна закреплена на валу, но поворачивается на нем очень редко и потому не имеет привода, а разворачивается вручную. После разворота антенна на валу крепится с помощью фиксирующего устройства и болтового соединения. Усилия для удержания массивной антенны на валу нужны значительные и поэтому приходится болты затягивать достаточно сильно, но из-за сильной затяжки вал деформируется и повернуть его в следующий раз становится практически невозможным.

Поверхностное противоречие практически уже сформулировано при описании исходной ситуации: нужен фиксирующий элемент, исключаящий деформацию вала антенны. Нежелательный эффект - деформация вала. Углубленное противоречие - фиксация вала приводит к его деформации. Идеальный конечный результат - вал должен фиксироваться, но не деформироваться. Обостренное противоречие - фиксирующий элемент должен быть твердым, чтобы фиксировать и мягким, чтобы не деформировать.

Решение - вал удерживается в легкоплавком веществе, которое расплавляется при развороте. В изобретении предложили на конце вала сделать поплавок. Тогда в расплавленном состоянии жидкость будет поддерживать антенну и ее будет легче выставлять в новое положение.

Логическая схема решения задач по АРИЗ показана на рисунке 3.19.

Поверхностное противоречие (ПП) формулируется либо в виде потребности в появлении нового свойства (действия) «**А**» (*положительного эффекта*), либо в виде *нежелательного эффекта* (НЭ) («**анти-В**»), который необходимо устранить. Поверхностное противоречие чаще всего выражается в виде нежелательного эффекта, т.е. параметр или требование «**В**» в нежелательном, вредном или недостаточном состоянии обозначается как «**анти-В**».

Для определения углубленного противоречия (УП) выявляются два противоречивых требования, предъявляемых к системе. Обозначим эти требования буквами «**А**» и «**В**». Тогда углубленное противоречие может быть представлено как потребность в улучшении характеристик, удовлетворяющих требованию «**А**», которое приводит к недопустимому ухудшению характеристик, удовлетворяющих требованию «**В**» (появление требования «**анти-В**»). Нежелательный эффект заключается в требованиях «**В**». Или наоборот - улучшение «**В**» за счет ухудшения **А** (появления «**анти-А**»).

Формулировка идеального конечного результата (ИКР) должна быть направлена на устранение нежелательного эффекта («**анти-В**») при сохранении положительных требований «**А**».

Обостренное противоречие определяется путем выявления противоречивых свойств «**С**» и «**анти-С**» (например, физических), которыми должен обладать элемент системы, не справляющийся с требованиями ИКР. Для этого необходимо определить, каким свойством «**С**» должен обладать элемент,

чтобы обеспечить требование «В», т.е. чтобы устранить нежелательный эффект. Одновременно этот же элемент должен обладать противоположным свойством («анти-С»), чтобы сохранить положительное требование «А». Таким образом, элемент должен обладать свойством «С», чтобы удовлетворить требованию «В», (обозначим это «С-->В») и свойством «анти-С», чтобы сохранить требование А (обозначим это «анти-С-->А»).

Дальнейшее обострение противоречий осуществляется выявлением более глубинных свойств «С₁», которые необходимы для создания (обеспечения) выявленных ранее свойств «С».

В некоторых случаях при решении сложных изобретательских задач, необходимо выявить еще более глубокие причинно-следственные связи в системе. Для этого приходится выявлять глубинные свойства С₁, С₂, ...С_n. Следующее по номеру свойство определяет причину возникновения предыдущего свойства, т.е. что необходимо для выполнения этого свойства.

В таких случаях выявляют несколько обостренных противоречий (ОП) (ОП₁, ОП₂, ОП₃ ...ОП_n).

Решение задачи (РЗ) состоит в разрешении обостренного противоречия, например, путем разделения противоречивых свойств С₁, С₂, ...С_n.

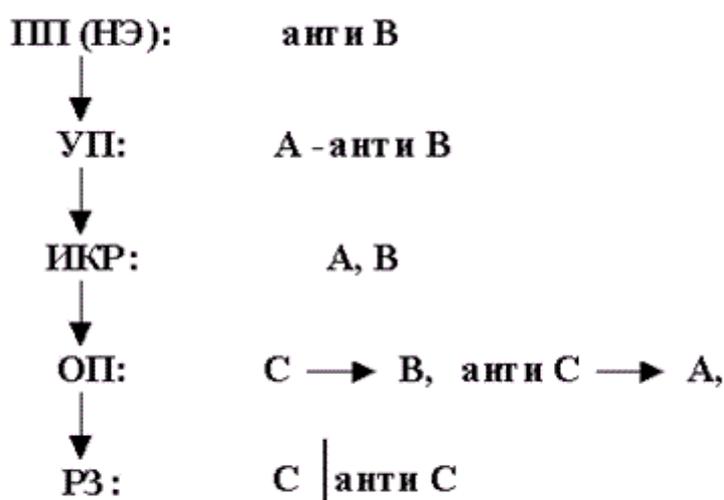


Рисунок 3.19 – Логическая схема АРИЗ

Основа основ методики состоит в последовательном определении углубленного противоречия, идеального конечного решения и обостренного противоречия.

Пример. Для создания нормальных условий жизнедеятельности экипажа кабина самолета выполняется герметичной. На случай ее разгерметизации самолет снабжается определенным запасом кислорода, который под давлени-

ем накачивается в тяжелые стальные баллоны. Таких баллонов требуется несколько десятков. Как быть?

Сформулируем для данной задачи цепочку противоречий и разберем логику АРИЗ.

1. Поверхностное противоречие

Сформулируем для данной задачи два поверхностных противоречия:

ПП₁ – «Нужно обеспечить жизнедеятельность экипажа в разгерметизированной кабине самолета». Нежелательный эффект – «анти-А» (при разгерметизации кабины самолета не обеспечивается жизнедеятельность). Требование «А» - обеспечение жизнедеятельности экипажа.

ПП₂: «Стальные баллоны с запасом кислорода утяжеляют самолет («анти-В»)). Требование «В» - обеспечение постоянной массы самолета или ее уменьшение.

2. Углубленное противоречие

Баллоны с кислородом обеспечивают жизнедеятельность экипажа, но утяжеляют самолет. Углубленное противоречие здесь между жизнедеятельностью (требование «А») и массой (требование «В») самолета. Утяжеление – «анти-В».

3. Идеальный конечный результат

Баллоны не утяжеляют (В) самолет, обеспечивая нормальную жизнедеятельность (А) экипажа.

4. Обостренное противоречие

Масса баллонов должна быть большой (свойство «С»), чтобы обеспечить жизнедеятельность экипажа («А»), и малой («анти-С»), чтобы не утяжелять («В») самолет.

5. Обостренное противоречие 1

Это противоречие можно еще больше обострить, выявляя первопричины. Почему баллоны тяжелые? У них толстые стенки, чтобы выдержать высокое давление, под которым закачивается газ. Итак, ОП₁: стенки баллона должны быть толстые («С₁») чтобы удерживать газ под высоким давлением, и должны быть тонкие («анти-С₁») (в пределе нулевые), чтобы быть невесомыми. Таким образом, стенки у баллона должны быть и не должны быть. Можно это противоречие сформулировать и для кислорода. Кислород должен быть под большим давлением, чтобы больше поместиться в баллоне, и не должен быть под давлением, чтобы не делать баллон толстостенным и, соответственно, тяжелым.

6. Решение задачи

Такое противоречие разрешается изменением структуры системы, например, изменением агрегатного состояния. В данном случае изменяем агрегатное состояние кислорода. Кислород должен быть жидким. Известно, что жидкие газы хранятся, например, в сосуде Дьюара. Такое решение предложил

А.Н.Туполев. Это решение позволило во много раз снизить массу и объем системы жизнеобеспечения.

Уточним в этой задаче понятия поверхностного, углубленного и обостренного противоречий и причинно-следственные связи между ними.

ПП₁ относится к жизнедеятельности экипажа самолета при его разгерметизации. Такая задача может решаться любыми путями, даже без использования кислорода. Например, можно использовать принцип самозаклеивания шин. Это противоречие сформулировано для всей кабины.

ПП₂ выражено в виде нежелательного эффекта и относится только к баллонам. Здесь уже выбран способ обеспечения жизнеспособности экипажа с помощью кислорода. Так как способ выбран (а это прерогатива заказчика), то и недостаток определяется более локально.

В углубленном противоречии поле поиска сужается: уже рассматриваются не все баллоны, а только один (все остальные подобны). Кроме нежелательного эффекта (утяжеление самолета), указывается положительные свойства (обеспечение жизнеспособности).

В обостренном противоречии идет дальнейшее сужение зоны поиска: рассматривается не весь баллон, а только его стенки (еще более точно - толщина стенок) и выявляются диаметрально противоположные свойства, предъявляемые к стенкам.

Таким образом, анализ задач по АРИЗ постепенно сужает поле поиска и выявляет диаметрально противоположные свойства, например, физические.

Обостренное противоречие - своего рода неравенство: толщина стенки h должна быть больше номинальной h_0 и меньше минимальной h_{min} . Еще лучше $h_{min} = 0$:

$$(0 = h_{min}) > h > h_0$$

Изобразим для наглядности эти неравенства на рисунке 3.20.

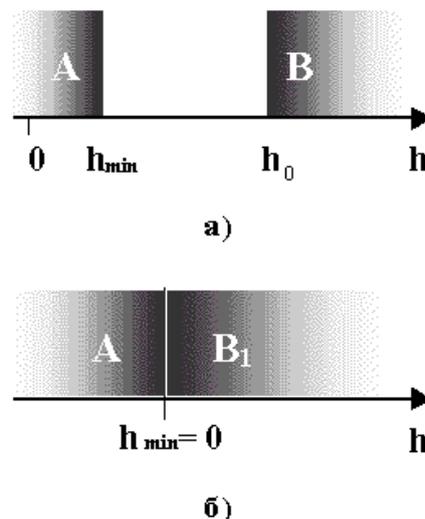


Рисунок 3.20 – Обостренное противоречие «стенки баллона толстые и тонкие»

Формулировка углубленного противоречия требует, чтобы h была одновременно в зоне «А» и в зоне «В», что исходя из графиков невозможно (рисунк 3.20, а), или возможно (рисунк 3.20, б) в точке $h = 0$, где области «А» и «В₁» сопряжены, но области «А» и «В» никогда не бывают перекрещивающимися.

Решение задачи во многом зависит от ее первоначальной постановки. Иногда задачу ставят достаточно кратко, излагая сущность технической системы или процесса, четко выделяя достоинства и недостатки или нежелательный эффект, например, в виде поверхностного противоречия: надо устранить вредное действие (свойство) или получить полезное действие (свойство), которого не хватает. Часто при постановке задачи не только отсутствуют достоинства и недостатки, но и дается указание о неверном направлении решения. Такая постановка задачи обладает неопределенностью формулировки, и в ТРИЗ получила название изобретательской ситуации.

Существует специальная методика превращения исходной ситуации в комплекс задач. Суть этой методики следующая:

1. Составляется функциональная цепочка всех имеющихся в системе (включая надсистему и внешнюю среду) элементов и их воздействий друг на друга.

2. Выявляются вредные, ненужные и лишние взаимодействия.

3. Используя оператор отрицания, получают список задач недопущения или устранения вредных действий, а также сокращения или полного исключения ненужных или лишних операций.

Ситуация в АРИЗ переводится в максимальную (макси-) или минимальную (мини-) задачи.

Схема макси-задачи: требуется принципиально новая техническая система для какой-либо цели. У мини-задачи другая цель: необходимо сохранить существующую систему, но обеспечить недостающее полезное действие или убрать имеющееся вредное свойство. В обоих случаях суть должна излагаться просто и ясно, чтобы все было понятно неспециалисту. Если задача понятна школьнику, то это значит, что ее понимает и сам заказчик.

Мини-задача имеет ряд особенностей:

- «мини» не означает размеры задачи. При решении мини-задачи надо получить результат при минимальных изменениях имеющейся технической системы. Чаще всего решить мини-задачу оказывается труднее макси-задачи из-за дополнительных ограничений в формулировке задачи;

- из одной и той же ситуации имеется возможность получить несколько разных мини-задач;

- мини-задача должна быть сформулирована без специальных терминов (спецтерминов). Применение спецтерминов наводит на использование определенных элементов в технической системе или определенной технологии, характерной для данного термина. Спецтермины следует заменять общеупо-

требительным (более общим) понятием, охватывающим более широкий класс систем (элементов) и явлений, выполняющих ту же функцию.

В качестве примера спецтермина можно назвать «радиатор» - обычно это металлическая пластина с ребрами. Более общим понятием является «теплоотвод» - устройство для отвода тепла: радиатор, термоэлемент, вентилятор, корпус конструкции и т.п. Название операции «пайка» следует заменить на термин механическое соединение двух деталей с электрическим контактом или без электрического (при необходимости) контакта. Вместо пайки можно использовать клеевое соединение, сварку, навивку, винтовое соединение и т.п.

Сформулировав макси- или мини-задачу, не всегда можно выйти на изобретательскую задачу. Существуют тупиковые формулировки, полученные неверным истолкованием исходной ситуации. В этих случаях после ряда безуспешных попыток решить задачу выясняется, что для достижения цели необходимо было выбрать совсем другое направление в решении (формулировка задачи должна быть другой). Иногда сама цель в ходе решения полностью меняется. По этой причине нельзя безоговорочно доверять условиям задачи, поскольку правильно сформулированных изобретательских задач не бывает. Если изобретательская задача сформулирована абсолютно правильно (идеально), то она перестает быть задачей: ее решение становится очевидным или же будет ясно, что задача не поддается решению при имеющемся уровне науки и техники.

Таким образом, основная линия решения задачи по АРИЗ характеризуется тем, что неопределенность, имеющая место в изначальной ситуации, уменьшается постепенно шаг за шагом. В то же время далеко не всегда из сформулированной изобретательской ситуации ясно, какую часть рассматриваемой системы необходимо анализировать.

Для этого в АРИЗ имеются следующие рекомендации. В первую очередь необходимо выявить место возникновения конфликта в технической системе, наличие которого констатируется в виде углубленного противоречия. Конфликт может быть между частями технической системы или ее свойствами. Иногда возникает «межранговый» конфликт: системы с надсистемой или системы с подсистемой. Появление конфликта возможно только при воздействии не менее двух элементов, которые называются конфликтующей парой.

Конфликтующая пара - это два элемента, две системы, между которыми происходит конфликт - нежелательный эффект. В изобретательской ситуации, как правило, несколько (минимум одна) конфликтующих пар и ряд углубленных противоречий. Выбор одной пары и одного углубленного противоречия соответствует переходу от изобретательской ситуации к задаче. Конфликтующая пара вместе с углубленным противоречием образует модель задачи.

Модель задачи - это мысленная, условная схема задачи, отражающая структуру конфликта в системе. Один из элементов конфликтующей пары яв-

ляется главным объектом рассмотрения и его называют изделием или объектом, а второй элемент - инструментом.

Инструмент - элемент технической системы, который по условиям задачи надо обработать (изготовить, переместить, изменить, улучшить, защитить от вредного воздействия, обнаружить, проконтролировать, измерить и т.д.). К изделию можно отнести обрабатываемую деталь; ЭРЭ, у которого измеряют параметры; обнаруживаемое электромагнитное поле и т.п. В задачах на обнаружение и измерение изделием может оказаться элемент, являющийся по своей основной (рабочей) функции инструментом.

Инструмент - элемент, с которым непосредственно взаимодействует изделие (резец, а не весь токарный станок; паяющий стержень (жало), а не паяльник; волна припоя при пайке волной; раскаленный газ в газовой горелке или паяльнике; пучок электронов или лазерный луч при электронно-лучевой или лазерной сварке, соответственно). В частности, инструментом может быть окружающая среда, например, климатические воздействия на изделие - влага, туман, температура, давление. Иногда к инструменту относятся стандартные детали, используемые для сборки изделия: функциональные модули, микромодули, интегральные микросхемы - инструмент для создания различных блоков радиоаппаратуры. При выборе конфликтующей пары нередко возникают затруднения.

Операцию выбора конфликтующей пары не всегда можно легко выполнить. В более сложных случаях первоначально нужно выбрать изделие, нежелательный эффект и, если это возможно, желаемый результат, который нужно получить. Бывают случаи, когда трудно однозначно выбрать инструмент, особенно если их несколько. Для выбора инструмента следует построить таблицу взаимодействий элементов (рисунок 3.21).

Элементы	1	2	3	...	n
1					
2					
3					
⋮					
⋮					
n					

Рисунок 3.21 – Таблица взаимодействия элементов

В таблице буквой n обозначено количество рассматриваемых элементов в задаче. В таблице можно рассматривать или верхнюю или нижнюю половину (относительно диагонали), так как прямое и обратное взаимодействия, как правило, одинаковы.

Рассмотрим правила выбора конфликтующих пар. **Первое правило** - пара должна состоять из изделия и инструмента. Если это правило не выявило одну конфликтующую пару, то следует использовать **второе правило** - долж-

на рассматриваться пара, в которой элементы выполняют полезную функцию (желаемый результат). Иногда следует рассмотреть пару связанную с нежелательным эффектом.

Рассмотрим еще одно понятие АРИЗ – *оперативный параметр*. Оперативные параметры системы - параметры, которые следует изменить (или легче всего меняются) для решения задачи. В качестве этих параметров могут быть части системы, физические величины, экономические, эстетические и эксплуатационные параметры. Наиболее часто используются оперативная зона и оперативное время.

Оперативная зона - пространство, в котором происходит конфликт. Она может рассматриваться достаточно широко, включая в себя полностью изделие и инструмент, часть надсистемы и окружающей среды. Менее широкое рассмотрение - только конфликтующая пара. Узкое рассмотрение - место взаимодействия инструмента с изделием. Целесообразность выбора широкой или узкой зоны определяется при решении конкретной задачи.

В выборе широкой или узкой оперативной зоны имеется свое противоречие. Если зона выбрана очень узко, то это может привести к самой точной формулировке обостренного противоречия, в случае если зона выбрана правильно, и к уводу от основного противоречия или незамечанию других противоречий, в случае если зона выбрана не правильно. Если зона выбрана очень широко, то невозможно уйти из зоны конфликта (или конфликтов) - обнаруживается куст противоречий, но не выявляется главное противоречие, следовательно, нельзя сформулировать его точно.

Целесообразно выбирать более широкую оперативную зону, а затем в процессе решения и уточнения задачи ее сужать. Возможно для этого придется несколько раз решать задачу, но при этом не будет упущено главное противоречие и выявятся сопутствующие трудности. Обязательными элементами зоны должны быть изделие и инструмент.

Оперативное время - время, в которое совершается конфликтующее действие. Для разрешения конфликта может быть использовано время до конфликта (предварительная подготовка) или время после совершения конфликта (время исправления конфликта). Идеальнее использовать время до конфликта, тогда конфликт не возникнет, и не нужно будет терять время на его устранение.

Структурный вещественно-полевой (вепольный) анализ - раздел ТРИЗ, изучающий и преобразующий структуру технических систем [46]. Статистический анализ технических решений показал, что для повышения эффективности технических систем их структура должна быть выполнена определенной. Модель такой структуры называется веполем.

Веполь - минимально управляемая техническая система, состоящая из двух взаимодействующих объектов и энергии их взаимодействия. Взаимодействующие объекты условно названы *веществами* и обозначаются V_1 и V_2 , а энергия взаимодействия *полем* и обозначается П.

Веполь изображается схемой (рисунок 3.22):

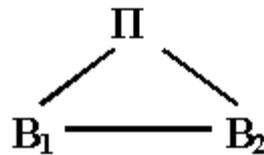


Рисунок 3.22 – Веполь

Термин ВеПоль произошел от слов «Вещество» и «Поле».

Вепольный анализ включает в себя определенные правила и тенденции.

Если V_1 - изделие, V_2 - инструмент, «обрабатывающий» изделие V_1 , а Π - поле (энергия, сообщаемая инструменту), то веполь будет иметь вид (рисунок 3.23):

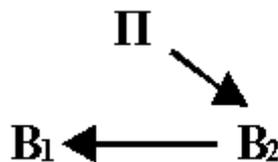


Рисунок 3.23 – Веполь «изделие-инструмент-поле»

Пример. Генератор электрического тока (V) преобразует вращательное поле (Π_1) механических сил, которое может быть изображено как ($\Pi_{\text{мех}}$), в электрическое поле (Π_2) или ($\Pi_{\text{эл}}$). Веполь будет иметь вид (рисунок 3.24):

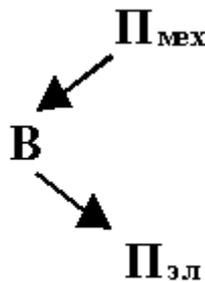


Рисунок 3.24- Веполь с преобразованием механической энергии в электрическую

Пример. Трансформатор (V) преобразует переменное электрическое напряжение одного уровня (Π_1) в переменное электрическое напряжение другого уровня (Π_2). В связи с тем, что вид поля качественно не меняется, поля можно изобразить как Π' , Π'' , тогда схему веполя можно представить в виде (рисунок 3.25):

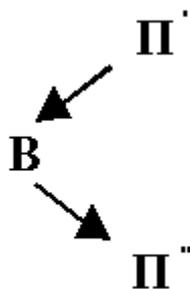


Рисунок 3.25 – Веполь с преобразованием электрического напряжения

Структура АРИЗ. АРИЗ - пошаговая программа для анализа и решения изобретательских задач. Первая модификация появилась в 1959 году (АРИЗ-59) [39]. Имелись модификации АРИЗ-61, АРИЗ-71, АРИЗ-77, АРИЗ-82, АРИЗ-85-В [19, 20, 47-51]. Основная линия решения задач по АРИЗ была рассмотрена выше. Последние модификации АРИЗ включали три основные компоненты (см. рисунок 3.16): программу, информационное обеспечение и методы управления психологическими факторами.

1. **Программа АРИЗ** представляет собой последовательность операций по: выявлению и разрешению противоречий; анализу исходной ситуации и выбору задачи для решения; синтезу решения; анализу полученных решений и выбору наилучшего из них; развитию полученных решений; накоплению наилучших решений и обобщению этого материала для улучшения способа решения других задач. Структура программы и правила ее выполнения базируются на законах и закономерностях развития техники.

2. **Информационное обеспечение** питается из информационного фонда, который включает систему стандартов на решение изобретательских задач; технологические эффекты; приемы устранения противоречий; способы применения ресурсов природы и техники.

3. **Методы управления психологическими факторами** необходимы вследствие того, что программа АРИЗ предназначена не для компьютера, и задачи решаются не автоматически, а с помощью человека. Поэтому у пользователя часто возникает психологическая инерция, которой необходимо управлять. Кроме того, эти методы позволяют развить творческое воображение, которое необходимо для решения сложных изобретательских задач.

Рассмотрим структуру модификации АРИЗ-85-В. Текст алгоритма снабжен комплексом правил, пояснений и примеров, которые хотя и увеличивают объем методики, но зато упрощают ее использование.

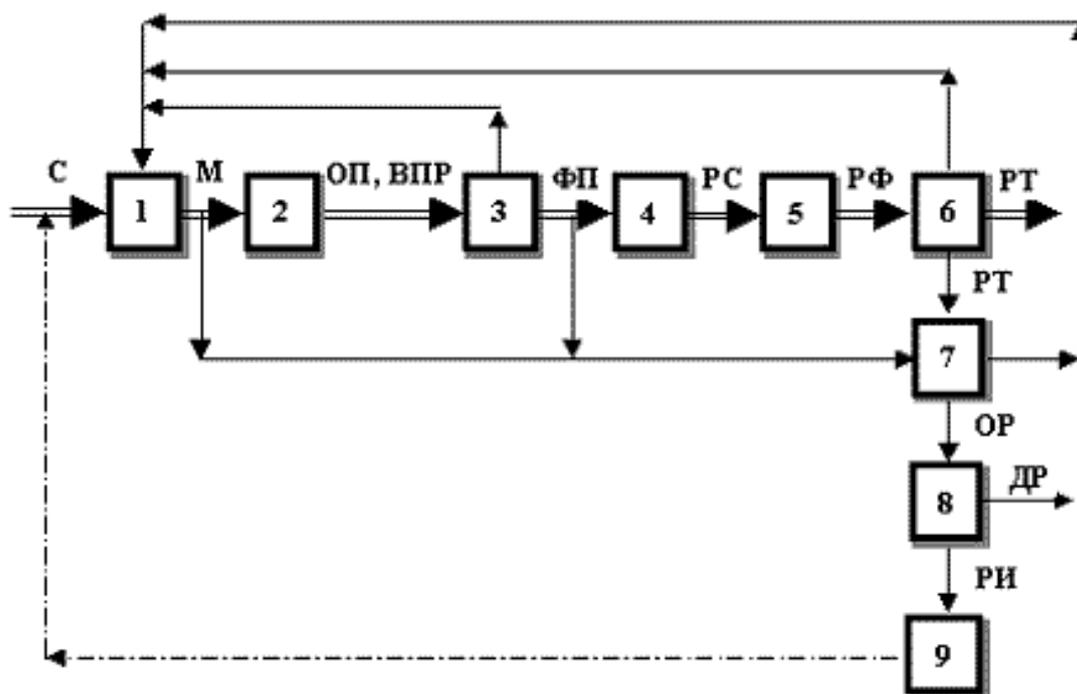
Все вспомогательные комментарии и правила нужны лишь при освоении алгоритма, впоследствии (после освоения) они становятся почти ненужными.

АРИЗ-85-В содержит 9 частей:

1. Анализ задачи.
2. Анализ модели задачи.

3. Определение ИКР и физического противоречия.
4. Мобилизация и применение вещественно-полевых ресурсов.
5. Применение информационного фонда.
6. Изменение и/или замена задачи.
7. Анализ способа устранения физического противоречия.
8. Применение полученного ответа.
9. Анализ хода решения.

Структурная схема АРИЗ-85-В представлена на рисунке 3.26.



1-9 - части АРИЗ, С - ситуация, М - модель, ОП - оперативные параметры, ВПР - вещественно-полевые ресурсы, ФП - физическое противоречие, РС - структурное решение, РФ - физическое решение, РТ - техническое решение, ОР - оценка решения, ДР - другие решения, РИ - развитие идеи.

Рисунок 3.26 - Структурная схема АРИЗ-85-В

Прежде чем приступить к решению задачи по АРИЗ, целесообразно сформулировать задачу. Это необходимо сделать в связи с тем, что чаще всего заказчик предоставляет не задачу, а достаточно туманную ситуацию (С). Такую ситуацию называют изобретательской и, как правило, она содержит несколько поверхностных противоречий:

$$C = f(ПП_1, ПП_2 \dots ПП_n).$$

Выбор задачи из изобретательской ситуации сводится практически к выбору поверхностного противоречия. Этот процесс частично рассматривался раньше.

Цель первой части АРИЗ - перейти от поверхностного противоречия к модели «М» задачи (рисунок 3.26), представляющей собой два элемента системы (конфликтующую пару) и углубленное противоречие между ними.

АРИЗ свойственно постепенное сужение анализируемой области (области рассмотрения) в системе. Вначале рассматривается изобретательская ситуация со многими элементами и конфликтами. Из всех элементов отбирают только два - конфликтующую пару, а затем переходят от пары элементов к одному, который и исследуется на следующих частях АРИЗ.

В конце первой части модель представляют в вепольном виде и преобразуют эту модель в соответствии с тенденциями развития вепольных систем. Если это приводит к решению задачи, то рекомендуется проверить решение - перейти к седьмой части (на рисунке 3.26 это показано стрелкой вниз), и даже если оно удовлетворяет, продолжить решение задачи по АРИЗ, начиная со второй части. При этом, возможно, получим решение еще лучшее.

Во второй части АРИЗ предельно сужают область исследования, определяя оперативные параметры: оперативную зону, оперативное время и вещественно-полевые ресурсы.

В третьей части АРИЗ определяют идеальный конечный результат и обостренное противоречие. Формулируя обостренное противоречие необходимо следить за выполнением логики АРИЗ, если она не соблюдена, то следует вернуться к первой части и откорректировать модель задачи (стрелка обратной связи, показанная на схеме рисунке 3.26 наверху). Кроме того, осуществляют попытку получить структурное решение, используя стандарты на решение изобретательских задач. Если решение найдено, то его проверяют, переходя к седьмой части (стрелка вниз на рисунке 3.26) и продолжают решение, начиная с четвертой части.

В четвертой части мобилизуют и применяют вещественно-полевые ресурсы (ВПр), выявленные во второй части. Использование ВПр позволяет получить решение более идеальное.

Пятая часть АРИЗ предназначена для разрешения обостренного противоречия. Для этой цели используется информационный фонд (стандарты на решение изобретательских задач, задачи-аналоги, технологические эффекты, приемы). Если решение найдено, то переходят к седьмой части и проверяют его, а затем продолжают решение по 6-9 частям.

Основная цель шестой части АРИЗ - переход от физического решения к техническому. Для этого необходимо сформулировать технический способ осуществления физического решения, разработать конструктивное воплощение и технологическую реализацию. Если решение не получено, то рекомендуется вернуться к первой части (на рисунке 3.26 это показано в виде петли обратной связи), заново сформулировать углубленное противоречие и решать задачу. Если и в этом случае не получено решение, то снова формулируют модель задачи, выбрав другое поверхностное противоречие. При необходимости такое возвращение совершают несколько раз - с переходом к надсистеме (системе более высокого ранга).

В седьмой части алгоритма осуществляется анализ полученного решения и определение его пригодности для конкретных производственных условий, т.е. проводится оценка решения. Один из приемов оценки решения - это сравнение его с ИКР. Степень близости полученного решения к ИКР определяет качество полученного решения.

В результате оценки решения могут возникнуть две ситуации: полученное решение приемлемо или неприемлемо (удовлетворяет или не удовлетворяет требованиям ИКР и заказчика). В первом случае идею решения развивают с помощью восьмой части и оценивают ход решения в девятой части. Когда решение по каким-то причинам не устраивает, то целесообразно вернуться к первой части (петля обратной связи на рисунке 3.26 показана штрихпунктирной линией) и сформулировать другую модель задачи. Если решение удовлетворительно, то следует проверить (по патентным данным) формальную новизну полученного решения и выявить подзадачи, возникающие при технической разработке полученной идеи, записать возможные подзадачи - изобретательские, конструкторские, расчетные, организационные. После этого развивают идею решения и оценивают ход решения в соответствии с восьмой и девятой частями.

В восьмой части развивается идея решения по трем направлениям. Первоначально определяется соответствие полученного решения надсистеме, куда должна входить рассматриваемая в задаче система. Такое соответствие зависит от уровня полученного решения: принципиально новое – «пионерское» (например, изобретение самолета, радио, лазера, компьютера и т.п.) и не принципиально новое – «непионерское».

Если решение «непионерское», то решение подстраивается под систему и надсистему. Прежде всего следует выяснить взаимосвязи разработанной системы с другими системами, надсистемой и внешней средой и обеспечить процесс их взаимодействия так, чтобы не вызывать взаимных отрицательных явлений. Это осуществляется в соответствии с законами развития технических систем, например, согласованием параметров, форм, связей, веществ и полей вновь создаваемой системы с надсистемой и окружающей средой. Кроме того, осуществляется согласование процессов по времени, в частности, согласование ритмики работы.

Если при этом выявляются какие-то недостатки, то они устраняются. Часто в таких случаях устранение этих недостатков является новой задачей, которая тоже может быть решена по АРИЗ. После этого решение дорабатывается конструктивно, технологически, разрабатываются мероприятия по использованию полученного решения.

Если решение «пионерское», то для его осуществления, как правило, следует изменить надсистему. С особым упорством психологическая инерция проявляется в сохранении старой формы в новых изобретениях. Иногда старая форма может быть следствием психологической инерции потребителей, отдающих предпочтение привычному, традиционному представ-

лению об изделии. Все большее распространение получают изделия в стиле «ретро».

Второе направления развития идеи решения - использование полученного решения по новому назначению - для выполнения других функций, для других систем.

Третье направление - применение полученной идеи решения для решения других задач. Так формулируются новые стандарты на решение изобретательских задач. Таким образом, на выходе восьмой части мы получаем развитие идеи и дополнительные решения.

Цели девятой части - совершенствование навыков пользования АРИЗ и усовершенствование самого АРИЗ. Такая операция проводится путем сопоставления идеального хода решения задачи по всем шагам АРИЗ с реальным. Тем самым производится оценка хода решения.

После получения решения достаточно легко представить идеальный ход решения, поскольку «с вершины» полученного решения легче увидеть наиболее быстрый, легкий и точный путь, который ведет к вершине этого решения. При сравнении реального решения с идеальным легче обнаружить просчеты и неточности, допущенные при решении. Следует тщательно разобраться в причинах этих ошибок, запомнить их и учесть при решении других задач. За счет такого анализа совершенствуется методика решения, значительно эффективнее и быстрее происходит ее освоение.

Иногда ошибки совершаются не потому, что пользователь не владеет АРИЗ, а из-за несовершенства алгоритма. Такие ошибки собираются и систематизируются, чтобы устранить недостатки АРИЗ. Происходит постепенное совершенствование АРИЗ.

3.5 Технология прикладного системного анализа при проектировании систем РЭС

Операция 1. Фиксация проблемы: инициация системного исследования. Фиксация проблемы начинается с точного названия объекта проектирования и описания недостатков существующего прототипа или аналогов. Заметим, что фиксация проблемы является лишь отправной точкой для отыскания недостающей информации по объекту проектирования, а вовсе не окончательной формулировкой проблемы, которая в полной мере будет выполнена на последующих этапах системного исследования.

При обосновании проблемы необходимо рассмотреть потребность в проектируемом объекте. Потребность определяется следующими факторами:

- наличием серийно выпускаемого объекта, выполняющего рассматриваемую в данной проблеме функцию;
- наличием недостатков этого объекта;
- возможными направлениями устранения этих недостатков;
- технической и технологической возможностью выхода из рассматриваемой проблемной ситуации.

Анализ потребности необходимо проводить на основе детального информационного исследования и с учетом опыта эксплуатации прототипа объекта проектирования.

Операция 2. Составление списка участников проблемной ситуации. Для того, чтобы спроектировать технический объект, не породив новых проблем, необходимо выявить всех участников проблемной ситуации. Например, в проблеме создания некоторого радиотехнического устройства, предназначенного для массового потребителя, в число участников проблемной ситуации входит не только потребитель, но и производитель, продавец, сервисные службы, окружающая среда, будущее поколение. При составлении списка участников проблемной ситуации следует исходить из того, что неучет всех участников может не обеспечить ее преодоление, а включение в список не существенных (не определяющих проблему) участников затруднит системное исследование.

В общем случае, в число участников проблемной ситуации могут входить:

- заказчик;
- разработчики (системотехники, схемотехники, конструкторы);
- изготовители;
- специалисты по маркетингу и торговой реализации объекта проектирования;
- финансисты (спонсоры);
- специалисты по эксплуатации;
- потребители;

- специалисты по утилизации объекта проектирования после достижения срока службы;
- безмолвные участники (прошлое поколение, будущее поколение, окружающая среда).

Операция 3. Составление проблемного массива. Имея список участников проблемной ситуации, необходимо заняться их проблематикой, то есть изучением проблем каждого участника в общей проблеме создания технического объекта. Проблемный массив - это список участников проблемной ситуации с указанием проблем каждого участника. Для систематизации информации, полученной на этом этапе системного исследования, рекомендуется составить таблицу по следующей форме, которая отражает содержание проблемного массива (таблица 3.40)

Таблица 3.40

Проблемный массив

Участники проблемной ситуации	Проблемы участников
1. ...	1.1 ... 1.2 ...
2. ...	2.1 ... 2.2 ...

Операция 4. Выбор конфигуратора. Для того, чтобы построить адекватную модель проблемы создания объекта проектирования, необходимо описать этот объект, используя различные языки. Под конфигуратором понимается минимально необходимое количество языков для создания адекватной модели проблемы. Так, для создания радиоэлектронных средств различной сложности могут быть использованы следующие языки:

- профессиональный (по характеру проблемы);
- математический;
- алгоритмический;
- финансовый;
- технические (язык чертежа, схемы);
- информационный.

При выборе конфигуратора нужно учесть особенности объекта проектирования (частотный диапазон, энергопотребление, быстродействие и т.п.), физические процессы, протекающие в нем, а также языки, используемые участниками проблемной ситуации. Результаты этого этапа рекомендуется также свести в таблицу 3.41.

Таблица 3.41

Языки, используемые в исследовании проблемной ситуации

Наименование языка	Наименование проблемы, описываемой этим языком	Особенности объекта, описываемые этим языком

Заметим, что на данном этапе системного исследования кроме констатации содержания конфигулятора необходимо изучить указанные в нем языки. Изучение подразумевает получение знаний и умений, необходимых для решения сформулированной проблемы.

Операция 5. Формирование критериев. Выявив цели, приступают к выбору критериев, позволяющих оценить движение к целям в процессе проектирования. Для ТО критерии могут быть следующих видов (см. раздел 3.2):

- 1) функциональные;
- 2) технологические;
- 3) экономические;
- 4) антропогенные.

К функциональным критериям относятся производительность, точность, надежность и другие технические параметры ТО, причем каждый критерий может оцениваться несколькими показателями. Например, надежность может оцениваться безотказностью, вероятностью безотказной работы, наработкой на отказ, коэффициентом готовности.

Технологические критерии состоят из технологической себестоимости, трудоемкости, уровня стандартизации и унификации и других технологических параметров, каждый из которых также оценивается конкретными показателями (уровень технологической себестоимости и трудоемкости, коэффициенты стандартизации, унификации, преемственности и др.)

Экономические критерии состоят из лимитной, оптовой и розничной цен, энергопотребления, коэффициента полезного действия, стоимости обслуживания, ремонта и утилизации ТО.

К антропогенным критериям относятся эстетичность, эргономичность, безопасность и другие, позволяющие оценить степень комфортности работы оператора.

При формировании критериев необходимо оценить требуемое значение каждого критерия для данного ТО в соответствии с деревом целей. В соответствии со сформированным массивом критериев развития объекта проектирования формируется массив его технических параметров. Для этого проводит-

ся следующий шаг в системном исследовании проблемы – установление их значения в случае решения проблемы, т.е. целевыявление.

Операция 6. Целевыявление. На этом этапе формируются (желательно самими участниками) цели участников проблемной ситуации, достижение которых позволяет решить проблему создания объекта проектирования, заключающуюся в установлении требуемых технических параметров объекта. Например, для потребителя бытового радиоэлектронного аппарата основной целью является высокое качество этого аппарата при минимальной цене, для производителя - высокая технологичность аппарата, для сервисных служб - высокая ремонтпригодность, для окружающей среды - минимум вредных воздействий на человека и природу в процессе производства, эксплуатации и утилизации аппарата, для будущего поколения - высокий уровень эстетичности, эргономичности, рост качества этого типа аппаратов от поколения к поколению (прогресс). Этап «целевыявление» заканчивается построением дерева целей в виде графа, вершинами которого являются цели, а ребрами (ветвями) - участники проблемной ситуации (рисунок 3.27).

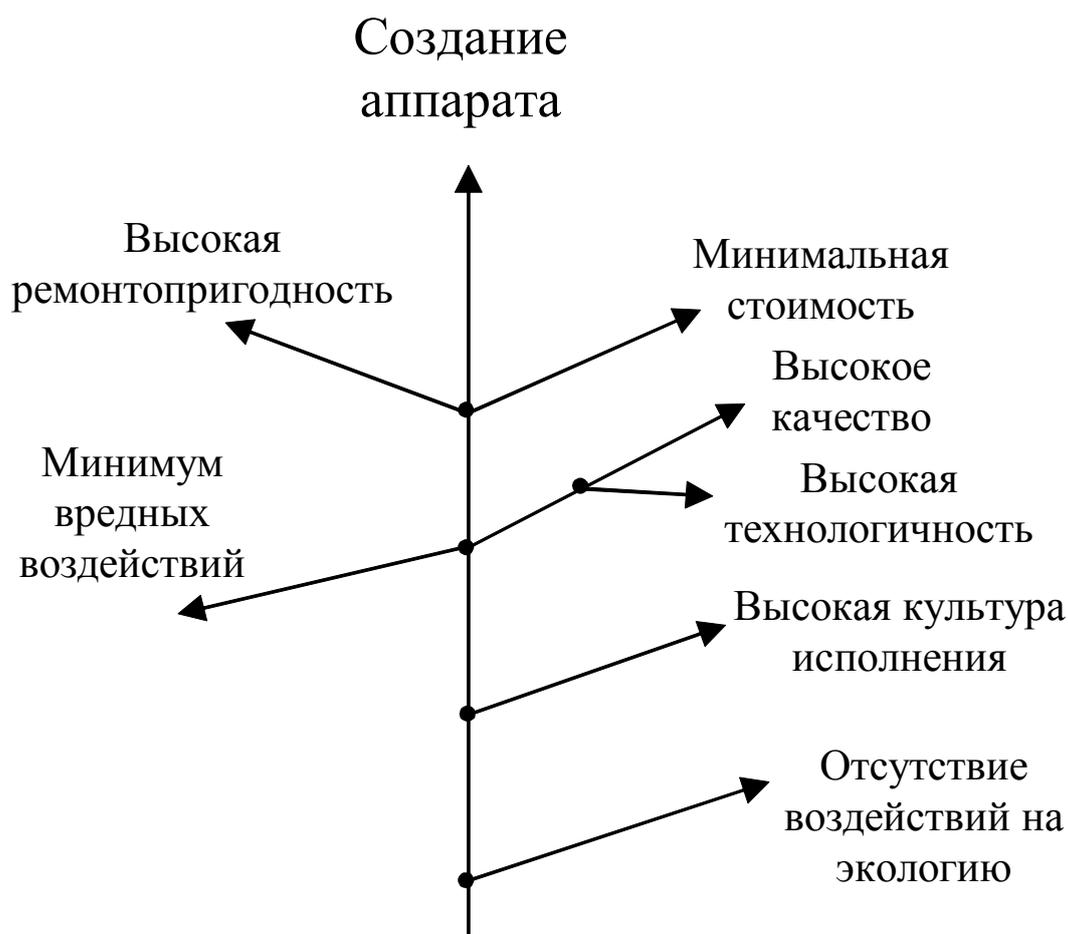


Рисунок 3.27 - Примерный вид дерева целей для бытового радиоэлектронного аппарата

Заметим, что вид дерева целей зависит от проблемы проектирования и от особенностей изделия. Целевыявление может осуществляться следующими методами:

- прогнозированием на основе информационного исследования;
- аналитическим на основе математического моделирования тенденций развития проектируемого объекта и последующего расчета его параметров с учетом развития;
- заданием параметров объекта на основе интуиции и опыта его эксплуатации.

В любом случае успешность целевыявления определяется объективностью задания параметров объекта проектирования. Завышение параметров может не обеспечить решение проблемы, занижение – привести к моральному старению объекта еще на этапе проектирования. В связи с этим полезно ранжировать параметры объекта проектирования по следующим уровням:

- главный;
- основные;
- дополнительные;
- вредные.

Операция 7. Исследование проблемы и путей достижения выявленных целей. Исследование проблемы в конечном итоге выливается в детальное изучение проектируемого объекта, в прогнозирование значений сформированных критериев и в выбор методов достижения заданных значений критериев.

Исследование может быть проведено информационным, теоретическим, экспериментальным, экспериментально-теоретическим, теоретико-экспериментальными методами. Для исследования может быть применен вычислительный эксперимент. Цель исследований - изучить проектируемый объект, его конструктивно-функциональную структуру, описать его физический принцип действия. Изучаются прототип и аналоги. При изучении рассматриваются физические эффекты и законы, которые заложены в основу ФПД. При информационном исследовании делается детальный анализ литературных источников информации, при теоретическом - моделирование объекта, при экспериментальном - изучается физическая модель объекта в виде макета или действующего образца. Этап исследования является очень важным для принятия новых технических решений в соответствии с выявленными целями. В процессе исследований необходимо выявить все функции изучаемого ТО, классифицировать их на главную, основные, дополнительные и вредные. Это делается на всех уровнях составных частей ТО, вплоть до элемента КФС. Напомним, что под элементом в системном анализе понимается такая часть ТО, которая больше в процессе анализа не делится. Элементом ТО, как системы, может быть блок, субблок, функциональный узел, ячейка, типовой элемент замены, электрорадиоэлемент.

Операция 8. Генерирование вариантов. Для принятия новых технических решений по проблеме проектирования могут быть использованы следующие методы:

- 1) мозговые атаки;
- 2) морфологический анализ;
- 3) функционально-стоимостной анализ;
- 4) метод эвристических приемов;
- 5) использование теории решения изобретательских задач (ТРИЗ);
- 6) использование “изобретающих” пакетов прикладных программ;
- 7) аналитические методы, моделирование и исследование моделей.

На этом этапе решается две задачи - выбор и обоснование метода поиска новых технических решений и собственно поиск. Из найденных решений выбираются оптимальные по отобранным ранее критериям.

Операция 9. Выбор метода решения проблемной ситуации. На этом этапе из множества сгенерированных вариантов (операция 8) с помощью выбранных критериев (операция 5) принимается решение о том, какой вариант должен быть реализован, а какие отброшены.

3.6 Методический пример использования технологии прикладного системного анализа при проектировании РЭС

Операция 1. Фиксация проблемы. До 1991 года в России основным держателем информационных ценностей было само государство, но с развитием рыночных отношений все большая часть материальных и информационных ресурсов перераспределяется в сторону коммерческого сектора экономики. Поскольку информация является безусловной ценностью, находятся желающие получить эту ценность.

Требуется разработать устройство перехвата информации, циркулирующей по акустическому каналу, именуемое в просторечии «жучок». Устройство предназначается для скрытого прослушивания звуковой информации для достижения следующих целей:

- перехват выгодных контрактов;
- получение выгодного инвестирования;
- борьба за рынок;
- разведка рынка в регионе конкурентов;
- смена руководства фирмы;
- срыв контрактов;
- поглощение фирм.

Существующие прототипы и аналоги используются в основном спецслужбами, детективными агентствами, охранными службами и т.д. По этой причине устройства перехвата информации неизвестны широким слоям населения, мало распространены, труднодоступны.

На российском рынке промышленного шпионажа за последние 10 лет появилось достаточно много аналогичных устройств, собранных из подручных компонентов, по схемам, взятым из учебников или радиожурналов. Как правило, это – элементарные схемы на одном транзисторе. Технические характеристики таких устройств неудовлетворительны и часто не оправдывают затраченные на их приобретение деньги [52].

Выходом из указанной ситуации явилось бы создание устройства для перехвата информации с четким и надежным приемом любых разговоров (в том числе ведущиеся шепотом или под звук льющейся воды).

Выделим суть проблемы: получение информации о составе, состоянии и деятельности объекта конфиденциальных интересов (фирмы, изделия, проекта, рецепта, технологии и т.д.) в целях удовлетворения своих информационных потребностей.

Операция 2. Составление списка участников проблемной ситуации. Для дальнейшего анализа необходимо выяснить, кто причастен (или что причастно) к созданию, эксплуатации и утилизации устройства для перехвата информации, циркулирующей по акустическому каналу. Составим список в хронологическом порядке:

- 1) разработчик (схемотехник, конструктор);

- 2) производитель (технолог, монтажник, наладчик);
- 3) «продавец» (посредник между производителем и потребителем);
- 4) потребитель (секретный агент);
- 5) клиент (объект прослушивания);
- 6) сервис (ремонтник);
- 7) окружающая среда (условия для прослушивания).

Заметим, что в приведенном списке участников проблемной ситуации одно физическое лицо может выступать сразу в нескольких ролях. Например, один человек может быть и разработчиком и ремонтником.

Операция 3. Составление проблемного массива. Для того, чтобы изучить проблемы каждого участника в общей проблеме создания устройства перехвата информации составим проблемный массив (таблица 3.42).

Таблица 3.42

Проблемный массив

Участники проблемной ситуации	Проблемы участников
1. Разработчики (схемотехник, конструктор)	1.1 Обеспечить минимальное число ЭРЭ схемы 1.2 Обеспечить схемотехническое решение с малыми токами потребления и питающим напряжением 1.3 Разработать дизайн конструкции, который бы обеспечивал визуальную незаметность устройства 1.4 Обеспечить минимальный электромагнитный фон при работе устройства 1.5 Высокое качество приема звуковой информации 1.6 Обеспечить легкий и удобный вид крепления устройства
2. Производители (технологи, монтажники, наладчики, организаторы производства)	2.1 Минимальная трудоемкость изготовления 2.2 Минимальная трудоемкость сборки 2.3 Минимальная трудоемкость настройки 2.4 Рациональная организация производства 2.5 Низкий уровень брака 2.6 Экологическая чистота производства
3. Служба сбыта (посредники, дилеры, дистрибьюторы)	3.1 Получение сведений о потенциальных заказчиках 3.2 Обеспечение секретности в налаживании контактов между производителем и заказчиком 3.3 Обеспечить доставку устройства заказчику 3.4 Знать особенности устройства и правила эксплуатации
4. Потребитель (секретный агент)	4.1 Обеспечить быстрый монтаж и демонтаж устройства в месте прослушивания 4.2 Обеспечить маскировку устройства 4.3 Остаться незамеченным и не быть задержанным

Продолжение таблицы 3.42

Участники проблемной ситуации	Проблемы участников
5. Клиент (объект прослушивания)	5.1 Обнаружить подслушивающее устройство визуально 5.2 Обнаружить подслушивающее устройство с помощью электронных детекторов 5.3 Не произносить интересующей секретного агента информации 5.4 Задержать секретного агента
6. Сервис (ремонтник)	6.1 Комплектация запасными частями 6.2 Оборудование для ремонта
7. Окружающая среда	7.1 Обеспечить нормальные условия для работы подслушивающего устройства с точки зрения секретного агента 7.2 Обеспечить неприемлемые условия для прослушивания с точки зрения объекта прослушивания 7.3 Экологическая чистота при создании, эксплуатации и утилизации устройства

Операция 4. Выбор конфигуратора. Чтобы учесть особенности, связанные с проектированием устройства перехвата информации выполним его описание на различных языках (таблица 3.43). В качестве языков описания выбираем: радиотехнический, радиоконструкторский, технологический, эксплуатационный, финансовый.

Таблица 3.43

Языки, используемые в исследовании проблемной ситуации

Наименование языка	Наименование проблемы	Особенность изделия
1. Радиотехнический	1.1 Обеспечить минимальное число ЭРЭ схемы 1.2 Обеспечить схмотехническое решение с малыми токами потребления и питающим напряжением 1.3 Обеспечить минимальный электромагнитный фон при работе устройства 1.4 Высокое качество приема звуковой информации	1.1 Использование интегральной, бескорпусной, микроминиатюрной элементной базы 1.2 Использование активных ЭРЭ с малыми питающими напряжениями и токами потребления 1.3 Оптимизация сигнальных цепей и цепей питания устройства 1.4 Использование чувствительных звуковых датчиков (микрофонов).

Продолжение таблицы 3.43

Наименование языка	Наименование проблемы	Особенность изделия
2. Радиоконструкторский	2.1 Разработать дизайн конструкции, который бы обеспечивал визуальную незаметность устройства 2.2 Обеспечить минимальный электромагнитный фон при работе устройства 2.3 Обеспечить легкий и удобный вид крепления устройства	2.1 Маскировка устройства под интерьер во время прослушивания. Минимальные массогабаритные показатели 2.2 Использование экранирования электронной части устройства 2.3 Использование защелок, липучек, клейкого покрытия
3. Технологический	3.1 Минимальная трудоемкость изготовления 3.2 Минимальная трудоемкость сборки 3.3 Минимальная трудоемкость настройки 3.4 Рациональная организация производства 3.5 Низкий уровень брака 3.6 Экологическая чистота производства	3.1 Технологичность изготовления функциональных узлов 3.2 Унификация функциональных узлов, деталей, элементов 3.3 Минимизация регулируемых ЭРЭ 3.4 Минимизация числа работников из соображений секретности 3.5 ЭРЭ со спецприемкой 3.6 Использование материалов, пригодных для вторичной переработки
4. Эксплуатационный	Низкий уровень брака	Высокая эксплуатационная надежность и ремонтпригодность
5. Финансовый	Низкая себестоимость производства	По возможности не применять остродефицитных и драгоценных материалов

Операция 5. Формирование критериев. Чтобы оценить движение к целям проектирования устройства перехвата информации выделим группы критериев:

- 1) функциональные:
 - чувствительность;
 - ток потребления;
 - коэффициент усиления;

- полоса усиливаемых частот;
 - напряжение питания;
- 2) технологические:
- технологичность;
 - унификация;
 - число регулируемых ЭРЭ;
- 3) экономические:
- себестоимость производства;
- 4) антропогенные:
- форма корпуса;
 - цвет корпуса;
 - способ крепления.

Операция 6. Целевыявление. Сформируем цели участников проблемной ситуации в виде дерева целей (рисунок 3.28). Каждая ветвь дерева целей будет представлять отдельного участника проблемной ситуации. Если у этого участника несколько целей, то основная ветвь разделяется на несколько подветвей. Количество участников проблемной ситуации – 7 (см. операцию 2), следовательно, количество основных ветвей дерева целей тоже 7.

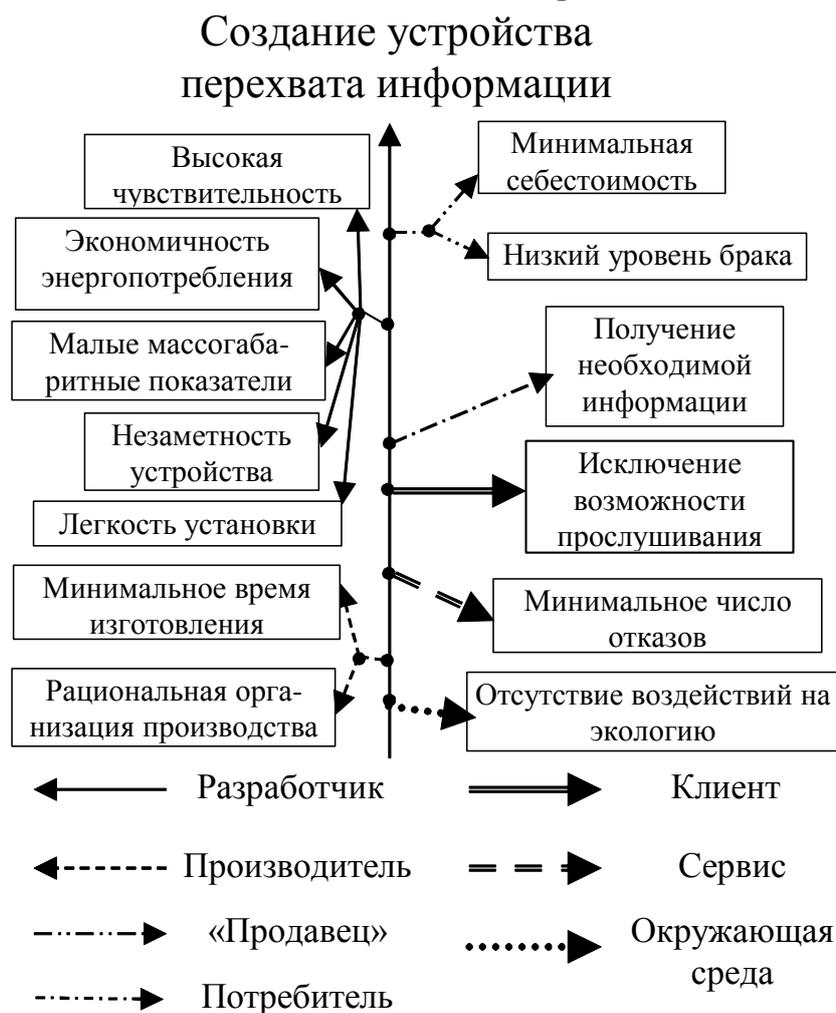


Рисунок 3.28 – Дерево целей участников проблемной ситуации

Сформулируем количественные и качественные показатели критериев, выявленные при проведении операции 5:

1) функциональные:

- осевая чувствительность на частоте 1 кГц – 1 мВ·м²/Н;
- ток потребления – 2 мА;
- коэффициент усиления – не менее 80 дБ;
- полоса усиливаемых частот – от 300 Гц до 3 кГц;
- напряжение питания – 1.5 В;

2) технологические:

- технологичность – определяется на стадии разработки;
- унификация - определяется на стадии разработки;
- число регулируемых ЭРЭ – не более двух;

3) экономические:

- себестоимость производства – не более 100 у.е.;

4) антропогенные:

- форма корпуса – обтекаемая, скругленная, без граней и углов;
- цвет корпуса – совпадает с интерьером места прослушивания;
- способ крепления – уточняется на последующих этапах проектирования.

тирования.

Операция 7. Исследование проблемы и путей достижения выявленных целей.

Для исследования проблемы, связанной с проектированием устройства перехвата информации используем информационный метод исследования – аналитический обзор литературы. В [52] приведено описание устройства акустического контроля, которое можно принять как прототип («отправную точку») для создания устройства перехвата информации. В таблице 3.44 и на рисунке 3.29 приведено описание функций элементов и конструктивная ФС прототипа из [52].

Таблица 3.44

Функции элементов устройства акустического контроля

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Микрофон	Φ'_1	Преобразование звуковой информации, сказанной объектом прослушивания V_2 в электрический сигнал
		Φ''_1	Восприятие помех, которые создает объект прослушивания V_2
E_2	Предварительный усилитель	Φ_2	Обеспечение линейности АЧХ сигнала, снятого с микрофона E_1

Продолжение таблицы 3.44

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_3	Устройство коррекции	Φ_3	Исключение шумовых высокочастотных составляющих с предварительного усилителя E_2
E_4	Оконечный усилитель	Φ_4	Усиление сигнала звуковой частоты, принятого с устройства коррекции E_3 до уровня, необходимого для работы головного телефона E_5
E_5	Головной телефон	Φ_5	Прослушивание конфиденциальной информации секретным агентом V_3
E_6	Батареи питания	Φ_6	Обеспечение питающим напряжением для нормального функционирования элементов $E_2 - E_4$
E_7	Корпус	Φ_7	Защита элементов $E_2 - E_4, E_6$ от внешних воздействий окружающей среды V_1

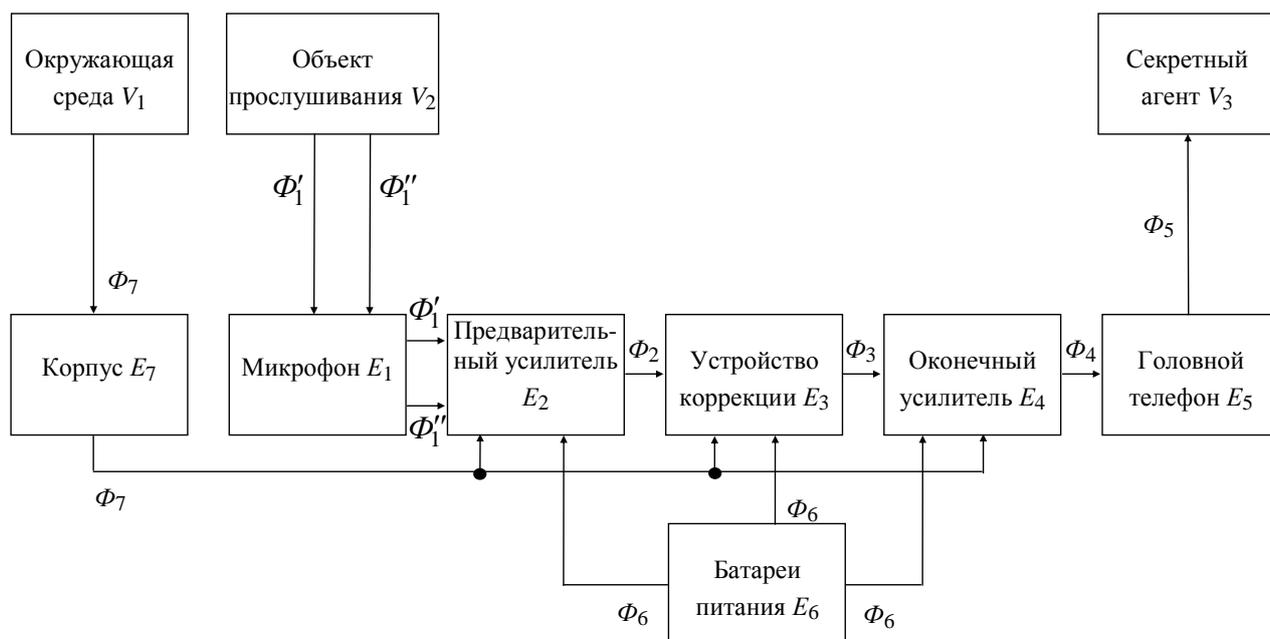


Рисунок 3.29 – Конструктивная ФС устройства акустического контроля

Физический принцип действия. Сигнал с микрофона поступает на предварительный усилитель. Каскады предварительного усилителя охвачены глубокой обратной связью, которая позволяет обеспечить устойчивую работу каскадов и более линейную АЧХ. Нагрузкой предварительного усилителя является переменный резистор, который служит регулятором громкости (на рисунке 3.29 не показан). Затем сигнал поступает на устройство коррекции – RC-фильтр, который «отсекает» высокочастотные составляющие, принятые микрофоном, и оставляет только сигналы в полосе частот до 4 кГц. Этот диапазон обеспечивает наибольшую разборчивость речевой информации. С выхода устройства коррекции сигнал поступает на оконечный усилитель звуковой частоты. Нагрузкой усилителя служит головной телефон. Питание всего устройства производится от двух батарей суммарным напряжением 3 В.

В ходе проведенного анализа прототипа были выявлены следующие недостатки:

- необходимость в батареях питания и, как следствие, неприемлемые массогабаритные показатели;
- проводная связь между оконечным усилителем устройства и головным телефоном, что ведет к большей вероятности обнаружения секретного агента;
- относительно большой ток потребления (около 2 мА);
- дискретная элементная база;
- применение электретного микрофона и, как следствие, высокое выходное сопротивление, что приводит к большим потерям сигнала.

Для того, чтобы устранить выявленные недостатки необходимо применение: чувствительного (возможно узконаправленного) микрофона; схемотехнического решения, обеспечивающего малое энергопотребление; интегральной элементной базы; иного канала передачи данных. Кроме этого, желательно исключить громоздкие батареи питания.

На основании анализа функций элементов прототипа (таблица 3.44) выделим главную, основную, вспомогательную и вредную функцию устройства.

Главная функция устройства - получение информации о составе, состоянии и деятельности объекта конфиденциальных интересов в целях удовлетворения своих информационных потребностей.

Основная функция устройства совпадает с функцией Φ_5 (таблица 3.44) - прослушивание конфиденциальной информации секретным агентом.

Вспомогательная функция – использование устройства перехвата информации не по назначению – в качестве обычного микрофонного усилителя.

Вредная функция устройства совпадает с функцией Φ_1'' (таблица 3.44) – восприятие помех, которые создает объект прослушивания и, как следствие, затруднение или невозможность реализации главной функции.

Операция 8. Генерирование вариантов. В качестве метода принятия технического решения по проблеме, связанной с проектированием устройства перехвата информации, выберем морфологический анализ (см. п. 3.4.3). Вы-

делим наиболее важные морфологические признаки с точки зрения устранения недостатков прототипа, выявленных при проведении операции 7:

- тип микрофона;
- вид канала связи между микрофоном и головным телефоном;
- степень интеграции элементной базы;
- вид питания устройства.

Остальные морфологические признаки проектируемого устройства будут уточняться в процессе дальнейшей разработки. Морфологическая матрица устройства перехвата информации представлена в таблице 3.45.

Таблица 3.45

Морфологическая матрица вариантов построения устройства

Признак	Вид исполнения			
	а)	б)	в)	г)
1. Тип микрофона	Микрофон с параболическим отражателем	Трубчатый щелевой микрофон	Лазерный луч	Электретный микрофон
2. Вид канала связи	Проводной	Радиоканал	Инфракрасный	Виброакустический
3. Элементная база	Дискретная	Интегральная	Комбинированная	-----
4. Вид питания	Миниатюрный гальванический элемент	Миниатюрная аккумуляторная батарея	Солнечная батарея	Источник питания от постороннего устройства

Операция 9. Выбор метода решения проблемной ситуации. Как было отмечено ранее, не все комбинации признаков в морфологической матрице реально осуществимы на практике. Для исключения заведомо неприемлемых или нереализуемых вариантов проведем их последовательное исключение по методу, предложенному в п. 3.4.3. Ввиду экономии места процедура исключения наихудших комбинаций здесь не приводится. В конечном итоге были выбраны наиболее перспективные комбинации:

X1 - 1a2б3б4a;

X2 - 1б2б3б4a;

X3 - 1в2б3б4a;

X4 - 1г2б3б4a;

X5 - 1a2б3б4б;

X6 - 1б2б3б4б;

X7 - 1г2б3б4б.

Учитывая результаты выполнения операций 5 и 6, выделим три наиболее значимых критерия в проблеме, связанной с проектированием устройства перехвата информации:

- $K1$ – акустическая чувствительность;
- $K2$ – экономичность энергопотребления;
- $K3$ – массогабаритные показатели.

Для взаимного сравнения перспективных вариантов построения устройства вводятся следующие оценки:

- лучший вариант – 1.5;
- одинаковый вариант – 1.0;
- худший вариант – 0.5.

Результаты сравнения перспективных вариантов $X1$ – $X7$ относительно выделенных критериев $K1$, $K2$, $K3$ приведены в таблице 3.46. В таблице 3.47 приведены результаты взаимного сравнения критериев $K1$, $K2$, $K3$.

Логика заполнения таблиц на примере взаимного сравнения критериев $K1$, $K2$, $K3$ заключается в следующем. На главной диагонали матрицы смежности критерии сравниваются сами с собой ($K1$ и $K1$, $K2$ и $K2$, $K3$ и $K3$). Такое сравнение всегда дает оценку 1.0.

Начинаем с элемента первого столбца, расположенного под главной диагональю. Сравниваем критерий $K2$ (экономичность), расположенный в строке, относительно критерия $K1$ (чувствительность), расположенного в столбце. Оцениваем такое сравнение как 0.5, т.е. экономичность менее значима, чем чувствительность. Сравниваем критерий $K3$ (массогабаритные показатели), расположенный в строке, относительно критерия $K1$ (чувствительность), расположенного в столбце. Оцениваем такое сравнение как 0.5. Достигаем конца первого столбца.

Заполняем первую строку матрицы, расположенную над главной диагональю, взаимно обратными оценками (1.5 и 1.5), т.е. критерий $K1$ более значим, чем критерии $K2$ и $K3$.

Переходим к элементу второго столбца, расположенного под главной диагональю. Сравниваем критерий $K3$ (массогабаритные показатели), расположенный в строке, относительно критерия $K2$ (экономичность), расположенного в столбце. Оцениваем такое сравнение как 1.0, т.е. массогабаритные показатели и экономичность имеют одинаковое значение.

Заполняем вторую строку матрицы, расположенную над главной диагональю, взаимно обратными оценками (1.0).

Заполнение матрицы завершено.

Аналогично заполняется матрица сравнения вариантов $X1$ – $X7$. Отличие заключается в том, что варианты построения сравниваются друг с другом трижды, каждый раз относительно нового критерия $K1$, $K2$, $K3$.

Таблица 3.46

Сравнение перспективных вариантов X1 – X7 относительно критериев K1, K2, K3

Индекс критерия	Индекс варианта	Индекс варианта							Сумма Σ	Абсолютный приоритет P_{ij}^A	Относительный приоритет P_{ij}^O
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7			
K1	X1	1	1.5	1	0.5	1	1	1.5	7.5	50.8	0.153
	X2	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	1	7.0	46.3	0.139
	X3	1	0.5	1	1	0.5	1	1	6.0	41.8	0.126
	X4	1.5	1.5	1	1	1.5	1.5	1.5	9.5	65.8	0.198
	X5	1	1	1.5	0.5	1	1.5	1	7.5	50.0	0.151
	X6	1	0.5	1	0.5	0.5	1	1	5.5	37.0	0.111
	X7	0.5	1	1	0.5	1	1	1	6.0	40.5	0.122
	Сумма									332	1.000
K2	X1	1.0	1.5	1.5	0.5	1.0	1.5	0.5	7.5	49.8	0.149
	X2	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	5.0	34.0	0.102
	X3	0.5	1.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	6.5	43.3	0.129
	X4	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.5	9.0	62.3	0.186
	X5	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	7.0	48.3	0.144
	X6	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	0.5	6.5	45.0	0.135
	X7	1.5	1.0	1.0	0.5	1.0	1.5	1.0	7.5	51.5	0.154
	Сумма									334	1.000
K3	X1	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	1.5	6.0	40.3	0.121
	X2	1.5	1.0	1.0	0.5	1.0	1.5	1.5	8.0	54.3	0.164
	X3	1.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	8.5	58.0	0.175
	X4	1.0	1.5	1.0	1.0	1.5	1.0	1.5	8.5	58.5	0.176
	X5	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	5.0	34.0	0.103
	X6	1.5	0.5	0.5	1.0	1.5	1.0	1.0	7.0	46.3	0.140
	X7	0.5	0.5	1.0	0.5	1.5	1.0	1.0	6.0	40.3	0.121
	Сумма									332	1.000

Таблица 3.47

Взаимное сравнение критериев $K1, K2, K3$

Индекс критерия	Индекс критерия			Сумма Σ	Абсолютный приоритет B_j^A	Относительный приоритет B_j^O
	K1	K2	K3			
K1	1	1.5	1.5	4	11.5	0.451
K2	0.5	1	1	2.5	7	0.275
K3	0.5	1	1	2.5	7	0.275
Сумма					25.5	1.000

Следующий этап предусматривает последовательное определение абсолютных приоритетов P_{ij}^A вариантов, а затем – относительных вариантов P_{ij}^O , которые вычисляются в долях единицы. Для расчета P_{ij}^A каждая строка в матрице умножается на вектор-столбец «Сумма Σ ». Нормированные значения, т.е. относительные P_{ij}^O , получаются делением P_{ij}^A на сумму $\sum P_{ij}^A$. Вычисление абсолютных B_j^A и относительных B_j^O критериев производится аналогично.

После этих расчетов можно вычислить комплексный показатель (приоритет) для каждого из вариантов $X_{i \text{ КОМ}}$, который определяется как сумма произведений относительных приоритетов P_{ij}^O на относительные приоритеты критериев B_j^O :

$$X_{i \text{ КОМ}} = P_{i1}^O \cdot B_1^O + P_{i2}^O \cdot B_2^O + P_{i3}^O \cdot B_3^O.$$

Вариант, получивший наибольшее значение $X_{i \text{ КОМ}}$, может считаться лучшим из сравниваемых. По результатам расчетов лучшим вариантом является X_4 :

$$X_{1 \text{ КОМ}} = 0.153 \cdot 0.451 + 0.149 \cdot 0.275 + 0.121 \cdot 0.275 = 0.143;$$

$$X_{2 \text{ КОМ}} = 0.136;$$

$$X_{3 \text{ КОМ}} = 0.140;$$

$$X_{4 \text{ КОМ}} = 0.189;$$

$$X_{5 \text{ КОМ}} = 0.136;$$

$$X_{6 \text{ КОМ}} = 0.126;$$

$$X_{7 \text{ КОМ}} = 0.131.$$

Целесообразно приведенные выше расчеты выполнять автоматизированным способом, например в программе MathCAD или Excel.

Согласно таблице 3.45 вариант X_4 представляет собой радиомикрофон – электретный микрофон, объединенный с радиоканалом и предназначенный для передачи акустической информации. Устройство должно быть выполнено на интегральной элементной базе, и должно питаться от миниатюрного гальванического элемента. Наибольший комплексный показатель варианта X_4 объясняется удобством оперативного использования радиомикрофона, простотой применения (не требуется длительного обучения персонала), дешевизной, очень небольшими размерами. Выявленный при выполнении операции 7 недостаток электретного микрофона устраняется введением истокового повторителя, благодаря чему выходное сопротивление не превышает 3 – 4 кОм. Кроме этого электретные микрофоны имеют наилучшие электроакустические характеристики: широкий частотный диапазон; малую неравномерность АЧХ; низкий уровень искажений; высокую чувствительность; малый уровень собственных шумов.

Описание функций элементов и конструктивная ФС улучшенного варианта устройства для перехвата информации приведены в таблице 3.48 и на рисунке 3.30, соответственно.

Таблица 3.48

Функции элементов улучшенного варианта

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Корпус	Φ_1	Защита элементов $E_2 - E_4$ от внешних воздействий окружающей среды V_1
E_2	Микрофон	Φ'_2	Преобразование звуковой информации, сказанной объектом прослушивания V_2 в электрический сигнал
		Φ''_2	Восприятие помех, которые создает объект прослушивания V_2
E_3	Высокочастотный генератор	Φ_3	Генерация несущей частоты, которая модулируется электрическим сигналом с микрофона E_2
E_4	Антенна	Φ_4	Излучение электромагнитных сигналов в радиоэфир V_4

Продолжение таблицы 3.48

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_5	Приемник	Φ'_5	Прием электромагнитных сигналов из радиоэфира V_4
		Φ''_5	Преобразование сигналов радиочастоты в сигналы звуковой частоты до уровня, необходимого для работы головного телефона E_6
E_6	Головной телефон	Φ_6	Прослушивание конфиденциальной информации секретным агентом V_3
E_7	Элемент питания	Φ_7	Обеспечение питающим напряжением высокочастотного генератора E_3

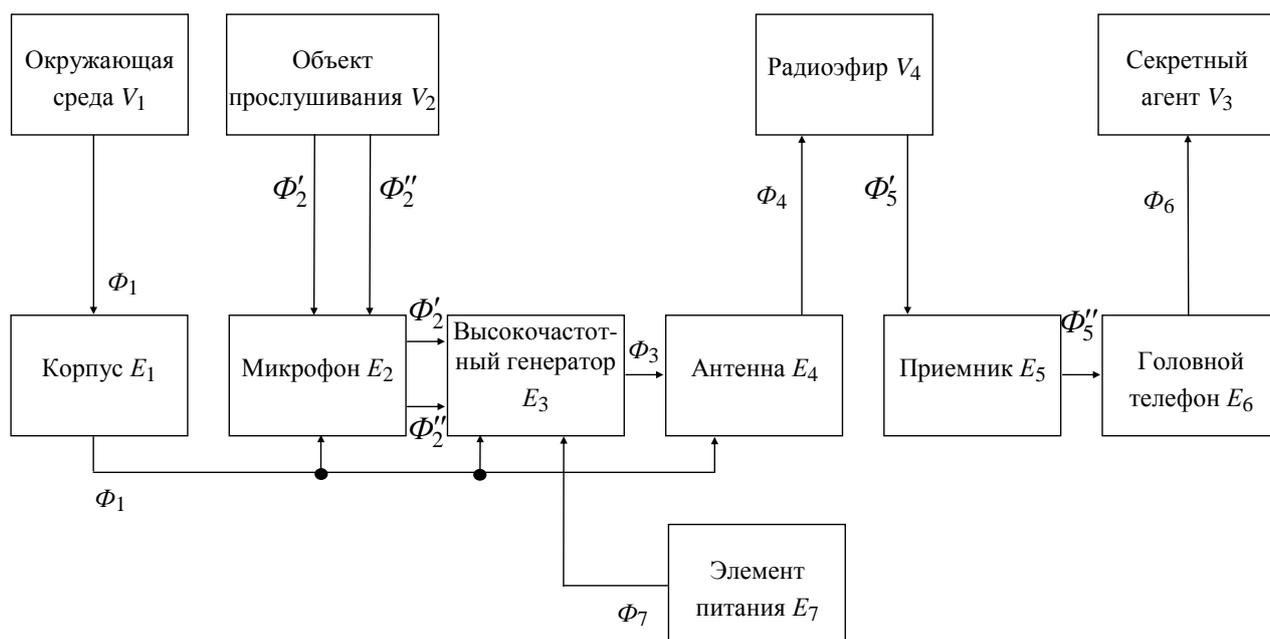


Рисунок 3.30 – Конструктивная ФС улучшенного варианта устройства

Эскиз внешнего вида радиомикрофона и приемника приведен на рисунке 3.31. Устройство питается от автономного источника – батареи для электронных часов напряжением 1.5 В. Закладка радиомикрофона производится при тайном или легальном посещении нужного помещения. Радиомикрофон может быть вмонтирован в книгу, картину, бижутерию, обивку мебели, в шариковую ручку, зажигалку и т.д.

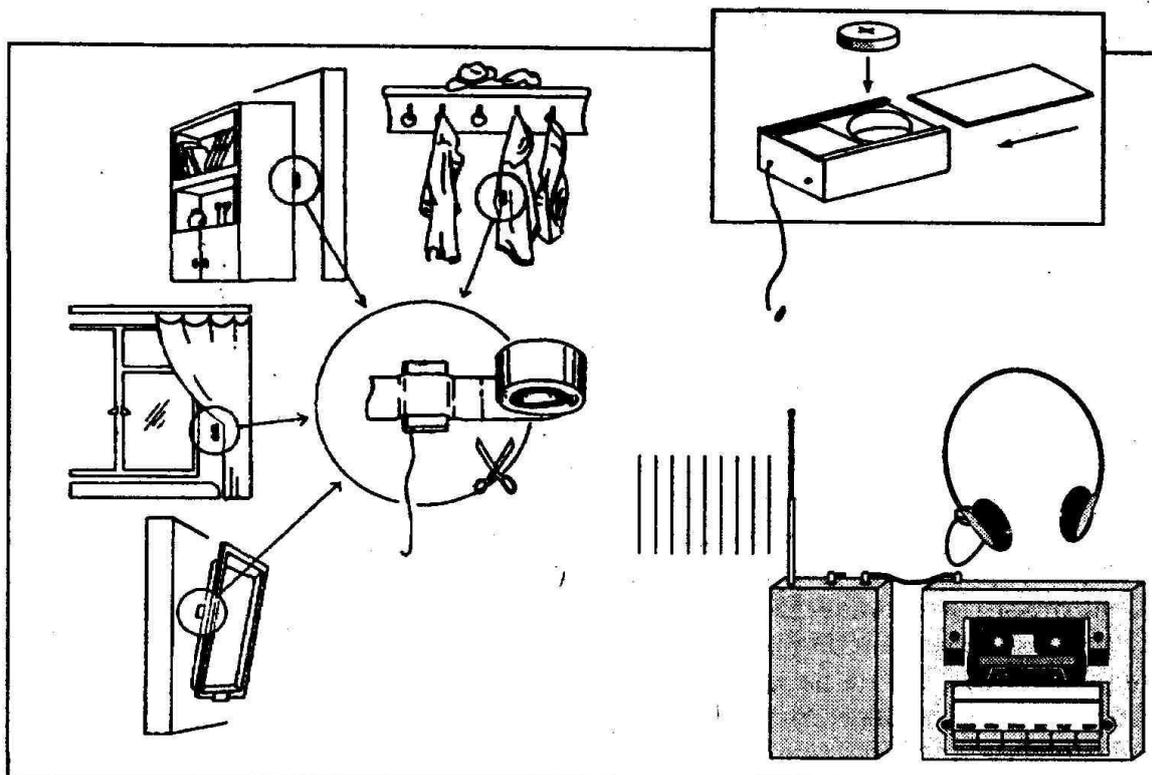


Рисунок 3.31 – Эскиз внешнего вида устройства для перехвата информации

Упрощенная принципиальная схема радиомикрофона приведена на рисунке 3.32.

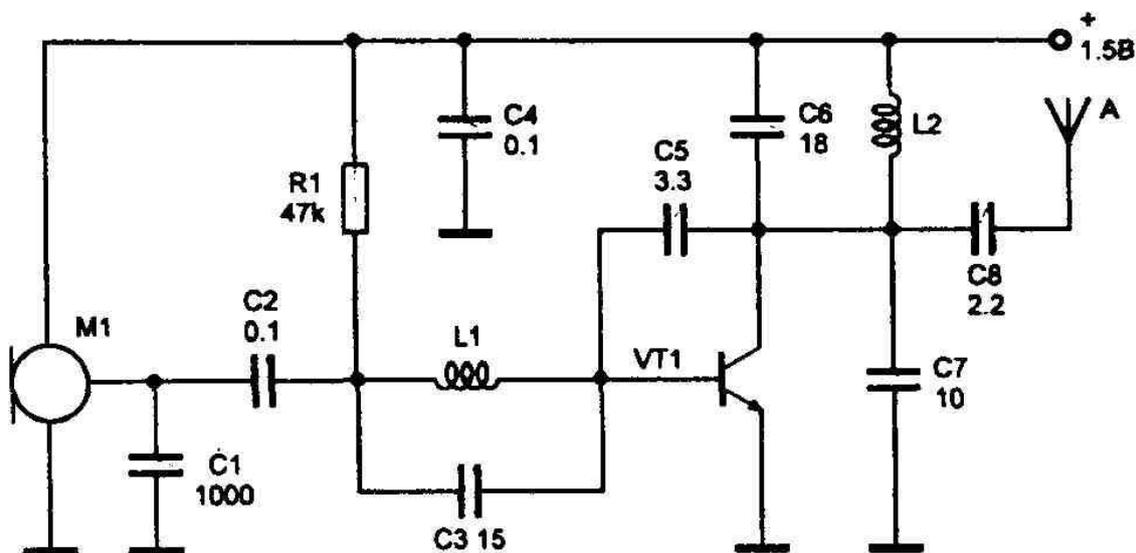


Рисунок 3.32 – Упрощенная электрическая принципиальная схема устройства

Сигналы этого радиомикрофона могут приниматься на удалении до 150 м. Продолжительность работы около 24 часов. Задающий генератор собран на транзисторе VT1, режим работы которого по постоянному току задается ре-

зистором R1, частота колебаний задается контуром в базовой цепи транзистора VT1. Этот контур включает в себя катушку L1, конденсатор C3 и емкость цепи «база-эмиттер» транзистора VT1, в коллекторную цепь которого в качестве нагрузки включен контур, состоящий из катушки L2 и конденсаторов C6, C7. Конденсатор C5 включен в цепь обратной связи и позволяет регулировать уровень возбуждения генератора.

Управляющее напряжение прикладывается к базе транзистора VT1, изменяя тем самым напряжение смещения на переходе «база-эмиттер» и, как следствие, изменяя емкость перехода «база-эмиттер». Изменение этой емкости ведет к изменению резонансной частоты колебательного контура, что приводит к появлению частотной модуляции. Требуемая величина максимальной девиации несущей частоты составляет 50 кГц и получается при изменении напряжения звуковой частоты на базе транзистора в диапазоне 10 – 100 мВ. В качестве приемного устройства E_5 можно использовать бытовой УКВ радиоприемник. По этой причине в конструктивной ФС на рисунке 3.30 приемник представлен в виде неделимого элемента E_5 .

При использовании электретного микрофона с усилителем уровень сигнала, снимаемый непосредственно с микрофона, оказывается достаточным для получения требуемой девиации частоты радиомикрофона. Конденсатор C1 осуществляет фильтрацию колебаний высокой частоты. Конденсатором C7 можно в небольших пределах изменять значение несущей частоты. Сигнал в антенну поступает через конденсатор C8, емкость которого выбирается достаточно малой, чтобы уменьшить влияние возмущающих факторов на частоту колебаний генератора. Антенна может быть выполнена из провода или металлического прутка длиной 60 – 100 см.

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системные методы в проектировании, производстве, эксплуатации РЭС позволяют методологически оптимально решать проблемные ситуации, возникающие в ходе практической деятельности радиоинженера или инженера-эколога. Практика применения технологии прикладного системного анализа в различных сферах инженерной деятельности, накопленная нами в 1992 – 2002 гг., показывает, что теория системного анализа, примененная для решения проблем анализа и синтеза различных систем, дает впечатляющие результаты.

Конструирование систем – это сложный и многогранный процесс. Для достижения поставленной цели необходимо учесть множество ограничений и интересы всех участников проблемной ситуации. Сделать это позволяет системный подход на основе методологии системного анализа. Теория научно-технического творчества дает возможность наикратчайшим путем получить оптимальное техническое решение. Следует заметить, что выбор того или иного метода поиска нового технического решения существенным образом зависит от образа мышления и психологии инженера, использующего методологию инженерного творчества. Для лиц с необузданной фантазией и раскованным мышлением больше подходит метод мозговой атаки. Педанты, склонные к тщательному и скрупулезному анализу, предпочтут морфологические методы, основанные на всестороннем исследовании поставленной проблемы.

Заметим, что методология системного анализа и инженерного творчества настоятельно требует создания индивидуальной базы данных для каждого инженера, которая должна содержать банки физико-технических эффектов, эвристических приемов, собственных технических решений, которые наиболее приемлемы и доступны именно для индивидуального использования.

Существенную роль в инженерной деятельности играют вопросы физического и математического моделирования процессов, протекающих в проектируемых РЭС различного системного уровня. Поэтому указанная индивидуальная база данных должна содержать современные программные комплексы и программные продукты для моделирования. Современный арсенал программного обеспечения физико-математического моделирования электрических, электромагнитных, тепловых, механических и других процессов позволяет в сочетании с системными методами их применения рационально решить проблему выбора нового технического решения.

В заключение пожелаем читателю системного мышления в любых сферах своей практической деятельности и успехов в достижении поставленных целей.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.П., Тарасенко Ф.П. Системный анализ в дипломном проектировании: Метод. указ. по дипломному проектир. спец. 200800 всех форм обучения. - Томск: ТУСУР, 1997. - 16 с.
2. Основы научных исследований. Учебное пособие. Под ред. В.И.Крутова. М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.
3. Еременко Д. Цифровое телевидение – в Москве // Stereo&Video, 2002, №9. С.18-19.
4. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. М.: Солон-Р, 1999. – 512 с.
5. Скурихин В.И., Шифрин В.Б., Дубровский В.В. Математическое моделирование. Киев, Техника, 1983. – 270 с.
6. Озёркин Д.В. Анализ и синтез термостабильных радиотехнических устройств и систем // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2000. – 166 с.
7. Деньдобренъко Б.Н., Малика А.С. Автоматизация конструирования РЭА: Учебник для вузов. - М., Высш. школа, 1980. - 384 с., ил.
8. Разевиг В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0. М.: Солон, 1999. – 704 с.
9. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования MicroCAP 6. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – 344 с.
10. Дьяконов В. MathCAD 2001: Учебный курс. СПб: Питер, 2001. – 621 с.
11. Опадчий Ю.Ф. и др. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для ВУЗов / Ю.Ф.Опадчий, О.П.Глудкин, А.И.Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 768 с.
12. Городилин В.М., Городилин В.В. Регулировка радиоаппаратуры: Учеб. для ПТУ. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1992. – 271 с.
13. Андрющенко В.А. Теория систем автоматического управления: Учеб. пособие. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1990. – 256 с.
14. Ингбергман М.И., Фромберг Э.М., Грабой Л.П. Термостатирование в технике связи. М.: Связь, 1979. - 144 с., ил.
15. Дульнев Г.Н., Семяшкин Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. Л.: Энергия, 1968. - 360 с., ил.
16. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. - М.: Машиностроение, 1988.
17. Академия домашнего кинотеатра АДК //Каталог компании «Русская игра». М.: «Русская игра», 2002 г. – 32 с.
18. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках/Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1984. 144 с.

19. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973. 296 с.
20. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979. 184 с.
21. Трушкин В. Ошибка! Как ее предотвратить. М.: Московский рабочий, 1971. 264 с.
22. Холл А.Д. Опыт методология для системотехники/Пер. с англ. под ред. Г.Н. Поварова. М.: Сов. радио, 1975, с. 448.
23. Половинкин А.И. Методы инженерного творчества. Учеб. пособие. Волгоград: ВолгПИ, 1984. 364 с.
24. Грушко И.М., Сиденко В.М. Основы научных исследований. Учебное пособие для вузов. Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1977. – 199 с.
25. Чкалова О.Н. Основы научных исследований. Киев: Вища школа, 1976. – 195 с.
26. Автоматизация поискового конструирования/Под ред. А.И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981. 344 с.
27. Методы поиска новых технических решений/Под ред. А.И. Половинкина. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1976. 192 с.
28. Воинов Б.С. Принципы поискового проектирования: Учеб. пособие. Горький: ГГУ, 1982. 75 с.
29. Бабанов Ю.Н., Воинов Б.С. Поиск новых технических решений в радиотехнике СВЧ/Учеб. пособие. Горький: ГГУ, 1981. 76 с.
30. Буш Г.Я. Основы эвристики для изобретателей. Рига: Знание, 1977. Ч. 1, с. 55; ч. 2, с. 67.
31. Диксон Д. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений/Пер. с англ. М.: Мир, 1969. 440 с.
32. Выявление обобщенных приемов улучшения основных характеристик преобразователей с распределенными параметрами/Зарипов М.Ф., Файрушина Т.А., Зайнутдинова Л.Х., Мамаджанов А.М.//Теория информационных систем и систем управления с распределенными параметрами. М.: Наука, 1978. С. 148—153.
33. Иванов Б.С. Авометр – первый измерительный прибор //Радио, 1998, №1. С. 31.
34. Карпунин М.Г., Майданчик Б.И. Функционально-стоимостной анализ в электротехнической промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1984. 288 с.
35. Положение об организации и проведении функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности. М.: Информэлектро. 1978. 148 с.
36. Грамп Е.А. Функционально-стоимостной анализ: сущность, теоретические основы, опыт применения за рубежом. М.: Информэлектро, 1980. 64 с.

37. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1982. 160 с.
38. Кумунжиев К.В., Кузьмин Н.И., Никитин Ю.В. Интеллектуальный интерфейс электромеханика/Учеб. пособие. Уфа: УАИ. 1984. 100 с.
39. Альтшуллер Г.С., Шапиро Р.Б. О психологии изобретательского творчества // Вопросы психологии, 1956, №6. С. 37-49.
40. Альтшуллер Г.С. Краски для фантазии. Прелюдия к теории развития творческого воображения. Шанс на приключение/ Сост. А.Б.Селюцкий. – Карелия: Петрозаводск, 1991. – 304 с.
41. Злотин Б.Л., Зусман А.В., Каплан Л.А. Закономерности развития коллективов. Кишинев: МНТЦ «Прогресс», 1990.
42. Иванов А.В. От хлопка в ладоши // Социалистическая индустрия, №46 (4197), 25.02.83.
43. Петров В.М. Закономерности развития технических систем. - Методология и методы технического творчества // Тезисы докладов и сообщений к научно практической конференции. Новосибирск, 1984. С. 52-54.
44. Петров В.М., Злотина Э.С. Теория решения изобретательских задач – основа прогнозирования развития технических систем. Л.: Квант, 1989. – 92 с.
45. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. Учебное пособие. – М.: Сов. Радио, 1980. – 424 с.
46. Альтшуллер Г., Гаджиев Ч., Фликштейн И. Введение в вепольный анализ. - Баку: ОЛМИ, 1973. - 26 с.
47. Альтшуллер Г.С. Как научиться изобретать. Тамбов: Кн. изд., 1961. – 128 с.
48. Альтшуллер Г.С. Основы изобретательства. – Воронеж: Центрально-Черноземное кн. изд., 1964. – 240 с.
49. Альтшуллер Г.С., Селюцкий А.Б. Крылья для Икара: Как решать изобретательские задачи. – Карелия: Петрозаводск, 1980. – 224 с.
50. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в ТРИЗ. – Новосибирск: Наука, 1986. – 209 с.
51. Альтшуллер Г.С. АРИЗ – значит победа. Алгоритм решения изобретательских задач АРИЗ–85-В / Сост. А.Б.Селюцкий. Карелия: Петрозаводск, 1989. – 280 с.
52. Соколов А.В. Шпионские штучки. Новое и лучшее. – СПб.: ООО «Издательство Полигон», 2000. – 256 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – МЕЖОТРАСЛЕВОЙ ФОНД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТА

1. Преобразование формы

1.1. Использовать круговую, спиральную, древовидную, сферическую или другую компактную форму.

1.2. Сделать в объекте (элементе) отверстия или полости. Инверсия приема.

1.3. Проверить соответствие формы объекта законам симметрии. Перейти от симметричной формы и структуры к асимметричной. Инверсия приема.

1.4. Перейти от прямолинейных частей, плоских поверхностей, кубических и многогранных форм (особенно в местах сопряжений) к криволинейным, сферическим и обтекаемым формам. Инверсия приема.

1.5. Объекту (элементу), работающему под нагрузкой, придать выпуклую (более выпуклую) форму.

1.6. Компенсировать нежелательную форму сложением с обратной по очертанию формой.

1.7. Выполнить объект в форме:

- другого технического объекта, имеющего аналогичное название или назначение;

- животного, растения или их органа;

- человека или его органов.

1.8. Сделать объект (элемент) приспособленным к форме человека или его органов.

1.9. Использовать в аналогичных условиях работы природный принцип формирования в живой или неживой природе.

1.10. Сделать рациональный (оптимальный) раскрой листового или объемного материала; внести изменения в форму деталей для более полного использования материала.

1.11. Выбрать конструкцию деталей, в наибольшей мере приближающуюся по форме и размерам выпускаемого проката в других профильных заготовок.

1.12. Найти глобально-оптимальную форму.

1.13. Найти наибольшую цельную форму объекта (зрительное выделение главного функционального элемента, устранение или прикрытие многих ненужных деталей и т. д.).

1.14. Использовать различные виды симметрии и асимметрии, динамические и статические свойства формы, ритма (чередования одинаковых или схожих элементов), нюансов и контраста.

1.15. Осуществить гармоническую увязку форм различных элементов (выбор масштабов и соотношений между объектами и окружающей предметной средой, использование эстетически предпочтительных пропорций).

1.16. Выбрать (придумать) наиболее красивую форму объекта и его элементов.

2. Преобразование структуры

2.1. Исключить наиболее напряженный (нагруженный) элемент.

2.2. Исключить элемент при сохранении объектом всех прежних функций. Один элемент выполняет несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других элементах. Убрать «лишние детали» даже при потере «одного процента эффекта».

2.3. Присоединить к объекту новый элемент в виде жестко или шарнирно соединенной пластины (стержня, оболочки или трубы), находящейся в рабочей среде или в контакте с ней.

2.4. Присоединить к базовому объекту дополнительное специализированное орудие труда, инструмент и т.п.

2.5. Заменить связи (способ или средства соединения) между элементами; жесткую связь сделать гибкой или наоборот.

2.6. Заменить источник энергии, тип привода, цвет и т. д.

2.7. Заменить механическую схему электрической, тепловой, оптической или электронной.

2.8. Существенно изменить компоновку элементов; уменьшить компоновочные затраты.

2.9. Сосредоточить органы управления и контроля в одном месте.

2.10. Объединить элементы единым корпусом, станиной или изготовить объект цельным.

2.11. Ввести единый привод, единую систему управления или энергоснабжения.

2.12. Соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты.

2.13. Объединить в одно целое объекты, имеющие самостоятельное назначение, которое сохраняется после объединения в новом комплексе.

2.14. Использовать принцип агрегатирования. Создать базовую конструкцию (единую раму, станину), на которую можно «навесить» различные (в различных комбинациях) рабочие органы, агрегаты, инструменты.

2.15. Совместить или объединить явно или традиционно несовместимые объекты, устранив возникающие противоречия.

2.16. Выбрать материал, обеспечивающий минимальную трудоемкость изготовления деталей и обработки заготовок.

2.17. Использовать раздвижные раскладные сборные надувные и другие конструкции, обеспечивающие значительное уменьшение габаритных размеров при переводе ТО из рабочего состояния в нерабочее.

- 2.18. Найти глобально-оптимальную структуру.
 2.19. Выбрать (придумать) наиболее красивую структуру.

3. Преобразования в пространстве

- 3.1. Изменить традиционную ориентацию объекта в пространстве:
 - горизонтальное положение на вертикальное или наклонное;
 - положить на бок;
 - повернуть низом вверх;
 - повернуть путем вращения.
- 3.2. Использовать «пустое пространство» между элементами объекта. Один элемент проходит сквозь полость в другом элементе.
- 3.3. Объединить известные порознь объекты (элементы) в размещением одного внутри другого по принципу «матрешки».
- 3.4. Размещение по одной линии заменить размещением по нескольким линиям или по плоскостям. Инверсия приема.
- 3.5. Заменить размещение по плоскости размещением по нескольким плоскостям или в трехмерном пространстве; перейти от одноэтажной (однослойной) компоновки к многоэтажной (многослойной). Инверсия приема.
- 3.6. Изменить направление действия рабочей силы или среды.
- 3.7. Перейти от контакта в точке к контакту по линии; от контакте по линии к контакту по поверхности; от контакта по поверхности к объемному (пространственному). Инверсия приема.
- 3.8. Осуществить сопряжение по нескольким поверхностям.
- 3.9. Приблизить рабочие органы объекта к месту выполнения ими своих функций без передвижения самого объекта.
- 3.10. Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на их доставку.
- 3.11. Перейти от последовательного соединения элементов к параллельному или смешанному. Инверсия приема.
- 3.12. Разделить объект на части так, чтобы приблизить каждую из них к тому месту, где она работает.
- 3.13. Разделить объект на две части — «объемную» и «необъемную»; вынести «объемную» часть за пределы, ограничивающие объем.
- 3.14. Вынести элементы, подверженные действию вредных факторов, за пределы их действия.
- 3.15. Перенести (поместить) объект или его элемент в другую среду, исключающую действие вредных факторов.
- 3.16. Выйти за традиционные пространственные ограничения или габаритные размеры.

4. Преобразования во времени

4.1. Перенести выполнение действия на другое время. Выполнить требуемое действие до начала или после окончания работы.

4.2. Перейти от непрерывной подачи энергии (вещества) или непрерывного действия (процесса) к периодическому или импульсному. Инверсия приема.

4.3. Перейти от стационарного во времени режима к изменяющемуся.

4.4. Исключить бесполезные («вредные») интервалы времени. Использовать паузу между импульсами (периодическими действиями) для осуществления другого действия.

4.5. По принципу непрерывного полезного действия осуществлять работу объекта непрерывно, без холостых ходов. Все элементы объекта должны все время работать с полной нагрузкой.

4.6. Изменить последовательность выполнения операций.

4.7. Перейти от последовательного осуществления операций к параллельному (одновременному). Инверсия приема.

4.8. Совместить технологические процессы или операции. Объединить однородные или смежные операции. Инверсия приема.

5. Преобразование движения и силы

5.1. Изменить направление вращения.

5.2. Заменить поступательное (прямолинейное) или возвратно-поступательное движение вращательным. Инверсия приема.

5.3. Устранить или сократить холостые, обратные и промежуточные ходы и движения.

5.4. Существенно изменить направление движения, в том числе на противоположное.

5.5. Заменить традиционную сложную траекторию движения прямой или окружностью. Инверсия приема.

5.6. Заменить изгиб растяжением или сжатием. Заменить сжатие растяжением.

5.7. Разделить объект на две части — «тяжелую» и «легкую», передвигать только «легкую» часть.

5.8. Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать обрабатываемый объект.

5.9. Заменить трение скольжения трением качения. Инверсия приема.

5.10. Перейти от неподвижного физического поля к движущемуся. Инверсия приема.

5.11. Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга. Сделать движущиеся элементы неподвижными, а неподвижные - движущимися.

5.12. Изменить условия работы так, чтобы опасные или «вредные» моменты осуществлялись на большой скорости. Инверсия приема.

5.13. Использовать магнитные силы.

5.14. Компенсировать действие массы объекта соединением его с объектом, обладающим подъемной силой.

6. Преобразование материала и вещества

6.1. Рассматриваемый элемент и взаимодействующие с ним элементы сделать из одного и того же материала или близкого ему по свойствам. Инверсия приема.

6.2. Выполнить элемент или его поверхность из пористого материала. Заполнить поры каким-либо веществом.

6.3. Разделить объект (элемент) на части так, чтобы каждая из них могла быть изготовлена из наиболее подходящего материала.

6.4. Убрать лишний материал, не несущий функциональной нагрузки.

6.5. Изменить поверхностные свойства объекта (элемента); упрочить поверхность объекта; нейтрализовать свойства материала на поверхности объекта.

6.6. Заменить жесткую часть элементами из материала, допускающего изменение формы при эксплуатации; вместо жестких объемных конструкций использовать гибкие оболочки и пленки. Инверсия приема.

6.7. Изменить физические свойства материала, например, изменить агрегатное состояние.

6.8. Заменить некоторые объекты среды на объекты с другими физико-механическими и химическими свойствами.

6.9. Использовать другой материал (более дешевый, новейший и т. д.).

6.10. Использовать детали из материала с последующим отверждением.

6.11. Отделить вредные или нежелательные примеси от вещества.

6.12. Заменить традиционную окружающую среду. Рассмотреть возможность использовать вакуума, инертной, водной, космической или какой-либо другой среды.

6.13. Заменить объекты их оптическими копиями (изображениями); использовать изменение масштаба изображения. Перейти от видимых оптических копий к инфракрасным, ультрафиолетовым и другим изображениям.

6.14. Дорогостоящий долговечный элемент заменить дешевым, недолговечным.

6.15. Заменить разнородные по материалу и форме элементы одним унифицированным или стандартным элементом.

6.16. Выполнить элементы из материалов с различающимися характеристиками, дающими нужный эффект (например, с разным термическим расширением).

6.17. Вместо твердых частей использовать жидкие или газообразные (надувные, гидронаполняемые, воздушные подушки, гидростатические, гидрореактивные). Инверсия приема.

6.18. Выбрать материалы, обеспечивающие снижение отходов при изготовлении деталей. Например, перейти от применения деталей, изготавливаемых

обработкой резанием, к деталям из пластмассы (изготавливаемых формовкой) или металлокерамики.

6.19. Перейти к безотходным технологиям, например, получить отходы материалов в более ценном виде позволяющем использовать их для изготовления других деталей.

6.20. Осуществить упрочнение материалов механической термической, термохимической, электрофизической, электрохимической, лазерной и другими видами обработки.

6.21. Использовать материалы с более высокими удельными прочностными, электрическими, теплофизическими и другими характеристиками.

6.22. Использовать армированные, композиционные, пористые и другие новые перспективные материалы.

6.23. Использовать материал с изменяемыми во времени характеристиками (жесткостью, прозрачностью и т.д.).

7. Приемы дифференциации

7.1. Разделить движущийся поток (вещества, энергии, информации) на два или несколько.

7.2. Разделить сыпучий, жидкий или газообразный объект на части.

7.3. Сделать элемент съемным, легко отделяемым.

7.4. Дифференцировать привод и другие источники энергии; приблизить их к исполнительным органам и рабочим зонам.

7.5. Сделать автономным управление и привод каждому элементу.

7.6. Провести дробление традиционного целого объекта на мелкие однородные элементы с аналогичной функцией. Инверсия приема.

7.7. Разделить объект на части, после чего изготавливать, обрабатывать, грузить и т. п. каждую часть отдельно, а затем выполнять сборку.

7.8. Разделить объект на части так, чтобы их можно было заменять при изменении режима работы.

7.9. Разделить объект на части: «горячую» и «холодную»; изолировать одну от другой.

7.10. Представить объект в виде составной конструкции; изготовить его из отдельных элементов и частей.

7.11. Придать блочную структуру объекту; при которой каждый блок выполняет самостоятельную функцию.

7.12. Выделить в объекте самый нужный элемент (нужное свойство) и усилить его или улучшить условия его работы.

8. Количественные изменения

8.1. Резко изменить (в несколько раз, в десятки и сотни раз) параметры или показатели объекта (его элементов, окружающей среды).

8.2. Увеличить в объекте число одинаковых или подобных друг другу элементов (или сделать наоборот). Изменить число одновременно действующих или обрабатываемых объектов (элементов), например, рабочих машин, их рабочих органов, двигателей и т. д.

8.3. Изменить габаритные размеры, объем или длину объекта при переводе его в рабочее или нерабочее состояние.

8.4. Увеличить степень дробления объекта (или сделать наоборот).

8.5. Допустить незначительное снижение требуемого эффекта.

8.6. Использовать идею избыточного решения (если трудно получить 100% требуемого эффекта, задаться получить несколько больше).

8.7. Изменить (усилить) вредные факторы так, чтобы они перестали быть вредными.

8.8. Уменьшить число функций объекта и сделать его более специализированным, соответствующим только оставшимся функциям и требованиям.

8.9. Гиперболизировать, значительно увеличить размеры объекта и найти ему применение. Инверсия приема.

8.10. Повысить интенсивность технологических процессов с рабочей зоной в виде площадки или замкнутого объекта.

8.11. Создать местное, локальное качество; осуществить локальную концентрацию сил, напряжения и т.п.

8.12. Найти глобально-оптимальные параметры ТО по различным критериям развития.

9. Использование профилактических мер

9.1. Предусмотреть прикрытие и защиту легко повреждающихся элементов. Экранировать объект.

9.2. Ввести предохранительные устройства или блокировку.

9.3. Разделить хрупкий и часто повреждающийся объект на части.

9.4. Выполнить объект (элемент) разборным так, чтобы можно было заменить отдельные поврежденные части.

9.5. Для уменьшения простоев и повышения надежности создать легко используемый запас рабочих органов или элементов. Предусмотреть в ответственных частях объекта дублирующие элементы.

9.6. Защитить элемент от воздушной или другой агрессивной среды.

9.7. Заранее придать объекту напряжения, противоположные недопустимым или нежелательным рабочим напряжениям.

9.8. Заранее придать объекту изменения, противоположные недопустимым или нежелательным изменениям, возникающим в процессе работы.

9.9. Заранее выполнить требуемое изменение объекта (полностью или хотя бы частично).

9.10. Обеспечить автоматическую подачу смазочных материалов к трущимся частям.

9.11. Изолировать объект от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких пленок (поместить объект в оболочку, капсулу, гильзу). Инверсия приема.

9.12. Придать объекту новое свойство, например, обеспечить его плавучесть, герметизацию, самовосстановление, сделать его прозрачным, электропроводным и т. д.

9.13. Сделать объект (элементы) взаимозаменяемым.

9.14. Предусмотреть компенсацию неточностей изготовления объекта.

9.15. Разделить объект на части так, чтобы при выходе из строя одного элемента объект в целом сохранял работоспособность.

9.16. Для повышения надежности заранее подготовить аварийные средства.

9.17. Обеспечить снижение или устранение вибрационных, ударных нагрузок и инерционных перегрузок.

9.18. Использовать объекты живой и неживой природы в формировании зоны эстетического воздействия.

9.19. Исключить из окружающей предметной среды объекты, вызывающие отрицательные эмоции (создание зеленой изгороди из деревьев и кустарников, маскировка, мимикрия под предметы, вызывающие положительные эмоции и т. д.).

9.20. Исключить шумы и запахи, вызывающие отрицательные эмоции; трансформировать их в более эстетические звуки и ароматы.

9.21. Создать замкнутые безотходные технологии с утилизацией и возвращением в производство загрязняющих веществ в виде сырья и материалов.

9.22. Осуществить разработку новых устройств и технологий, обеспечивающих резкое снижение загрязнения и изменения среды (например, геотехнология, приливные гидроэлектростанции и т.д.).

10. Использование резервов

10.1. Использовать массу объекта (элемента) или периодически возникающие усилия для получения дополнительного эффекта.

10.2. Компенсировать чрезмерный расход энергии получением какого-либо дополнительного положительного эффекта.

10.3. Исключить подбор в подгонку (регулировку и выверку) деталей и узлов при сборе объекта.

10.4. Устранить вредный фактор (например, за счет компенсации его другим вредным фактором).

10.5. Использовать или аккумулировать тормозную и другую попутно получаемую энергию.

10.6. Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие (например, не охлаждать объект, а нагревать).

10.7. Выполнивший свое назначение или ставший ненужным элемент, отходы (энергия, вещество) использовать для других целей.

10.8. Использовать вредные факторы (в частности, вредные воздействия среды) для получения положительного эффекта.

10.9. Выбрать и обеспечить оптимальные параметры (температуру, влажность, освещение и др.).

10.10. Уточнить расчетные напряжения в элементах на основе использования более точных математических моделей и ЭВМ.

10.11. Перейти на другие физические принципы действия с более дешевыми или доступными источниками энергии или более высоким КПД.

10.12. После конструктивного улучшения какого-либо элемента определить, как должны быть изменены другие элементы, чтобы эффективность объекта в целом еще более повысилась.

11. Преобразования по аналогии

11.1. Применить объект, предназначенный для выполнения аналогичной функции в другой отрасли техники, пользуясь классификаторами патентов.

11.2. Использовать природный принцип повторяемости однотипных элементов {пчелиные соты, клетки, листья, кристаллы и т.п.).

11.3. Использовать в качестве прототипа искомого технического решения объект неживой или живой природы, близкие или отдаленные области техники.

11.4. Применить решение, аналогичное имеющемуся:

- в ведущей отрасли техники или в древних, в прошлых технических объектах;

- в неживой природе физика, химия, биохимия и др.;

- в современных или вымерших живых организмах;

- в экономике или общественной жизни людей;

- в научно-фантастической литературе.

Ответить на вопрос, как решаются подобные задачи в указанных областях?

11.5. Использовать аналоги свойств других объектов; использовать свойства без самого объекта,

11.6. Применить принцип имитации, заключающийся в создании таких объектов, которые по форме, цвету, внешнему виду и другим необходимым свойствам аналогичны другому объекту.

11.7. Использовать эмпатию: мысленно превратить себя в объект (элемент), с помощью своих ощущений найти наиболее целесообразное решение.

11.8. Использовать в качестве прототипа детские игрушки.

11.9. Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии, модели, макеты.

12. Повышение технологичности

12.1. Упростить форму и конструкцию деталей путем сокращения числа обрабатываемых поверхностей, неплоских и некруговых поверхностей, рабочих ходов при обработке.

12.2. Выбрать форму и конструкцию элементов, обеспечивающих применение наиболее производительного технологического оборудования, приспособлений и инструмента.

12.3. Выбрать конструкцию деталей узлов, обеспечивающую максимальное совмещение и одновременное выполнение операций обработки и сборки.

12.4. Снизить или исключить пригоночные работы при сборке. Использовать средства компенсации неточности изготовления.

12.5. Осуществить технологическую унификацию конструкций, формы и размеров деталей.

12.6. Заменить механическую обработку способом обработки без снятия стружки.

12.7. Использовать саморегулирующиеся, восстанавливающиеся, самозатачивающиеся элементы и инструменты, сокращающие трудоемкость профилактического ухода и ремонта.

12.8. Максимально применять стандартные элементы, имеющие весьма широкую область применения.

12.9. Использовать модульный принцип конструирования, когда из небольшого числа стандартных элементов (универсального набора) можно собрать любое изделие в заданном классе (например, универсально-сборные приспособления, универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики).

12.10. Максимально использовать в проектируемом объекте освоенные в производстве узлы и детали.

12.11. Максимально использовать заготовки с размерами, близкими к размерам готовой детали. Использовать точное литье, штамповку, сварку.

12.12. Выбрать наиболее целесообразное расчленение объекта на блоки, узлы и детали.

12.13. Выбрать материал, обеспечивающий минимальную трудоемкость изготовления деталей.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 – ОБОБЩЕННЫЙ ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД

Изложение настоящей методики инженерного творчества дано по книге [26] с некоторыми сокращениями.

Информационная база. По нашему мнению, недостаток многих весьма интересных и оригинальных эвристических методов поиска новых ТР заключается в отсутствии или слабой подготовке специальных информационных массивов. Поэтому в обобщенном эвристическом методе используется следующая информационная база.

М1 - фонд физико-технических эффектов (см. Приложение 3).

М2 - информационный фонд ТР. Для рассматриваемого класса ТО должен содержать по возможности все наиболее интересные, перспективные и существенно различающиеся ТР в рассматриваемой области техники. Этот фонд должен включать следующие группы ТР: современные, широко применяемые ТР; современные ТР, прошедшие экспериментальную и опытную проверку; отечественные и зарубежные патентные решения последних лет (включая ТР, опубликованные в литературе); старые ТР. Кроме того, целесообразно провести систематизацию и классификацию фонда ТР по предметному, функциональному или другому более удобному принципу. Одним из наиболее рациональных способов представления и описания информации о классе ТР являются морфологические таблицы с постоянными столбцами, число которых может увеличиваться.

М2А - фонд ТР на уровне лучших мировых образцов. Представляет собой часть фонда М2, которая выделена в связи с особой важностью информации. В дополнение к методическим рекомендациям по фонду М2 выделяется список наиболее важных технико-экономических показателей, которыми характеризуется каждое ТР. М2А формируется с помощью торговых бюллетеней, рекламных материалов, проспектов выставок, последних публикаций в литературе, статистических отчетов по реализации продукции и т. п.

М3 - список требований, предъявляемых ТР. Включает требования ко всему классу ТО и используется для составления технических заданий на разработку изделий в целом и их элементов. Все множество требований целесообразно классифицировать по группам: эксплуатационные, конструктивные, технологические, эргономические, экономические, ремонтно-профилактические и т. д. При составлении списка требований и выбора их типа рекомендуется использовать ГОСТы и технические условия на рассматриваемый класс ТО, а также на ТО, близкие по функциям, условиям работы и т. п. Желательно также использовать технические задания и акты испытаний на уже разработанные ТО. Существенное дополнение и уточнение списка дает анализ функций изделия и его элементов.

М4 - информационный фонд материалов и конструктивных элементов, перспективных для создания новых ТР. Формируется путем изучения литературы по материаловедению и интересующим конструктивным элементам, но-

вых стандартов в близких отраслях техники, новых патентов и авторских свидетельств, рекламных материалов, проспектов выставок и т. п.

М5 - информационный фонд технологических процессов. Содержит наборы технологического оборудования и технологических процессов, которые можно в принципе использовать для изготовления разрабатываемого класса ТО. Фонд М5 целесообразно классифицировать по группам технологического оборудования, имеющегося на предприятии-изготовителе, в отрасли, стране, за рубежом.

М6 - фонд эвристических приемов.

М7 - информационный фонд ТР ведущего класса ТО. Определение ведущего класса ТО приведено ниже в процедуре 2.5. Для формирования фонда М7 можно использовать рекомендации по формированию фондов М2, М2А, М4.

М8 - методы оценки и выбора вариантов ТР. Предназначены для сравнительной оценки множества ТР или ТО с целью выбрать наилучшие варианты, чаще всего по векторному критерию. К таким методам относятся: экспертные оценки и квалиметрический анализ, метод Делфи, метод ПАТТЕРН, комплексные технико-экономические оценки, различные методы математического моделирования, методики лабораторных и натурных испытаний и др.

Структура и процедуры метода. Поиск новых, более эффективных ТР — это, прежде всего, процесс подготовки и обработки информации, с помощью которой синтезируют новую информацию в виде конструктивных решений изделий или технологических процессов. В связи с этим обобщенный эвристический метод представляет собой описание такого процесса, условно разделенного на семь этапов. Каждый этап состоит из нескольких процедур подготовки и обработки информации, которые отличаются однородностью выполняемой работы.

На рисунке П.2.1 приведена схема обобщенного эвристического метода, где указаны названия этапов, число процедур в каждом этапе и используемые информационные фонды.

Ниже дано описание процедур на каждом этапе. После названия процедуры в скобках указаны номера предыдущих процедур, результаты работы по которым используются в данной процедуре, а также номера информационных фондов. Процедуры, отмеченные звездочкой, являются инвариантными, их рекомендуется применять при решении любой задачи. Остальные процедуры используются в зависимости от наличия времени, специфики задачи и требуемой глубины ее проработки.

1-й этап. Предварительная постановка задачи.

1.1. Сформулируйте функцию на качественном уровне.

1.2*. Сформулируйте функцию на количественном уровне (1.1, М3).

1.3*. Выберите существующие ТО, в наибольшей мере удовлетворяющие сформулированной функции (1.2, М2, М2А, М7). Если при этом будет найден ТО с необходимой функцией, то решение задачи можно прекратить или перейти к процедуре 6.1.

1.4*. Составьте список недостатков существующих ТО (1.2, 1.3, М3).

1.5*. Составьте предварительную формулировку задачи (1.2 - 1.4).

Имеются два варианта. Требуется:

а) усовершенствовать выявленные функционально близкие ТО для устранения их недостатков; при этом устранение недостатков будем одновременно считать целями решения задачи;

б) найти принципиально новый ТО, удовлетворяющий количественному описанию функции.

1.6. Сформулируйте задачу без специальных терминов.

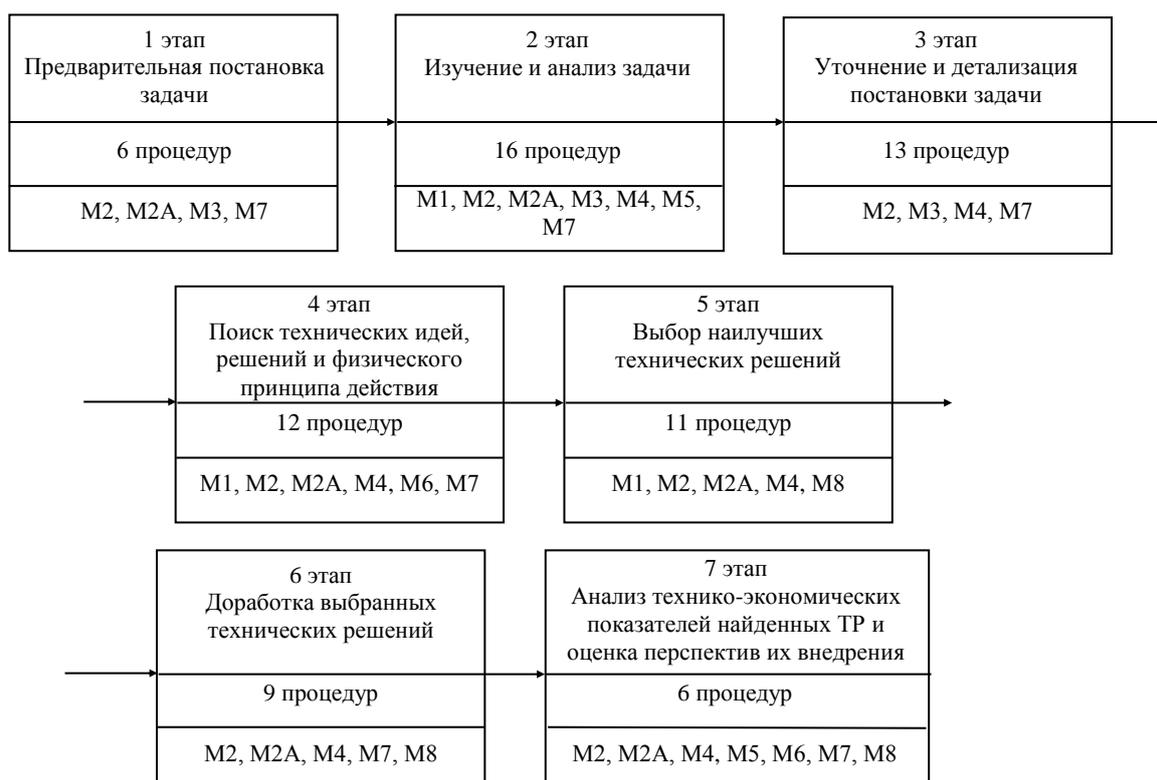


Рисунок П.2.1 - Схема обобщенного эвристического метода

2-й этап. Изучение и анализ задачи.

2.1. Составьте дерево конструктивной эволюции рассматриваемого класса ТО (1.3, М2, М2А).

2.2. Выявите тенденции развития рассматриваемого класса ТО (1.3, 2.1, М2, М2А) путем патентных исследований.

2.3. Соберите и изучите сведения о прогнозах развития рассматриваемого класса ТО.

2.4*. Определите основные факторы, решающим образом влияющие на развитие рассматриваемого класса ТО (1.1, 1.2, 1.4, 2.1 - 2.3, М2, М2А). Установите, какие причины заставляли каждый раз создавать новую модификацию ТО.

2.5. Определите основные факторы, влияющие на развитие ведущего класса ТО (М7). Ведущий класс ТО определяется функциональной близостью к рассматриваемому классу и более быстрыми темпами технического прогресса. Например, авиастроение представляется ведущим классом по отношению к автомобилестроению, космическая техника — по отношению к авиастроению, в целом машиностроение — по отношению к строительству.

2.6*. Определите возможности усиления отдельных характеристик функции (1.2 - 1.4, 2.1 - 2.5, М., М2А, М3, М4, М7).

2.7*. Проведите ранжирование недостатков (1.4, 2.6) с точки зрения степени важности их устранения. Выделите самые важные недостатки, устранение которых можно считать главными целями решения задачи.

2.8. Проведите ранжирование недостатков (1.4, 2.6, 2.7) с точки зрения трудности их устранения.

2.9. Выявите причины возникновения недостатков в существующих ТО (1.3, 1.4, 2.6 - 2.8).

2.10*. Изучите возможности комбинирования целей решения задачи (1.4, 1.5, 2.6 - 2.8), что позволит выделить взаимоусиливающие, взаимопротиворечивые и взаимонезависимые цели. Выделите наиболее перспективные комбинации целей.

2.11*. Проверьте реальность постановки задачи (1.5, 2.6, 2.9, М1, М2, М4, М5, М7) на современном уровне развития науки, техники и производства. Предварительная оценка физической, технической и технологической осуществимости предупреждает ненужную трату ресурсов на безуспешные попытки решения задачи.

2.12. Изучите условия достижения целей (1.4, 1.5, 2.1 - 2.11) и выделите благоприятные и неблагоприятные факторы, способствующие или мешающие достижению целей. К ним относятся психологические, этические, юридические, эргономические, экологические и другие факторы, влияющие на производство и функционирование будущих изделий. Следует выяснить, нет ли факторов, исключающих или запрещающих решение задачи.

2.13*. Постройте иерархическую систему (1.1, 1.2, 1.4, 2.6), в которой выделите в качестве отдельных элементов рассматриваемый ТО (задачу) и другие смежные с ним объекты, включая другие ТО. Установите связи рассматриваемого ТО со смежными объектами и проверьте соответствие этих связей по основным направлениям.

2.14*. Проверьте возможность удовлетворения потребности путем внесения изменений в смежные объекты (1.2, 1.4, 2.6, 2.13). Проведите технико-экономическое сравнение первоначальной постановки задачи (1.4, 2.6) с задачами внесения изменений в смежные объекты. Если задача изменения смежных объектов более эффективна, то проработайте ее по пунктам 1.1 - 1.5, 2.1 - 2.11.

2.15. Оцените степень актуальности поставленной задачи в настоящее время и в обозримом будущем (1.2*, 1.4, 1.5, 2.6, 2.13, 2.14, М2, М2А, М4, М5, М7). Рассмотрите решение задачи в историческом развитии всей пробле-

мы или области техники, к которой относится задача. Возможны три ситуации:

а) решение задачи значительно опережает темпы развития рассматриваемой области техники и в настоящее время в целом не улучшает работу существующего комплекса технических систем;

б) степень актуальности соответствует требованиям комплексного прогрессивного развития рассматриваемой области техники;

в) поставленная задача остро актуальна, поскольку ее решение устраняет «узкое место» в рассматриваемой области техники или технологии.

В случае а) часто целесообразно отказаться от решения задачи, а в случае в) решение крайне необходимо.

2.16*. Составьте представление об идеальном техническом решении рассматриваемого класса ТО (1.1, 1.2, 1.4, 2.1 - 2.6, 2.13, 2.14, М2, М2А, М7).

3-й этап. Уточнение и детализация постановки задачи.

3.1*. Составьте список требований к существующим ТО, наиболее удовлетворяющим сформулированной функции (1.2, 1.3, М3).

3.2*. Составьте список требований к разрабатываемому ТО (1.2, 1.4, 2.6, 2.9, 2.15, М3).

3.3. Сравните список требований с показателями ведущего класса ТО (2.5, 3.2, М7) и дополните список требований в пункте 3.2, что позволит повысить качество разрабатываемого ТО.

3.4. Выделите требования, которые заведомо нельзя изменять при решении задачи (1.2, 1.4, 2.4, 2.6 - 2.8, 2.11 - 2.14, 3.1 - 3.3, М2, М3).

3.5. Выявите путем анализа и экспертных оценок ложные требования и исключите их из списка (3.1 - 3.4). В большинстве случаев ложные или лишние требования возникают из-за субъективного отношения к задаче, инерции мышления, психологических барьеров и т.д. Оцените возможность нарушения незыблемости требований, выделенных в пункте 3.4. Внесите изменения в список требований,

3.6*. Выделите главные требования к разрабатываемому ТО (1.2, 2.2 - 2.6, 2.15, 3.2, 3.3), которые обычно соответствуют его основной функции, и внесите поправку в эти требования и связанные с ними показатели с учетом времени освоения ТО и его морального старения.

3.7. Выделите новые требования (1.3, 3.1 - 3.3, М3), которые имели место в существующих близких ТО.

3.8. Определите входные и выходные параметры разрабатываемого ТО (1.2, 2.13, 2.14, 3.2, М2, М4, М7) и накладываемые на них численные ограничения с учетом настоящего и будущего времени. Часто входные и выходные параметры должны предусматривать резервы в некоторых пределах, отодвигающих срок морального старения.

3.10. Выявите функциональные связи между входными и выходными параметрами (3.8). Выразите их математически или алгоритмически. Проверьте необходимость внесения изменений в заданные значения входных и выходных параметров.

3.10. Рассмотрите входные параметры как выходные предыдущего смежного ТО, а выходные — как входные параметры последующего ТО (2.13, 2.14, 3.8, 3.9). Уточните полноту и значения входных и выходных параметров. На основе пунктов 3.8 - 3.10 дополните список в пункте 3.2.

3.11*. Выявите противоречия развития (улучшения) ТО (1.2, 1.4, 2.6 - 2.14, 3.2 - 3.5). Эти противоречия возникают, когда улучшение одних показателей (требований) ТО приводит к нежелательному изменению других ее показателей или окружающей среды, включая другие ТО и человека. Для выявления противоречий улучшения ТО рекомендуется построить прямоугольную матрицу, в которой по вертикали перечисляется список требований, а по горизонтали — тот же список требований и список факторов окружающей среды. Далее для каждого улучшаемого требования в матрице отмечаются ухудшаемые другие требования и факторы среды.

3.12. Изобразите графически противоречия развития (улучшения) ТО (3.11).

3.13. Выберите наиболее важные для решения задачи и трудно устранимые противоречия улучшения (2.7, 2.8, 3.11, 3.12)

4-й этап. Поиск технических идей, решений и физических принципов действия.

4.1*. Преобразуйте в искомое ТР наиболее близкие решения существующих ТО (1.3, 2.2, 1.4, М2, М4)

4.2*. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР лучшие мировые образцы (М2А, М4).

4.3*. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР идеальное ТР (2.16, М1, М4), используя различные физические эффекты и дополнение его крайне необходимыми элементами.

4.4. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР прогнозируемые конструктивные решения (2.3, М1, М4).

4.5. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР аналогичные решения из ведущего класса ТО (2.5, М4, М7).

4.6. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР старые практически используемые ТР или отброшенные в свое время, забытые решения (2.1, 2.2, М2, М4).

4.7*. Попытайтесь изменить стоящую выше по иерархии систему (2.13, 2.14), чтобы не создавать искомый ТО или существенно его упростить.

4.8. Попытайтесь решить задачу, устранив причины возникновения недостатков прототипов (2.9, М1).

4.9. Используйте методы морфологического анализа и синтеза (1.4, 1.5, 2.6, 2.9, 2.10, 2.14, 3.1 - 3.3, 3.6, 3.11, 3.12, М2, М2А, М4, Мб, М7) для проверки полноты найденных ТР.

4.10*. Сформулируйте новые физические принципы действия ТО и его основных элементов (1.4, 1.5, 2.6, 2.9, 2.10, 2.14, 3.1 - 3.3, 3.6, 3.11, 3.12, М1, М2, М2А, М4, М7).

4.11. Используйте метод гирлянд ассоциаций и метафор [27].

4.12*. Комбинируйте идеи (4.1 - 4.11). Попробуйте сначала попарную комбинацию всех найденных ТР и физических принципов действия и выберите из них взаимоусиливающие и взаимоулучшающие. Затем к выбранным парам попытайтесь присоединить третью (четвертую и т.д.) усиливающую идею. Попытайтесь комбинировать сразу по несколько идей.

5-й этап. Выбор наилучших ТР.

5.1. Проверьте полученные ТР на физическую осуществимость (М1) и выделите допустимые ТР.

5.2. Проверьте ТР на технологическую осуществимость (М5). Следует иметь в виду, что некоторые ТР в настоящее время технологически не реализуемы, но особо эффективные решения следует оставить для патентования и изучения возможности разработки соответствующей технологии.

5.3*. Проверьте оставшиеся ТР на их соответствие основным требованиям (1.2, 2.7, 3.6, 5.1, 5.2, М4, М8); выделите ТР, удовлетворяющие этим требованиям.

5.4. Проведите классификацию вариантов ТР (5.3) по физическому принципу действия, основным конструктивным, технологическим, эксплуатационным или другим признакам. Это позволит в дальнейшем проводить групповую обработку ТР.

5.5*. Выберите наиболее экономичные варианты (5.3, 5.4, М8), позволяющие решать задачу при минимальных затратах: материалов, энергии, трудовых ресурсов и т.п.

5.6. Выберите ТР, которые по основным показателям не ниже лучших мировых образцов (5.3, 5.4, М2А, М8).

5.7. Выберите ТР, в которых возможна наибольшая доля стандартных узлов и деталей (5.3, 5.4, М2, М4).

5.8*. Выберите ТР, наиболее полно реализующие сформулированную функцию, главные цели и требования (1.2, 2.6, 2.10, 3.6 5.3, 5.4, М8).

5.9*. Выберите ТР, наиболее полно устраняющие главные противоречия улучшения ТО (3.11 - 3.13, 5.3, 5.4).

5.10. Выберите ТР, требующие минимального или значительного изменения в смежных ТО (2.13, 2.14, 3.10, 5.3, 5.4, М8). Такие ТР часто представляют наибольший интерес для анализа и последующего выбора наилучших ТР.

5.11*. Выберите наилучшие ТР на основе анализа результатов по пунктам 5.5 - 5.10. Рекомендуется окончательно отобрать не более 10 вариантов.

6-й этап. Доработка выбранных технических решений.

6.1*. Проверьте наилучшие ТР на их соответствие полному списку требований (3.2, 3.3, 3.5, 5.11). Выделите ТР, удовлетворяющие и не удовлетворяющие полному списку требований.

6.2*. Преобразуйте недопустимые ТР в допустимые (6.1, М4). Для этого рекомендуется использовать процедуры 4-го и 5-го этапов, рассматривая недопустимые ТР и их узлы как прототипы.

6.3*. Попытайтесь улучшить допустимые функциональные узлы (6.1, 6.2, М4) во всех наилучших допустимых ТР, используя также процедуры 4-го и 5-го этапов. Составьте уточненный список наилучших ТР.

6.4. Определите возможные изменения в смежных ТО всего комплекса, включающего разрабатываемый ТО (2.13, 2.14, 3.10, 6.3). Попытайтесь снизить затраты на эти изменения, используя процедуры 4-го и 5-го этапов.

6.5. Определите оптимальные значения основных параметров наилучших ТР (6.3, 6.4). При этом рекомендуется использовать специальные методы оптимизации.

6.6. Проведите ранжирование наилучших ТР (6.3 - 6.5, М8) по степени эффективности, достижения главной цели и т.д. Для более точного построения последовательности от самого лучшего ТР до худшего рекомендуется использовать методы экспертных оценок, квалиметрического анализа и другие, указанные в М8.

6.7. Разработайте эскизы и чертежи наилучших ТР (6.6).

6.8. Проведите экспериментальную или опытную проверку наилучших ТР (6.6, 6.7).

6.9. Выявите недостатки ТР после экспериментальной (опытной) проверки (6.8). Устраните выявленные недостатки. Если выявленные недостатки существенны и при этом не очевидны пути их устранения, то рекомендуется снова использовать процедуры 4-го и 5-го этапов.

7-й этап. Анализ технико-экономических показателей найденных ТР и оценка перспектив их внедрения.

7.1*. Оцените ожидаемый эффект от использования полученных ТР (1.2, 1.5, 2.12, 2.14, 2.15, 3.1 - 3.3, 3.6, 3.13, 6.5 - 6.9, М2, М2А, М8, М7). Оценка производится по различным показателям в относительных величинах по сравнению с существующими наилучшими практически используемыми ТО.

7.2. Оцените перспективность найденных ТР (1.2, 1.5, 2.2—2.6, 2.11 - 2.16, 3.2, 3.3, 3.6, 3.13, 5.5 - 5.10, 6.5 - 6.9, 7.1, М2, М2А, М5, М8, М7). Ответьте на вопрос: как и в какой мере найденные ТР изменят существующую ситуацию в различных отраслях и областях техники, создадут ли новые возможности для удовлетворения потребностей, создадут ли новые потребности и новые трудности.

7.3*. Определите область практического применения полученных ТР в рассматриваемой области техники (2.2 - 2.4, 2.12 - 2.15, 3.2, 3.7, 5.5 - 5.10, 6.5, 6.6, 7.1, 7.2) в настоящем и будущем. Оцените объемы реализации новых ТО.

7.4. Определите область применения аналогичных ТР в ведущей других областях и отраслях техники (1.3, 2.5, 3.1, 3.3, 5.5 - 5.10, 6.5 - 6.9, 7.1 - 7.3, М7) в настоящее время и в будущем. Оцените объем реализации новых ТО. Для более полного охвата возможных приложений рекомендуется использовать стандарты и тезаурусы отраслевой терминологии, классификаторы патентных описаний, ключевые слова библиографических описаний и т. д.

7.5*. Оцените ожидаемый экономический эффект (7.1 - 7.4, М8) в зависимости от объемов реализации новых ТО.

7.6. Составьте заявки на изобретения для найденных ТР (2.9, 2.14, 2.16, 4.1 - 4.12, 5.5 - 5.10, 6.2 - 6.5, М2, М2А, М3, М7).

После решения задачи и получения удовлетворительных результатов рекомендуется проанализировать ход ее решения и выявить методические средства (новые эвристические приемы), с помощью которых были получены наиболее эффективные новые ТР. Включите эти методические средства в массив М6. Дополните массив М2 наилучшими найденными ТР.

В книге [26] даны рекомендации по составлению специализированных эвристических методов на основе обобщенного эвристического метода. Приведены примеры составления и использования специализированных методов, ориентированных на определенный класс ТО. Этот же подход можно использовать для составления индивидуальных методик инженерного творчества для личного пользования.

Основная суть составления специализированного метода состоит в том, что в нем, во-первых, включаются все инвариантные процедуры, отмеченные звездочкой; во-вторых, добавляются другие процедуры, которые обеспечивают значительное усиление метода, а также новые специальные процедуры и информационные фонды, которые также обеспечивают повышение эффективности специализированного метода.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 – ФОНД ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ (ФТЭ)

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход <i>A</i>	Объект <i>B</i>	Выход <i>C</i>	Краткая сущность ФТЭ
1	Закон Ома [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	Проводники	Электрический ток <i>Плотность тока</i>	Возникновение в проводнике электрического тока, плотность которого пропорциональна напряженности поля
2	Закон Джоуля - Ленца [5, 12]	Электрический ток <i>Сила тока</i>	Проводники	Количество теплоты	Выделение в проводнике при протекании через него электрического тока определенного количества теплоты, пропорционального квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока
3	Эффект Зеебека [5, 12]	Температура <i>Градиент</i>	Контакт разнородных проводников	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение ЭДС в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми имеют различные температуры

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
4	Эффект Томсона [5, 12]	1. Температура <i>Градиент</i> 2. Электрический ток <i>Постоянный</i> <i>Сила тока</i>	Проводники	Тепловой поток	Выделение или поглощение теплоты (помимо выделения джоулевой теплоты) в проводнике с током, вдоль которого имеется градиент температуры
5	Эффект Пельтье [5, 12]	Электрический ток <i>Сила тока</i>	Контакт разнородных проводников	Тепловой поток	Выделение или поглощение теплоты при протекании электрического тока через контакт разнородных проводников
6	Закон Био-Савара-Лапласа [5, 12]	Электрический ток <i>Сила тока</i>	Проводники	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Создание в окружающем пространстве магнитного поля при протекании по проводнику электрического тока

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
7	Сверхпроводимость [5, 12]	Температура <i>Уменьшение</i> <i>Ниже критической</i>	Металлы Полупроводники	Удельное электрическое сопротивление <i>Скачкообразное уменьшение</i>	Скачкообразное уменьшение практически до нуля электрического сопротивления ряда металлических проводников и сильнолегированных полупроводников при охлаждении ниже критической температуры, характерной для данного материала
8	Тензорезистивный эффект [1, 12]	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Твердые проводники	Удельное электрическое сопротивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопротивления в твердых проводниках под действием растягивающих или сжимающих напряжений
9	Вторичная электронная эмиссия [5, 12]	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Первичный</i> <i>Плотность потока</i>	Твердые тела Жидкости	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Вторичный</i> <i>Плотность потока</i>	Испускание электронов (вторичных) твердыми и жидкими телами при их бомбардировке электронами (первичными)
10	Эффект Ганна [6, 12]	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Полупроводники GaAs, InP, ZnSe, CdTe, InSb, InAs и др.	Электрический ток <i>Высокочастотный</i> <i>Частота</i>	Генерация высокочастотных колебаний электрического тока в полупроводниках с N-образной вольт-амперной характеристикой

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
11	Второй закон Ньютона [10, 12]	Сила	Материальная точка	Ускорение	Возникновение под действием силы (или равнодействующей сил), приложенной к телу (материальной точке), ускорения, пропорционального силе и направленного по прямой, по которой эта сила действует
12	Магниторезистивный эффект [4, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Твердые проводники	Удельное электрическое сопротивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопротивления твердых проводников под действием магнитного поля
13	Эффект Гопкинса [4]	1. Температура <i>Увеличение</i> <i>Вблизи точки Кюри</i> 2. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Ферромагнетики	Магнитная проницаемость <i>Скачкообразное изменение</i>	Резкое возрастание магнитной проницаемости ферромагнетика в слабом магнитном поле вблизи точки Кюри В непосредственной близости к точке Кюри проницаемость падает (ферромагнетик становится парамагнетиком)
14	Катодолюминесценция [12]	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Плотность потока</i>	Люминофоры	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i>	Излучение света, возникающее при возбуждении люминофора электронным пучком

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
15	Пироэлектрический эффект [11, 12]	Температура <i>Изменение</i>	Нецентросимметричные кристаллические диэлектрики	Поверхностная плотность электрического заряда <i>Изменение</i>	Возникновение электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллических диэлектриков (пироэлектриков) при их нагревании или охлаждении
16	Закон Ампера [5, 12]	1. Магнитное поле <i>Однородное</i> <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток <i>Сила тока</i>	Твердые проводники	Сила	Возникновение механической силы, действующей на проводник, по которому протекает электрический ток, при помещении его во внешнее магнитное поле
17	Электрокалорический эффект [12]	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Кристаллические твердые тела (пироэлектрики)	Температура <i>Изменение</i>	Изменение температуры пироэлектрического кристалла под влиянием электрического поля
18	Термоэлектронная эмиссия [5, 12]	Температура	Твердые тела, жидкости	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Плотность потока</i>	Испускание электронов нагретыми телами в вакуум или другую среду

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
19	Эффект Холла [6, 12]	1. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток <i>Постоянный</i> <i>Сила тока</i>	Металлические проводники, полупроводники	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Разность потенциалов</i>	Возникновение разности потенциалов между боковыми гранями пластинки из металлического проводника или полу-проводника, вдоль которого протекает электрический ток, при действии перпендикулярного к ней магнитного поля
20	Магнитострикция [5, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Ферромагнетики, антиферромагнетики Ферримагнетики	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Изменение формы и размеров тела при его намагничивании
21	Эффект Эйнштейна-де-Хааза [5, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Ферромагнетики	Угловая скорость	Поворот свободно подвешенного ферромагнитного образца во внешнем магнитном поле
22	Автоэлектронная эмиссия [5, 12]	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Твердые и жидкие проводники	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Плотность потока</i>	Испускание электронов проводящими твердыми и жидкими телами под действием внешнего электрического поля высокой напряженности у их поверхности

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
23	Эффект Виллари (магнитоупругий эффект) [4, 12]	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Ферромагнетики	Намагниченность Изменение	Влияние механических деформаций (растяжения, кручения, изгиба и т.д.) на намагниченность ферромагнетика
24	Электролюминесценция [12]	Электрическое поле <i>Разность потенциалов</i>	Люминофоры (твердые тела, газы)	Электромагнитное излучение <i>Ультрафиолетовое, видимое, инфра-красное</i>	Люминесценция, возбуждаемая электрическим полем
25	Эффект Магнуса [12]	1. Угловая скорость 2. Поток жидкости (газа) <i>Скорость потока</i>	Твердые тела	Сила	Возникновение поперечной силы, действующей на тело, вращающееся в набегающем на него потоке жидкости (газа)
26	Естественная оптическая активность [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Линейно поляризованное</i>	Оптически активные вещества (твердые тела, жидкости)	Электромагнитное излучение <i>Линейно поляризованное</i> <i>Вращение плоскости поляризации</i>	Вращение плоскости поляризации оптического излучения при прохождении через некоторые вещества

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
27	Эффект Баркгаузена [12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> <i>Близка к коэрцитивной силе ферромагнетика</i> <i>Непрерывное изменение</i>	Ферромагнетики	Намагниченность <i>Скачкообразное изменение</i>	Скачкообразное изменение намагниченности ферромагнитного образца при непрерывном изменении внешнего магнитного поля
28	Эффект Барнетта [5, 12]	Угловая скорость	Ферромагнетики	Намагниченность <i>Изменение</i>	Изменение намагниченности ферромагнетика при его вращении в отсутствие внешнего магнитного поля
29	Закон Брюстера [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Неполяризованное</i>	Граница двух диэлектриков	Электромагнитное излучение <i>Линейно поляризованное</i>	Полная поляризация естественного (неполяризованного) света при падении на границу двух диэлектриков под углом Брюстера
30	Закон всемирного тяготения [10, 12]	Гравитационное поле <i>Напряженность гравитационного поля</i>	Материальная точка	Сила <i>Сила тяготения</i>	Действие на тело, находящееся в произвольной точке гравитационного поля, образуемого массой m_1 , силы гравитации, зависящей от массы этого тела и от напряженности гравитационного поля

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
31	Пьезоэлектрический эффект [5, 12]	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Кристаллические диэлектрики (пьезоэлектрики)	Поляризованность <i>Изменение</i>	Изменение поляризации некоторых кристаллических диэлектриков (пьезоэлектриков) при механической деформации
32	Обратный пьезоэлектрический эффект [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	Кристаллические диэлектрики (пьезоэлектрики)	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Появление механической деформации в анизотропных кристаллических диэлектриках под действием электрического поля
33	Пьезомагнитный эффект [4, 12]	Давление	Антиферромагнетики	Намагниченность	Возникновение в веществе намагниченности под действием внешнего давления
34	Закон Кулона [5, 12]	Электрическое поле <i>Поле точечного заряда</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Точечный заряд	Сила	Два точечных заряда взаимодействуют друг с другом с силой, пропорциональной произведению из зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
35	Сила Лоренца [5, 12]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Скорость	Заряженные частицы	Сила	Действие на движущуюся в магнитном поле заряженную частицу силы, перпендикулярной вектору магнитной индукции этого поля и вектору ее скорости
36	Электромагнитная индукция [5, 12]	Магнитное поле <i>Постоянное или переменное</i> <i>Магнитный поток</i> <i>Переменный</i>	Проводящий контур Движущийся (если магнитное поле постоянно) или неподвижный (если магнитное поле переменное)	Электрическое поле <i>Переменная ЭДС</i>	Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока через ограниченную контуром поверхность
37	Электростатическая индукция [5, 12]	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Проводники, диэлектрики	Поверхностная плотность электрического заряда <i>Увеличение</i>	Образование под действием внешнего электрического поля на поверхности проводника или диэлектрика равных и противоположных по знаку зарядов
38	Самоиндукция [5, 12]	Электрический ток <i>Сила тока</i> <i>Увеличение или уменьшение</i>	Замкнутый проводящий контур	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
39	Фотоэлектронная эмиссия (внеш- ний фотоэффект) [5, 12]	Электромагнит- ное излучение <i>Монохроматиче- ское</i> <i>Частота</i> <i>Выше красной</i> <i>границы фото-</i> <i>эффекта</i>	Твердые тела, жидкости	Поток элементар- ных частиц (элек- тронов) <i>Кинетическая</i> <i>энергия</i>	Испускание электронов твердыми телами и жидкостями под действи- ем электромагнитного излучения в вакуум или другую среду
40	Терморезистив- ный эффект [1, 5]	Температура <i>Изменение</i>	Проводники, по- лупроводники	Удельное элек- трическое сопро- тивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопро- тивления проводящих тел при из- менении их температуры. У метал- лических проводников сопротивле- ние возрастает с ростом температу- ры, у жидких электролитов и полу- проводников падает

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
41	Эффект Мейснера [12]	1. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i> <i>Ниже критического значения</i> 2. Температура <i>Уменьшение</i> <i>Ниже критического значения</i> <i>сверхпроводящего</i> <i>перехода</i>	Сверхпроводники	Намагниченность <i>Изменение</i>	Вытеснение магнитного поля из толщи проводника при его переходе из нормального состояния в сверхпроводящее
42	Эффект Поккельса [12]	Электрическое поле <i>Напряженность</i> <i>электрического</i> <i>поля</i>	Пьезоэлектрики	Показатель преломления <i>Изменение</i>	Изменение показателя преломления света в кристаллах, помещенных в электрическое поле
43	Вихревые токи (токи Фуко) [5, 12]	Магнитное поле <i>Магнитный поток</i> <i>Переменный</i>	Массивные проводники	Электрический ток <i>Замкнутый (вихревой)</i> <i>Сила тока</i>	Возникновение замкнутых электрических токов в массивном проводнике при изменении пронизывающего его магнитного поля

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
44	Гальваноупругий магнитный эффект [12]	1. Деформация <i>Относительная деформация</i> 2. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Ферромагнетики	Удельное электрическое сопротивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопротивления ферромагнетика, помещенного в магнитное поле и подвергнутого односторонним упругим напряжениям растяжения или сжатия
45	Диэлектрический гистерезис [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i> <i>Циклическое изменение</i>	Сегнетоэлектрики	Поляризованность <i>Циклическое изменение</i>	Неоднозначная зависимость электрической поляризации сегнетоэлектрика от электрического поля. При циклическом изменении поля кривая, характеризующая изменение поляризации образца, образует петлю диэлектрического гистерезиса
46	Магнитоэлектрический эффект в антиферромагнетиках (I) (Открытие № 123) [7]	Электрическое поле <i>Переменное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Антиферромагнетики: окись хрома и др.	Намагниченность	Намагничивание антиферромагнитного диэлектрического кристалла внешним электрическим полем при определенных типах симметрии расположения магнитных ионов в элементарной ячейке кристалла

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
47	Магнитоэлектрический эффект в антиферромагнетиках (II) (Открытие № 123) [7]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Антиферромагнетики: окись хрома и др.	Поляризованность	Электрическая поляризация антиферромагнитного диэлектрического кристалла внешним магнитным полем при определенных типах симметрии расположения магнитных ионов в элементарной ячейке кристалла
48	Акустомагнитоэлектрический эффект (Открытие № 133) [7]	1. Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i> 2. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Полупроводники	Электрическое поле <i>Разность потенциалов</i>	Возникновение разности потенциалов в полупроводнике, помещенном в поперечное магнитное поле, в направлении, перпендикулярном магнитному полю и направлению распространению звуковой волны при пропускании через него ультразвука
49	Действие магнитного поля на контур с током [5, 12]	1. Магнитное поле <i>Однородное</i> <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток <i>Постоянный</i> <i>Сила тока</i>	Замкнутый проводящий контур	Момент силы	Поворот рамки с током под действием вращающего момента, возникающего при помещении рамки в однородное магнитное поле

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
50	Акустический парамагнитный резонанс (Открытие № 153) [7, 12]	1. Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i> 2. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i>	Парамагнетики	Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Мощность</i> <i>Уменьшение</i>	Резонансное поглощение энергии ультразвуковой волны определенной частоты при прохождении через парамагнитный кристалл, находящийся в постоянном магнитном поле
51	Магнитный гистерезис [4, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> <i>Циклическое изменение</i>	Ферромагнетики	Намагниченность <i>Циклическое изменение</i>	Неоднозначная зависимость намагниченности ферромагнитного образца от напряженности внешнего магнитного поля. При циклическом изменении напряженности магнитного поля кривая, характеризующая изменение намагниченности образца, образует петлю магнитного гистерезиса

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
52	Поляризация ди- электриков [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i> <i>Меньше значения, соответствующе- го пробое ди- электрика</i>	Диэлектрики: твердые, жидкие, газообразные	Поляризован- ность	Образование объемного дипольно- го момента диэлектрика под дей- ствием электрического поля. На поверхности диэлектрика появля- ются связанные (поляризованные) заряды
53	Ионизация газа под действием электрического поля [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i> <i>Увеличение выше критического значения</i>	Газы	Поток элементар- ных частиц (элек- тронов и ионов) <i>Плотность по- тока</i>	Образование положительных и от- рицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул газа под действием сильного электриче- ского поля

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
54	Пробой диэлектриков [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i> <i>Увеличение</i> <i>Вблизи от электрической прочности диэлектрика</i>	Диэлектрики: твердые, жидкие, газообразные	Удельное электрическое сопротивление <i>Резкое уменьшение</i>	Резкое уменьшение электрического сопротивления диэлектрика при некотором критическом значении напряженности приложенного электрического поля
55	Взрывная электронная эмиссия (Открытие № 176) [7, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i> <i>Увеличение выше критического</i>	Катод в виде металлического острия	Поток элементарных частиц (электронов и ионов) <i>Плотность потока</i>	Испускание интенсивного электронного потока, обусловленное переходом вещества катода из конденсированной фазы в плотную плазму в результате разогрева локальных областей катода сверхсильным электрическим полем
56	Триболлюминесценция [12]	Механическое напряжение	Кристаллические люминофоры	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Интенсивность</i>	Возникновение люминесценции при растирании, раздавливании или раскалывании некоторых кристаллов

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
57	Дуговой разряд [5, 12]	1. Электрическое поле <i>Разность потенциалов</i> 2. Давление <i>Выше 0.01-1 Па</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронно-ионный</i> <i>Сила тока</i>	Самостоятельный квазистационарный разряд в газе, горящий практически при любых давлениях газа и при постоянной или меняющейся с низ-кой частотой (до 10^3 Гц) разности потенциалов между электродами
58	Тлеющий разряд [5, 12]	1. Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Разность потенциалов</i> 2. Давление <i>Не выше 1-10 Па</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронно-ионный</i> <i>Сила тока</i>	Один из видов стационарного самостоятельного электрического разряда в газах. Происходит при низких давлениях и характеризуется сравнительно малой плотностью тока на катоде и большим (порядка сотен вольт) катодным падением потенциала
59	Искровой разряд [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	Газы (атмосферный газ, аргон, неон и т.д.)	Электрический ток <i>Электронно-ионный</i> <i>Сила тока</i>	Неустойчивый электрический разряд в газах, возникающий при ионизации газа по всей длине межэлектродного пространства. Характеризуется прохождением электрического тока по зигзагообразным разветвленным узким ярко освещенным каналам

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
60	Эффект Кикоина-Носкова (фотомагнитоэлектрический) [5, 12]	1. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Частота</i> 2. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i>	Полупроводники	<i>Электрическое поле</i> <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Возникновение электрического поля в полупроводнике, находящимся в магнитном поле, при освещении сильно поглощаемым светом. Электрическое поле перпендикулярно магнитному полю и направлению распространению света
61	Термоэлектрический эффект [12]	1. Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i> 2. Температура <i>Уменьшение</i>	Твердые диэлектрики (полиамиды, полиметилметакрилат и др.)	<i>Поляризованность</i>	Образование устойчивой поляризации в диэлектрике при его охлаждении в присутствии постоянного электрического поля
62	Термолюминесценция [12]	1. Электромагнитное излучение <i>Видимое, рентгеновское</i> 2. Температура <i>Увеличение</i>	Твердые люминофоры (кристаллические и аморфные)	<i>Электромагнитное излучение</i> <i>Видимое</i> <i>Интенсивность</i>	Возникновение люминесценции при нагревании некоторых веществ, предварительно возбужденных светом или рентгеновским излучением

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
63	Намагничивание тел [5, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Магнетики (диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики)	Намагниченность <i>Изменение</i>	Возникновение или изменение намагниченности вещества при действии на него внешнего магнитного поля. Диамагнетики намагничиваются против поля, пара- и ферромагнетики - в направлении поля
64	Безэлектродный кольцевой разряд [12]	Магнитное поле <i>Высокочастотное Магнитная индукция</i>	Разряженные газы	Электрический ток <i>Замкнутый Высокочастотный Сила тока</i>	Разряд в разряженном газе, вызванный высокочастотным магнитным полем
65	Звуковое радиационное давление [11]	Акустическая волна <i>Ультразвук, звук Интенсивность</i>	Вещественное препятствие	Давление	Постоянное по значению и направлению давление, которое испытывает поверхность препятствия, находящегося на пути распространения звука
66	Электрострикция [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	Диэлектрики (твердые тела, жидкости, газы)	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Деформация диэлектрика под действием внешнего электрического поля, пропорциональная квадрату напряженности поля

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
67	Эффект Фарадея [9, 12]	1. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i> 2. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i>	Твердые тела, жидкости, газы	<i>Электромагнитное излучение</i> <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i> <i>Вращение плоскости поляризации</i>	Вращение плоскости поляризации линейно поляризованного света, распространяющегося в изотропном веществе вдоль постоянного магнитного поля, в котором находится это вещество
68	Эффект Коттона-Мутона [9, 12]	1. Магнитное поле <i>Однородное</i> <i>Магнитная индукция</i> 2. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i>	Изотропные жидкости, твердые тела	<i>Электромагнитное излучение</i> <i>Видимое</i> <i>Эллиптически поляризованное</i>	Двойное лучепреломление в изотропном веществе, помещенном в сильное магнитное поле (перпендикулярное световому лучу)

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
69	Эффект Доплера в оптике [1, 12]	1. Электромаг- нитное излучение <i>Частота</i> 2. Скорость	Движущееся тело	Электромагнит- ное излучение <i>Частота</i> <i>Изменение</i>	Изменение частоты колебаний, воспринимаемой наблюдателем, при движении источника электро- магнитного излучения и наблюда- теля относительно друг друга
70	Эффект Керра [9, 12]	1. Электрическое поле <i>Однородное</i> <i>Напряженность</i> <i>электрического</i> <i>поля</i> 2. Электромаг- нитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляри-</i> <i>зованное</i>	Изотропные жид- кости, твердые тела	Электромагнит- ное излучение <i>Видимое</i> <i>Эллиптически по-</i> <i>ляризованное</i>	Возникновение двойного лучепре- ломления в оптически изотропных веществах под действием однород- ного электрического поля
71	Теплопровод- ность изотропных тел [12]	Температура <i>Градиент</i>	Газы, жидкости, твердые тела	Тепловой поток	Возникновение теплового потока в изотропном теле под действием градиента температуры. Плотность теплового потока пропорциональна градиенту температуры

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
72	Фотопластиче-ский эффект (Открытие № 93) [7]	1. Электромаг-нитное излучение <i>Видимое</i> <i>Частота</i> 2. Деформация <i>Относительная деформация</i>	Кристаллические полупроводники: CdS, CdSe и др.	Прочность <i>Увеличение</i>	Увеличение прочности пластиче-ски деформированного образца под воздействием света
73	Основное урав-нение динамики вращательного движения твердо-го тела [10, 12]	Момент силы	Твердые тела	Угловое ускоре-ние	Результирующий момент внешних сил, действующих на тело, имею-щее ось вращения, создает угловое ускорение, пропорциональное мо-менту сил
74	Тормозное рент-геновское излу-чение [12]	1. Поток элемен-тарных частиц (электронов) <i>Кинетическая энергия</i> 2. Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Разность потен-циалов</i>	Металлы	Электромагнит-ное излучение <i>Рентгеновское</i> <i>Тормозное</i> <i>(сплошной спектр частот)</i>	Возникновение электромагнитного излучения сплошного спектра в ре-зультате торможения быстрых за-ряженных частиц при взаимодей-ствии с атомами металлической мишени

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
75	Эффект Доплера в акустике [9, 12]	1. Акустическая волна <i>Частота</i> 2. Скорость	Движущееся тело	Акустическая волна <i>Частота</i> <i>Изменение</i>	Изменение частоты колебаний звуковой волны, воспринимаемой наблюдателем, при движении источника колебаний и наблюдателя относительно друг друга
76	Акустоэлектрический эффект [12]	Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i>	Металлы, полупроводники	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>ЭДС</i>	Возникновение при определенных условиях разности потенциалов в проводящей среде в направлении распространения ультразвуковой волны при прохождении волны через среду
77	Двойное лучепреломление [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i>	Оптически анизотропные тела	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Эллиптически поляризованное</i>	Раздвоение световых лучей при прохождении через анизотропную среду. При падении световой линейно поляризованной волны на анизотропную среду в ней возникает две волны с взаимно перпендикулярными плоскостями поляризации

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
78	Эффект Нернста [6]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток <i>Сила тока</i>	Полупроводники	Температура <i>Градиент</i>	Возникновение продольного градиента температуры в проводнике с током, находящемся в магнитном поле
79	Тепловое расширение тел [12]	Температура <i>Увеличение</i>	Твердые тела, жидкости, газы	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Изменение размеров тела при его нагревании. Характеризуется коэффициентом линейного (для твердых тел) или объемного (для жидких или газообразных тел) теплового расширения
80	Фотоупругость (пьезооптический эффект) [9, 12]	1. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i> 2. Механическое напряжение	Изотропные твердые тела	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Эллиптически поляризованное</i>	Возникновение оптической анизотропии в первоначально изотропных твердых телах под действием механических напряжений, что приводит к двойному лучепреломлению световой волны
81	Фотопроводимость (фоторезистивный эффект)	Электромагнитное излучение <i>Видимое, ультрафиолетовое</i>	Полупроводники	Электропроводность <i>Увеличение</i>	Увеличение электропроводности полупроводника под действием электромагнитного излучения

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
82	Поглощение звука [12]	Акустическая волна <i>Интенсивность</i>	Твердые тела, жидкости, газы	Акустическая волна <i>Интенсивность</i> <i>Уменьшение</i>	Уменьшение интенсивности акустической волны, проходящей через вещество, в результате необратимого перехода энергии волны в другие виды энергии, в частности в теплоту
83	Поглощение света [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Интенсивность</i>	Твердые тела, жидкости, газы	Электромагнитное излучение <i>Интенсивность</i> <i>Уменьшение</i>	Уменьшение интенсивности электромагнитного излучения при прохождении через вещество
84	Полное внутреннее отражение [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Угол падения больше критического и меньше 90°</i>	Граница раздела двух диэлектриков с разными показателями преломления	Электромагнитное излучение <i>Угол отражения</i>	Полное отражение энергии электромагнитной волны, падающей на границу раздела двух прозрачных сред из среды с большим показателем преломления
85	Фотолюминесценция [12]	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Частота</i>	Фотолуминофоры (твердые тела, жидкости, газы)	Электромагнитное излучение <i>Ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное</i>	Возникновение люминесценции, возбуждаемой при действии на вещество оптического излучения
86	Закон Кюри [4, 12]	Температура <i>Увеличение</i>	Парамагнетики (жидкие, твердые, газообразные)	Магнитная восприимчивость <i>Уменьшение</i>	Обратная пропорциональность температуре удельной магнитной восприимчивости некоторых парамагнетиков

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
87	Вентильный фотоэффект [6, 12]	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i>	Контакт двух разных полупроводников (<i>p-n</i> переход) или контакт полупроводника и металла	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение ЭДС в системе, содержащей контакт двух разных полупроводников или полупроводника и металла, при поглощении оптического излучения
88	Длинноволновый фото-вольтаический эффект [6, 12]	1. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> 2. Длина волны <i>Больше длины волны, соответствующей краю поглощения полупроводника</i>	Полупроводники в контакте с металлами Cu-CdS и др.	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение фото-ЭДС в контакте полупроводника с металлическим электродом при поглощении фотонов света, энергия которых меньше ширины запрещенной зоны полупроводника
89	Излучение Черенкова-Вавилова [12]	Поток элементарных частиц (электронов, протонов, мезонов и др.) <i>Скорость</i>	Твердые тела, жидкости, газы	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i>	Излучение света электрически заряженной частицей при ее движении в среде с постоянной скоростью, превышающей фазовую скорость света в этой среде

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
90	Гидростатическое давление [12]	Гравитационное поле <i>Разность потенциалов гравитационного поля</i>	Жидкости	Давление	Давление, оказываемое в поле сил тяжести вышележащими слоями жидкости на нижележащие слои. Сумма этого давления на свободную поверхность жидкости составляет гидростатическое давление
91	Закон Архимеда [12]	Гравитационное поле <i>Напряженность гравитационного поля</i>	Тело, погруженное в жидкость или газ	Сила <i>Выталкивающая</i>	Образование выталкивающей силы, действующей на тело, погруженное в жидкость или газ. Выталкивающая сила равна весу вытесненной телом жидкости (газа), направлена по вертикали вверх и приложена к центру тяжести вытесненного объема
92	Эффект Эттингсхаузена [6, 12]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток (перпендикулярно магнитному полю) <i>Сила тока</i>	Твердые проводники	Температура <i>Градиент</i>	Возникновение градиента температуры в твердом проводнике с током под действием магнитного поля в направлении, перпендикулярном току и полю

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
93	Акустоэлектронная эмиссия (эффект Лучникова-Сигова) [12]	Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Интенсивность</i>	Радиоэлектреты (твердые диэлектрики)	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Кинетическая энергия</i>	Аномальное увеличение выхода потока электронов из поверхности радиоэлектрета (полученного облучением диэлектриков электронами) при возбуждении ультразвуком
94	Пластическая деформация при воздействии ультразвука [11]	1. Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i> 2. Механическое напряжение	Пластически деформированные твердые тела	Предел текучести <i>Уменьшение</i>	Усиление пластических свойств твердого тела, находящегося под механическим напряжением, при воздействии ультразвуковых колебаний
95	Влияние упорядочения сплавов на их электросопротивление [8]	Концентрация одного из компонентов сплава <i>Изменение</i>	Двухкомпонентные сплавы типа твердого раствора	Удельное электрическое сопротивление <i>Скачкообразные изменения</i>	Наличие резко выраженных минимумов на кривых концентрационной зависимости электрического сопротивления двойных сплавов типа замещения с неограниченной растворимостью компонентов в точках, соответствующих стехиометрическому составу
96	Эффект переключения [12]	Электрическое поле <i>Импульсное</i>	Полупроводники с S-образной вольт-амперной характеристикой	Удельное электрическое сопротивление <i>Скачкообразное уменьшение</i>	Обратимый переход полупроводника из высокоомного состояния в низкоомное под действием электрического поля, превышающего пороговое значение

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
97	Разряд Пеннинга [12]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрическое поле <i>Разность потенциалов</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронно-ионный</i> <i>Сила тока</i>	Стационарный самостоятельный электрический разряд в газах в продольном магнитном поле
98	Коронный разряд [5, 12]	Электрическое поле <i>Неоднородное</i> <i>Напряженность электрического поля</i> <i>До значения 10^2 В/м</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронно-ионный</i> <i>Сила тока</i>	Высоковольтный самостоятельный электрический разряд в газах при давлении, большем 10^5 Па, возникающий в резко неоднородном электрическом поле вблизи электродов с большой кривизной поверхности
99	Тихий разряд [5, 12]	Электрическое поле <i>Разность потенциалов</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронно-ионный</i> <i>Сила тока</i>	Несамостоятельный электрический разряд в газе, возникающий при малой разности потенциалов между электродами при давлении газа порядка 10^5 Па

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
100	Ионизация газа рентгеновскими лучами [12]	Электромагнитное излучение <i>Рентгеновское Интенсивность</i>	Газы	Поток ионов и электронов <i>Плотность потока</i>	Образование положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул газа под действием электромагнитного излучения рентгеновского диапазона
101	Зависимость модуля упругости металлов от температуры [2]	Температура <i>Увеличение Ниже температуры плавления</i>	Металлы	Модуль упругости <i>Уменьшение</i>	Плавное уменьшение модуля упругости металлов с увеличением температуры
102	Влияние легирования на модуль упругости металлов [2, 8]	Концентрация легирующего элемента <i>Увеличение</i>	Металлы	Модуль упругости <i>Уменьшение или увеличение</i>	Линейная зависимость модуля упругости металлов от концентрации легирующего элемента. Легирование может как уменьшать, так и увеличивать модуль упругости
103	Деформационное упрочнение металлов (наклеп) [2]	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Металлы	Предел прочности <i>Увеличение</i>	Упрочнение металлов при пластической деформации. Предел прочности возрастает с увеличением степени пластической деформации

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
104	Влияние пластической деформации на электрическое сопротивление металлов [2, 8]	Деформация <i>Относительная деформация</i> <i>Увеличение</i>	Металлы	Удельное электрическое сопротивление <i>Увеличение</i>	Возрастание удельного электрического сопротивления металлов при увеличении степени их пластической деформации
105	Влияние нагрева на механические свойства деформированного металла (рекристаллизационные процессы) [8]	Температура <i>Увеличение</i>	Пластически деформированные металлы	Предел прочности <i>Уменьшение</i>	Уменьшение предела прочности, улучшение пластичности и снижение твердости при нагреве предварительно пластически деформированного металла или сплава
106	Зависимость предела текучести металлов и сплавов от температуры [8]	Температура <i>Увеличение</i>	Металлы и их сплавы	Предел текучести <i>Уменьшение</i>	Уменьшение предела текучести металлов и их сплавов с возрастанием температуры. Зависимость предела текучести от температуры близка к экспоненциальному закону
107	Зависимость предела текучести металлов и сплавов от скорости деформации [8]	Деформация <i>Скорость изменения</i> <i>Увеличение</i>	Металлы и их сплавы	Предел текучести <i>Увеличение</i>	Возрастание предела текучести металлов и сплавов по степенному закону с увеличением скорости деформации (с уменьшением длительности нагружения)

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
108	Зависимость плотности металлов от температуры при переходе через точку плавления [9]	Температура <i>Увеличение</i> <i>Вблизи температуры плавления металла</i>	Металлы	Плотность <i>Скачкообразное уменьшение</i>	Скачкообразное уменьшение плотности металла с увеличением температуры вблизи температуры плавления
109	Термическая ионизация [12]	Температура	Газы	Поток элементарных частиц (ионов и электронов) <i>Плотность потока</i>	Распад атомов и молекул нейтрального газа на заряженные частицы в результате столкновений вследствие теплового движения при достаточно высокой температуре
110	Эффект Нернста-Эттингсхаузена [6, 12]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Температура <i>Градиент</i>	Твердые проводники	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	Возникновение электрического поля в твердом проводнике при наличии градиента температуры и перпендикулярного к нему магнитного поля

111	Звуколюминесценция [11, 12]	Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Интенсивность</i>	Жидкости	Электромагнитное излучение <i>Видимое, ультрафиолетовое</i> <i>Интенсивность</i>	Свечение в жидкости под действием интенсивной акустической волны (при акустической кавитации). Световое излучение очень слабое и становится видимым при значительном усилении или в полной темноте
№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
112	Закон Блоха [4, 12]	Температура <i>Увеличение</i>	Ферромагнетики	Намагниченность (самопроизвольная) <i>Уменьшение</i>	Уменьшение самопроизвольной намагниченности ферромагнетиков с ростом температуры (для области температур значительно ниже точки Кюри)
113	Звукокапиллярный эффект (Открытие № 109) [7, 11]	Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i>	Жидкость в капилляре	Деформация (высота поднятия жидкости)	Подъем жидкости в капилляре на аномально большую высоту (в десятки и сотни раз превышающую ожидаемую) под действием в определенных условиях ультразвуковой волны
114	Зависимость температуры плавления твердого тела от внешнего давления [12]	Давление <i>Увеличение</i>	Твердые тела	Температура плавления <i>Изменение</i>	Изменение температуры плавления кристаллических веществ при увеличении внешнего давления. Если удельный объем жидкой фазы больше, чем твердой, то температура плавления возрастает

115	Зависимость электрического сопротивления твердо-го тела от давления [12]	Давление <i>Увеличение</i>	Твердые тела	Удельное электрическое сопротивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопротивления твердого тела при изменении внешнего давления в области высоких давлений. У большинства веществ электрическое сопротивление с ростом давления понижается
-----	--------------------------------------------------------------------------	-------------------------------	--------------	----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
116	Эффект Дембера [6, 12]	<p>Электромагнитное излучение</p> <p><i>Видимое</i></p> <p><i>Длина волны</i></p> <p><i>Не превышает длины волны края поглощения</i></p>	<p>Высокоомные полупроводники (ZnS, CdS, CdSe, ZnSe и др.)</p>	<p>Электрическое поле</p> <p><i>ЭДС</i></p>	<p>Возникновение ЭДС электрического поля в однородном полупроводнике при его неравно-мерном освещении. В частности, ЭДС возникает между освещаемой и неосвещаемой поверхностями полупроводника при сильном поглощении света в нем</p>
117	Закон Бугера-Ламберта-Бера [9, 12]	<p>Электромагнитное излучение</p> <p><i>Видимое</i></p> <p><i>Монохроматическое</i></p> <p><i>Интенсивность</i></p>	<p>Поглощающее вещество</p>	<p>Электромагнитное излучение</p> <p><i>Интенсивность</i></p> <p><i>Уменьшение</i></p>	<p>Ослабление пучка монохроматического света при его прохождении через поглощающее вещество. Интенсивность пучка на выходе из поглощающего слоя уменьшается по экспоненциальному закону по сравнению с первоначальной зависимостью</p>
118	Эффект Риги-Ледюка [6, 12]	<p>1. Температура</p> <p><i>Градиент (первичный)</i></p> <p>2. Магнитное поле</p> <p><i>Постоянное</i></p> <p><i>Магнитная индукция</i></p>	<p>Металлы, полупроводники</p>	<p>Температура</p> <p><i>Градиент (вторичный)</i></p>	<p>Возникновение вторичной разности температур в проводнике с перепадом температуры, помещенном в магнитное поле, перпендикулярное тепловому потоку. Направление вторичной разности температур перпендикулярно первичному тепловому потоку и магнитному полю</p>

№ п/п	Наименование ФТЭ [источник литературы]*	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
119	Зависимость показателя преломления газов от плотности [3]	Плотность <i>Увеличение</i>	Газы	Показатель преломления <i>Увеличение</i>	Увеличение показателя преломления газа с увеличением его плотности. Зависимость носит сложный квадратичный характер
120	Зависимость показателя преломления газов от давления [3]	Давление <i>Увеличение</i>	Газы	Показатель преломления <i>Увеличение</i>	Возрастание показателя преломления газа при увеличении его давления. Зависимость показателя преломления от давления в широком диапазоне изменения давления может быть выражена полиномом некоторой степени

* См. список литературы к Приложению 3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ПРИЛОЖЕНИЮ 3

1. Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецова Н.Н. Датчики контроля и регулировки/Справочные материалы. М.: Машиностроение, 1965. 928 с.
2. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. М.: Металлургия, 1979. 496 с.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики: Пер. с англ. М.: Наука, 1973. 856 с.
4. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1008 с.
5. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1977. 592 с.
6. Киреев П.С. Физика полупроводников. М.: Высшая школа, 1975. 584 с.
7. Конюшая Ю.П. Открытия советских ученых. М.: Московский рабочий, 1979. 688 с.
8. Лифшиц Б.Г., Крапошин В.С., Липецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980. 320 с.
9. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. 926 с.
10. Савельев И.В. Курс физики, т. 1. М.: Наука, 1982. 432 с.
11. Ультразвук/Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1979. 400 с.
12. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.