

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

**Н.Н. Кривин**

**ВВЕДЕНИЕ В МЕТОДОЛОГИЮ СИСТЕМО-  
И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие для бакалавриата,  
специалитета и магистратуры

Томск  
Издательство ТУСУРа  
2020

УДК 621.38.061.001.2+621.396.6.061.001.2  
ББК 32.81+32.844  
К820

**Рецензенты:**

**Русановский С.А.**, канд. техн. наук, ген. директор АО «НПЦ "Полюс"»  
**Губарев Ф.А.**, канд. техн. наук, Нац. исслед. Томск. политехн. ун-т

**Кривин, Николай Николаевич**

К820 Введение в методологию системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств : учеб. пособие для бакалавриата, специалитета и магистратуры / Н.Н. Кривин. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 250 с.

ISBN 978-5-86889-895-2

Изложены основы методологии системо- и схемотехнического проектирования технических средств, работа которых основана на принципах электроники и радиотехники.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов бакалавриата, специалитета и магистратуры образовательных организаций высшего образования конструкторского, радиотехнического, электронного и приборостроительного профилей, а также аспирантов, преподавателей, проектировщиков и разработчиков электроники, практических и научных работников.

Данное учебное пособие представляет результат работы, выполнявшейся в период с 2014 по 2020 гг. при финансовой поддержке МОН РФ в рамках конкурса «Новые кадры для оборонно-промышленного комплекса».

УДК 621.38.061.001.2+621.396.6.061.001.2  
ББК 32.81+32.844

ISBN 978-5-86889-895-2

© Кривин Н.Н., 2020  
© Томск. гос. ун-т систем упр.  
и радиоэлектроники, 2020

## Оглавление

Предисловие.....	5
Глава 1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМО- И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	11
Выводы .....	27
Контрольные вопросы .....	28
Упражнения.....	29
Глава 2 ОСНОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ СИСТЕМО- И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	30
2.1 Предварительные замечания .....	30
2.2 Философско-психологические и системные основания методологии проектной деятельности.....	31
2.3 Научно-исследовательские основания методологии проектной деятельности.....	40
2.4 Эстетические и этические основания методологии проектной деятельности.....	51
Выводы .....	63
Контрольные вопросы .....	63
Упражнения.....	65
Глава 3 СХЕМА МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	68
3.1 Характеристики проектной деятельности .....	68
3.2 Логическая структура проектной деятельности.....	82
3.2 Временная структура проектной деятельности.....	107
Выводы .....	135
Контрольные вопросы .....	136
Упражнения.....	138
Глава 4 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	141
4.1 Положение электронных и радиоэлектронных средств в общей классификации систем. Иерархия электронных и радиоэлектронных систем.....	141
4.2 Жизненный цикл технической системы.....	144

4.3 Уровни готовности технологии.....	161
4.4 Законы и закономерности развития техники.....	166
4.4 Программные системы.....	182
Выводы .....	202
Контрольные вопросы.....	204
Упражнения .....	206
<b>Глава 5 ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ СИСТЕМО-</b>	
<b>И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b>	
<b>ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ .....</b>	<b>210</b>
5.1 Алгоритм системотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств .....	210
5.2 Алгоритм схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств .....	220
Контрольные вопросы.....	222
Упражнения .....	223
Библиографический список.....	224
Приложение 1 Кодекс этики ученых и инженеров.....	229
Приложение 2 Кейс-задания по инженерной этике.....	234
Список принятых сокращений .....	246

## Предисловие

Рост масштабов и усложнение способов организации деятельности по созданию инженерных объектов, повышение степени ответственности за ее результаты, быстрое возрастание сложности возникающих при этом научных, технических и управленческих проблем привели к появлению в середине XX века новой прикладной системной методологии — системной инженерии (Systems Engineering). Важность обучения системной инженерии была осознана в нашей стране в 70-х годах XX века. Именно на это время приходится период быстрого становления системной инженерии в СССР, где она получила название «системотехника».

В современных разработках зарубежных специалистов системная инженерия рассматривается как комплексный, мультидисциплинарный подход и методика создания сложных систем и признается в качестве фундамента, на основе которого можно обеспечить и гарантированно поддерживать надежную и устойчивую связь между миссией, стратегическими целями, конкретными задачами и измеримыми результатами инженерной деятельности. Недаром один из видных зарубежных специалистов по системной инженерии Дерек Хитчинс (Derek K. Hitchins) назвал системную инженерию системной методологией XXI века<sup>1</sup>.

Впечатляющие преобразования, происходящие сегодня в области создания сложных инженерных объектов и обусловленные революцией в сфере информатизации, глобализацией систем и быстрым внедрением инноваций; появление новых классов инженерно-насыщенных систем, включая социотехнические системы, распределенные энергетические, транспортные, оборонные и коммуникационные системы масштаба страны, а также развитие мегасистем привели в нашей стране к пониманию необходимости проведения работ и подготовки кадров в области системной инженерии.

Учебно-методические материалы по системотехнике на русском языке практически отсутствуют. Последний отечественный учебник

---

<sup>1</sup> Hitchins D.K. Systems Engineering. A 21<sup>st</sup> Century Systems Methodology. Wiley, 2007.

по этой проблематике был издан в СССР в 1985 году, а перевод с английского языка и издание в 2014 году одного из наиболее востребованных в мире учебников по системной инженерии — книги профессора А. Косякова и соавторов «Системная инженерия. Принципы и практика» — наряду с важнейшими достоинствами, такими как нацеленность на овладение студентами подходом системного инженера, обладает и безусловными недостатками, среди которых можно выделить ориентированность на сложившуюся в США практику организации и управления работами по созданию крупных систем, которая отличается от подобной практики в нашей стране.

Также необходимо указать на отсутствие в настоящее время отечественных учебных пособий, рассматривающих на доступном для студентов уровне методологические вопросы системотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств и связывающих единым методологическим подходом системный уровень проектирования с проектированием электронных и радиоэлектронных средств на уровне принципиальных электрических схем. Это и послужило причиной создания данного учебного пособия, которое, помимо формирования достаточно полного представления об обширной предметной области дисциплины, позволило бы на основе алгоритмического подхода к последовательности изложения материала сформировать у студентов системо- и схемотехническое мышление в области проектирования технических систем, работа которых основана на принципах электроники и радиотехники. В качестве отправного пункта для синтеза содержания дисциплины были взяты требования ФГОС ВО 3+ и 3++ к формированию следующих компетенций:

• *по направлению бакалавриата 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»:*

– готовность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств (ПК-5);

– готовность выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и модулей электронных средств, в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПК-6);

– способность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения

в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПКР-3);

- по направлениям магистратуры 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» и 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»:

- способность определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ (ПКР-15);

- способность проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований (ПКР-16);

- по специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования»:

- готовность к проектированию и разработке сервисного, вспомогательного оборудования, схемных решений и средств автоматизации процессов эксплуатации (ПК-23).

Поясним смысл использования термина «методология» в названии учебного пособия.

Методология — это учение об организации деятельности. Предмет методологии — организация деятельности. При этом понятие «организация» понимается в значениях свойства (внутренняя упорядоченность, согласованность взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных частей целого, обусловленная его строением) и процесса (совокупность процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого).

В свою очередь известно, что человеческая деятельность разделяется на репродуктивную и продуктивную.

Репродуктивная деятельность копирует чужую деятельность или собственную деятельность, освоенную в предшествующем опыте. Другими словами, специалисты высшей категории и профессионалы своего дела в методологии не нуждаются, так как у них уже сформировано соответствующее мышление и оптимально организована их деятельность.

Другое дело — продуктивная деятельность, направленная на получение объективно нового или субъективно нового результата.

Любая научно-исследовательская деятельность, если она осуществляется более или менее грамотно, по определению всегда направлена на объективно новый результат. Инновационная деятельность специалиста-практика может быть направлена как на объективно новый, так и на субъективно новый (для данного специалиста или для данного предприятия, учреждения) результат. *Учебная деятельность* всегда направлена на субъективно новый (для каждого конкретного обучающегося) результат. Поэтому в случае продуктивной деятельности и возникает необходимость ее организации, то есть возникает необходимость применения методологии.

На взгляд автора учебного пособия, самое общее, полное и непротиворечивое изложение методологии приведено в работе Новикова А. М. и Новикова Д. А.<sup>2</sup>. Оно легло в основу организации структуры второй и третьей глав данного учебного пособия.

В настоящем учебном пособии рассматриваются основные понятия предметной области дисциплины, основания и схема методологии проектной деятельности, определяется положение ЭРЭС среди множества технических систем и дается их краткая характеристика. В последней главе приводится обобщенный алгоритм системо- и схемотехнического проектирования ЭРЭС.

В конце глав приводятся контрольные вопросы и упражнения для закрепления материала. В приложениях читатель найдет справочный и вспомогательный материал для выполнения упражнений и решения задач.

Системотехника — это междисциплинарный подход к созданию больших и сложных систем, которые соответствуют определенному набору экономических и технических требований. В аэрокосмической и оборонной промышленности системная инженерия используется уже давно<sup>3</sup>, и многие из полученных опытным путем знаний уже применяются и в других сферах деятельности человека. Автомобили,

---

<sup>2</sup> Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. М.: Синтег, 2007. 668 с.

<sup>3</sup> Дружинин В.В., Конторов Д.С. Вопросы военной системотехники. М.: Ордена Трудового Красного Знамени Военное издательство Министерства обороны СССР, 1976. 224 с.

Гуд Г.Х., Макол Р.Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем / пер. с англ. К.Н. Трофимова, С.Е. Жорно, И.В. Соловьева; под ред. Г.Н. Поварова. М. : Советское радио, 1962. 390 с.



телефоны, телевизоры становятся все «умнее», и для их разработки и производства требуются технологии эпохи покорения космоса. Очевидно, что большую и сложную техническую систему не под силу создать одному инженеру-системотехнику. Эта задача может быть решена только коллективными усилиями множества специалистов из самых разных областей науки и техники. Автор надеется, что данное учебное пособие поможет будущим системотехникам осознать всю важность коллективного мышления, коммуникации и деятельности в своей профессиональной области, а также сформировать соответствующие этой деятельности компетенции.

В результате систематического изучения материала данного учебного пособия студенты будут:

**знать** основания и схему методологии системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств; связи дисциплины с предметными областями смежных наук; принципы системного подхода в проектной деятельности; обобщенный алгоритм системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств; общие характеристики электронных и радиоэлектронных средств; основные законы и закономерности развития технических средств; классификацию программных систем;

**уметь** использовать основания и схему методологии системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств для организации и планирования своей проектной деятельности; применять основные законы и закономерности развития технических средств для создания и разработки идей и концепций инновационной техники; применять обобщенный алгоритм системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств;

**владеть** методологией системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств; навыками системного мышления.

Автор выражает признательность за поддержку сотрудникам Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники: декану радиоконструкторского факультета доценту Озеркину Денису Витальевичу, доценту кафедры конструирования

и производства радиоаппаратуры (КИПР) Чернышеву Александру Анатольевичу, профессору кафедры КИПР Масалову Евгению Викторовичу, а также организаторам конкурса «Новые кадры для оборонно-промышленного комплекса».

# Глава 1

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМО- И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Точное логическое определение понятий —  
главнейшее условие истинного знания.*

*Сократ*

*Первые понятия, с которых начинается  
какая-нибудь наука, должны быть ясны  
и приведены к самому меньшему числу.  
Тогда только они могут служить прочным  
и достаточным основанием учения.*

*Н.И. Лобачевский*

Изучение любой дисциплины начинается с рассмотрения ее предметной области, т.е. с тех ключевых и общих в масштабах этой предметной области категорий, на которых базируется все остальное знание дисциплины. К основным категориям предметной области дисциплины «Методология системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств» относятся следующие термины: электронное средство, радиоэлектронное средство, радиотехника, системотехника, схемотехника, методология, проектирование. Рассмотрим определения этих понятий.

**Электронное средство (ЭС)** — это изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены физические принципы электроники.

*Примеры ЭС: электронные часы, монитор компьютера, компьютерный системный блок, электронные весы, трз-плеер, калькулятор, роботылесос и т. д.*

**Радиоэлектронное средство (РЭС)** — это изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены физические принципы радиотехники и электроники [1].

*Примеры РЭС: рация, телевизор, радиоприемник, мобильный телефон, радиотелефон, радиолокационная система, RFID-метка и т. д.*

Электронные и радиоэлектронные средства составляют иерархию электронных и радиоэлектронных систем, на базовом уровне которой располагаются электрорадиоэлементы. Из электрорадиоэлементов на принципиальном уровне слагаются функциональные узлы, назначение которых заключается в преобразовании величины одного из параметров технического процесса. В свою очередь разные функциональные узлы, связанные друг с другом по определенным правилам, образуют электронное или радиоэлектронное устройство. Устройства, связанные друг с другом, образуют электронные/радиоэлектронные комплексы или системы. Таким образом, складывается иерархия электронных и радиоэлектронных систем.

**Радиотехника** — наука об электромагнитных колебаниях и волнах длиной от десятков километров до десятых долей миллиметра, методах их генерации, усиления, преобразования, излучения, распространения, приема, помехоустойчивой обработки; отрасль техники, связанная с использованием электромагнитных колебаний и волн для передачи информации (системы связи, управления, радиовещания, телевидения), ее извлечения (радиолокация, радионавигация, научные исследования, технологические процессы), а также для радиопротиводействия передаче и извлечению информации [2].

Развитие радиотехники базируется на достижениях радиофизики, физики диэлектриков и полупроводников, акустики, автоматики, электроники (вакуумной и полупроводниковой техники, микроэлектроники, функциональной электроники), вычислительной техники и других смежных областей, многие из которых возникли и развились на основе радиотехники.

Среди основных разделов радиотехники следует выделить: генерирование электрических колебаний, прием и обработку дискретных и аналоговых сигналов; излучение и распространение радиоволн в свободном пространстве, различных средах и направляющих системах; теорию информации, статистический синтез информационных систем, оптимальные методы обработки, автоматическое регулирование радиосистем, запись и воспроизведение передаваемой информации.

Если в первые годы своего развития радиотехника служила только для беспроволочной телеграфии, то современная радиотехника характеризуется проникновением практически во все сферы человеческой

деятельности: бытовую технику, радиовещание, связь, транспорт, управление, промышленность, медицину, военное дело и др. Широко используются радиотехнические методы и устройства для проведения научных исследований в физике, астрономии, метеорологии, автоматике, кибернетике, биологии, медицине и т.д.

ЭС и РЭС входят в более общую категорию *технических средств* или *технических объектов* (ТО). Далее по тексту при употреблении этих терминов будем подразумевать ЭС и РЭС, если иное не будет специально отмечено.

**Уровень разукрупнения радиоэлектронного средства** — это уровень структуры внутренней организации радиоэлектронного средства и соотношение его элементов [1].

Рассмотрим понятие «система». Существует множество определений данного понятия. Их все можно разделить на две категории: дескриптивные и конструктивные определения.

#### *Дескриптивные определения понятия «система»*

Система — комплекс взаимодействующих компонентов (Л. фон Берталанфи).

Система — совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой (Л. фон Берталанфи).

Система — множество взаимосвязанных элементов, обособленное от среды и взаимодействующее с ней как целое (Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко).

Дескриптивные определения характерны для раннего периода системной науки, при котором в них включали только элементы и связи. Затем, в процессе развития представлений о системе, стали учитывать ее цель (функцию), а в последующем — и наблюдателя (лицо, принимающее решение, исследователя, проектировщика и т.п.).

Таким образом, современное представление о системе подразумевает наличие *функции* или *цели* системы с точки зрения наблюдателя или исследователя, который при этом явно или неявно вводится в определение.

#### *Примеры конструктивных определений понятия «система»*

Система — комбинация взаимодействующих элементов, организованных для достижения одной или нескольких поставленных целей [3].

Система — конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определенной целью в рамках определенного временного интервала (В. Н. Сагатовский).

Система — отражение в сознании субъекта (исследователя, наблюдателя) свойств объектов и их отношений в решении задачи исследования, познания (Ю. И. Черняк).

Система — совокупность интегрированных и регулярно взаимодействующих или взаимозависимых элементов, созданная для достижения определенных целей, причем отношения между элементами определены и устойчивы, а общая производительность или функциональность системы лучше, чем у простой суммы элементов.

Также приведем достаточно вольное, но емкое и оригинальное «рекурсивное» определение системы, которое цитируется нами по [4].

Система — это элемент другой системы, обладающий протяженностью в пространстве и времени и предназначенный для выполнения определенного набора функций в другой системе в интересах ограниченного набора сторон, а также состоящий из элементов, функции которых отличны от функций определяемой системы, и функции определяемой системы не являются результатом сложения функций ее элементов.

Данное определение подчеркивает относительность понятия «система», зависимость этого определения от точки зрения или аспекта, в котором эта система рассматривается, т. к. всегда для любой системы существуют подсистемы и надсистемы, элементом которых она является. Другими словами, любую систему можно разложить на составляющие ее компоненты и определить суперсистему, в которую данная система входит в качестве элемента. При этом функции системы, подсистем и надсистем образуют определенную иерархию и, как правило, не совпадают.

### ***Примеры систем***

*1. Автоматическая телефонная станция может считаться системой, а вся телефонная сеть — «системой систем».*

*2. Примером более простой и знакомой, но инженерно насыщенной системы является пассажирский автомобиль в полной комплектации. Можно считать, что это младший представитель более сложных*

*транспортных систем. Он состоит из большого числа разнородных компонентов, и для создания автомобиля требуется использовать достижения различных областей техники и технологий. Для правильного функционирования автомобиля его компоненты должны безошибочно и эффективно работать сообща. Хотя принципы действия автомобиля давно и хорошо известны, современные автомобили необходимо проектировать так, чтобы они работали эффективно в условиях тщательного контроля выхлопных газов, а для этого требуются сложные современные электронные датчики и управляемые компьютером механизмы впрыска воздушно-топливной смеси. Для защиты пассажиров, круиз-контроля, автоматической навигации, автономного вождения и парковки применяются компьютерные технологии. Строгие требования, предъявляемые к стоимости, надежности, функциональности, комфортабельности, безопасности и множеству других параметров, ставят перед системным инженером целый ряд непростых проблем.*

**Системотехника** (от греч. *techné* — искусство) — это научно-техническая дисциплина, охватывающая вопросы проектирования, создания, испытания и эксплуатации *сложных систем* или (и) *больших систем* (систем большого масштаба, large scale systems). Сложность определяется количеством связей между входящими в состав системы элементами: чем больше связей, тем сложнее система.

При разработке сложных систем возникают проблемы, относящиеся не только к свойствам их составных частей (элементов, подсистем), но также и к закономерностям функционирования объекта в целом (общесистемные проблемы); появляется широкий круг специфических задач, таких как определение общей структуры системы, организация взаимодействия между подсистемами и элементами, учет влияния внешней среды, выбор оптимальных режимов функционирования, оптимального управления системой и т. д. По мере усложнения систем все более значительное место отводится общесистемным вопросам, они и составляют основное содержание системотехники. Научной главным образом математической базой системотехники служит научная дисциплина — теория сложных систем.

Для сложных систем характерна своеобразная организация проектирования — в две стадии: *макропроектирование* (внешнее проектирование), в процессе которого решаются функционально-структурные вопросы системы в целом, и *микропроектирование* (внутреннее

проектирование), связанное с разработкой элементов системы как физических единиц оборудования. Системотехника объединяет точки зрения, подходы и методы по вопросам внешнего проектирования сложных систем.

*Макропроектирование* начинается с формулировки проблемы, которая включает в себя, по крайней мере, три основных раздела:

- 1) определение целей создания системы и круга решаемых ею задач;
- 2) оценка действующих на систему факторов и определение их характеристик;
- 3) выбор показателей эффективности системы [5, 6].

Цели и задачи системы определяют исходя из потребностей их практического использования с учетом тенденций и особенностей технического прогресса, а также народно-хозяйственной целесообразности. Существенное значение при этом имеет опыт применения имеющихся аналогичных систем и четкое понимание роли проектируемой системы в народном хозяйстве. Для оценки внешних и внутренних факторов, действующих на систему, помимо опыта эксплуатации аналогичных систем используют статистические данные, полученные в результате специальных экспериментальных исследований. В качестве показателей эффективности выбирают числовые характеристики, оценивающие степень соответствия системы задачам, поставленным перед ней, например для системы слепой посадки самолетов показателем эффективности может служить вероятность успешной посадки, для междугородной телефонной связи — среднее время ожидания соединения с абонентом, для производственного процесса — среднее число изделий, выпускаемых за смену и т. д. Материалы по изучению целей и задач и результаты проведенных экспериментов используют для обоснования технического задания на разработку системы.

В соответствии с техническим заданием намечают один или несколько вариантов системы, которые, по мнению проектировщиков, заслуживают дальнейшего рассмотрения и подробного исследования. Анализ вариантов системы (*системный анализ*) проводится по результатам *математического моделирования*, которое на практике представляет собой компьютерное имитационное моделирование системы. Имитационная модель представляет собой некий алгоритм, при помо-



щи которого вычислительная система вырабатывает информацию, характеризующую поведение элементов моделируемой системы и их взаимодействие в процессе функционирования. Получаемая информация позволяет определить показатели эффективности системы, обосновать ее оптимальную структуру и составить рекомендации по совершенствованию исследуемых вариантов. Существуют и аналитические методы оценки свойств сложных систем, основанные на результатах применения теории вероятностных (случайных) процессов.

Зарубежным аналогом системотехники является системная инженерия. Согласно [4] и международному стандарту ISO/IEC 15288 *системная инженерия* — это подход к организации междисциплинарной инженерной деятельности, в котором значительная часть времени посвящена согласованию постановки задачи между всеми участниками проекта из разных процессов и стадий жизненного цикла на основе пакета моделей (системной архитектуры), чтобы максимально снизить риски.

**Системотехника радиоэлектронных средств** — это раздел системотехники, охватывающий вопросы проектирования, создания, испытания и эксплуатации сложных технических систем, работа которых основана на принципах электроники и радиотехники, а также их сочетании с другими физическими принципами (оптика, квантовая механика, электромагнетизм и т.д.). В таблице 1 приведены примеры инженерно-насыщенных комплексных систем [7].

Таблица 1 — Примеры инженерно-насыщенных комплексных систем

Система	Входы	Процесс	Выходы
Метеорологический спутник	Изображения	Хранение данных Передача данных	Кодирование изображения
Система управления воздушным движением в зоне аэропорта	Сигналы бортовых маяков	Опознавание Слежение	Опознавательный код Воздушная трасса Связь
Система слежения за грузовиками	Запросы о направлении грузов	Прокладка маршрута на карте Связь	Информация о маршруте Доставленный груз

Система	Входы	Процесс	Выходы
Система бронирования авиабилетов	Запрос о маршруте поездки	Управление данными	Бронирование Билеты
Медицинская информационная система	Код пациента Результаты анализов Диагноз	Управление информацией	Состояние пациента История болезни Лечение
Система автоматического пилотирования самолета	Положение и ориентация самолета в пространстве. Данные о физических параметрах самолета (скорость, ускорение, масса, лобовое сопротивление воздуха)	Обработка данных в режиме реального времени	Заданная траектория полета

**Схема** (от греч. *schema* — наружный вид, форма, набросок, очерк) —

1) изображение, описание, изложение чего-либо в общих, главных чертах;

2) чертеж, воспроизводящий обычно с помощью условных обозначений и без соблюдения масштаба основную идею какого-либо устройства, сооружения и т.д.

*Схема в конструкторской документации* — документ, на котором условными графическими обозначениями показаны составные части изделия (или установки) и соединения или связи между ними. Схемы выполняются, как правило, без учета масштаба и действительного пространственного расположения составных частей изделия. В зависимости от типа элементов изделий и вида связей между ними схемы подразделяют на электрические, пневматические, гидравлические, кинематические и комбинированные; в соответствии с назначением различают схемы структурные, функциональные, принципиальные, соединений, подключений, общие, расположения.

**Схемотехника ЭРЭС** — (от греч. *Techné* — искусство) — научно-техническое направление, охватывающее проблемы *проектирования* и *исследования схем* электронных устройств радиотехники и связи,

вычислительной техники, автоматики и других областей техники. *Основная задача схемотехники* — синтез (определение структуры) электронных схем, обеспечивающих выполнение определенных функций, и расчет параметров входящих в них элементов.

Термин «схемотехника» появился в 60-х гг. XX века в связи с разработкой унифицированных схем, пригодных одновременно для множества применений.

На основе электронной схемы создают соответствующее устройство (входящее в состав некоторой технической системы). К устройству предъявляется требование надежной работы в течение заданного времени в реальных условиях производственного разброса параметров элементов и их старения, влияния внешней среды и возмущающих воздействий. Поэтому при разработке схем наряду с расчетом номинальных значений параметров элементов необходимо рассчитывать эксплуатационные допуски на них, предусматривать в схеме средства, повышающие надежность устройства (обеспечивающие устойчивую работу схемы при внешних воздействиях), а также позволяющие контролировать его исправность.

Элементной базой для создания электронных устройств служат дискретные электро- и радиоэлементы (резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и т. д.) и интегральные схемы (ИС). Если электронная схема используется в виде ИС либо нескольких ИС, то говорят о «микросхемотехнике», под которой понимают область микроэлектроники, связанную с проектированием ИС. Помимо синтеза и расчета электронных схем, микросхемотехника решает задачу разработки на основе электронных схем структуры (топологии) ИС. Основные этапы разработки: расчет геометрических размеров элементов ИС; рациональное размещение элементов на поверхности или в объеме подложки ИС; нахождение оптимальных соединений элементов (возможные критерии оптимальности — обеспечение минимальных длин проводников, либо числа их пересечений, либо взаимного влияния и т. д.). Так как создание новой ИС — комплексная проблема, то ее решают совместно специалисты по микросхемотехнике, физики, технологи, конструкторы, используя комплексные опытно-теоретические методы, в том числе компьютерное моделирование как самой схемы, так и условий ее работы.

Теоретической базой схемотехники (в том числе микросхемотехники) служат теория линейных и нелинейных электрических цепей, электродинамика, математическое программирование, теория автоматов и др. При создании электронных схем первостепенную роль в настоящее время играет использование методов компьютерного моделирования и систем автоматизированного проектирования (САПР).

**Системотехник, проектировщик сложных технических систем, системный инженер (systems engineer, systems designer)** — это специалист широкого профиля, инженер, обладающий достаточными знаниями в конкретной области техники, имеющий повышенную математическую подготовку, а также знающий основы вычислительной техники, автоматизации управления, исследования операций [8, 9] и особенности их практического применения. Проектировщик сложных ТС работает преимущественно на комплексном и системном уровнях, а также на уровне системы систем. Помимо него в группу внешнего проектирования сложных систем обычно включают специалистов по системному анализу и математическому моделированию, инженеров, способных организовать взаимодействие между элементами системы.

Существенные особенности имеют испытания сложных систем. Натурный эксперимент в чистом виде используется только для оценки параметров важнейших элементов системы. В комплексных же испытаниях системы значительную роль играют имитационные модели. В частности, на их основе строят имитаторы воздействий внешней среды, генераторы фиктивных сигналов и сообщений, формируют реализации процессов функционирования элементов, участие которых в натурном эксперименте нецелесообразно.

Если отталкиваться от ISO 15288, то можно сказать, что *системные инженеры* — это специалисты, реализующие один или несколько процессов из блока технических процессов [4]. *Системно-инженерные менеджеры* — это специалисты, реализующие один или несколько процессов из блока процессов технического управления. За все технические процессы отвечает *главный системный инженер*, а за все процессы технического управления — *руководитель проекта*, но работать им приходится всегда вместе, потому что все очень связано. За обеспечивающие процессы обычно отвечает *технический директор*.

**Схемотехник** ЭРЭС — это специалист электронного и/или радиоэлектронного профиля, обладающий достаточными знаниями в своей области техники и работающий преимущественно на уровнях схемы электрической принципиальной, т.е. на уровнях компонентной базы (ЭКБ), функциональных узлов (ФУ) и электронных и радиоэлектронных устройств (ЭУ/РЭУ) иерархии ЭРЭС.

**Проектирование** — процесс определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы или ее части [10]. Результатом проектирования является проект — целостная совокупность моделей, свойств или характеристик, описанных в форме, пригодной для реализации системы.

Проектирование ТО (от лат. *projectus* — брошенный вперед) — процесс создания проекта, реализация прообраза желаемого ТО. Проектирование, как и вся инженерная деятельность, является процессом поиска, нахождения и отображения в конструкторской документации (КД) решений, связанных с созданием новых технических систем, работающих на принципах электроники и радиоэлектроники [11].

Проектирование ЭРЭС как прикладная научная дисциплина является обобщением методов анализа и синтеза схем, конструкций и технологий, необходимых при разработке электронных или радиотехнических систем.

Проектирование схем и конструкций относится к процессам принятия решений, которые на всех уровнях выполняются в следующей последовательности: постановка задачи — формулирование конкретных требований к объекту проектирования; поиск решений — подбор вариантов (синтез алгоритмов преобразования информации); принятие решения — выбор и обоснование наилучшего (оптимального) варианта из числа возможных на основании четко сформулированного критерия оптимизации; исполнение решения — разработка КД по выбранному варианту; оценка полученных результатов — сравнение с установленными требованиями, корректирование схемы и конструкции в случае необходимости.

В этой последовательности следует подчеркнуть вариантность проработки и необходимость количественной оценки качества технического объекта.

По степени новизны проектируемых технических систем различают следующие уровни проектирования ЭРЭС:

– частичная модернизация — изменение параметров, которое определяет сравнительно небольшое улучшение показателей качества (рисунок 1,а);

– существенная модернизация — изменение параметров и структуры системы, которое определяет существенное улучшение показателей качества (рисунок 1,б);

– создание новой системы, которая базируется на новых физических принципах действия для обеспечения значительного улучшения основных показателей качества при выполнении тех же самых или новых функций (рисунок 1,в).

По степени сложности задачи проектирования ЭРЭС условно подразделяют на простые (когда необходимо привлечь меньше десяти инженеров), средней сложности и очень сложные (нужны большие коллективы из тысяч инженеров разных направлений и профилей подготовки, специальностей и специализаций).

Основные этапы проектирования включают: выбор и обоснование цели проектирования ЭРЭС и исходных данных (техническое задание, техническое предложение); определение принципов построения системы (эскизный проект); аппаратурный синтез — проектирование схем, конструкций, технологических процессов (технический проект, разработка КД опытных образцов, установочная партия, серийное производство).

Для упрощения процессов коммуникации между специалистами разных этапов создания и использования технических систем используется единая система конструкторской документации (ЕСКД) — комплекс государственных стандартов, которые определяют единый состав, правила разработки, оформления и обращения КД.

По характеру выполняемых работ проектирование ЭРЭС часто подразделяют на системотехническое (первые этапы), схемотехническое и конструкторское и технологическое. Эти этапы тесно взаимосвязаны и переплетены. При проектировании микро-, наноэлектронных приборов и приборов СВЧ их разделение почти невозможно.

По методам проектирования ЭРЭС различают проектирование алгоритмическое и эвристическое, математическое и экспериментальное.

Однако наиболее полное решение задач проектирования ЭРЭС возможно только на основании системного подхода.



Рисунок 1 — Уровни проектирования ЭРЭС:  
а — частичная модернизация существующих ЭРЭС;  
б — существенная модернизация ЭРЭС; в — создание новых ЭРЭС

Степень сложности современных ЭРЭС приближается к границе, за которой эффективность труда человека-проектировщика резко па-

дает. В связи с этим при использовании традиционных методов проектирования время, необходимое для разработки КД и подготовки производства сложных ЭРЭС, становится соизмеримым со временем их морального старения. Поэтому для ускорения процесса проектирования применяется его автоматизация, достигаемая с помощью формализации работы проектировщика и использования возможностей современной компьютерной техники и САПР.

**Системный подход** — метод проектирования на основе всестороннего рассмотрения технической системы с учетом ее развития и взаимодействия с эксплуатантом и окружающей средой.

Согласно принципам системного подхода любая исследуемая система должна рассматриваться как совокупность взаимосвязанных элементов и подсистем, но описание ее элементов не должно носить самодовлеющего характера, а должно вытекать из задач системы и задач ее исследования. При этом она должна рассматриваться, с одной стороны, как подсистема в системе более высокого уровня (надсистема), а с другой стороны — как совокупность образующих ее подсистем [12].

Системный подход заключается и в том, что сложный объект исследования (система) определяется не только как его основные элементы, но и как характер связей и отношений между ними, что отличает системный подход от более мелких — комплексного или функционального подходов.

В основе системного подхода к проектированию ЭРЭС лежат:

- учет всех этапов жизни системы (проектирования, производства, эксплуатации, утилизации);
- учет истории, особенно перспектив развития систем того же класса и ближайших к нему классов;
- учет взаимодействия системы с внешней средой (взаимодействия с другими системами данного иерархического уровня, учет обмена информацией, энергией, веществом, сигналами, помехами, влияния температуры, влажности, давления, механических нагрузок, радиации и т. д.);
- учет развития элементной базы;
- выделение главного показателя качества.

Стремление улучшить наибольшее число показателей качества может привести к потере оптимального решения. В большинстве



прикладных задач к главным вопросам проектирования относятся: определение показателей помехоустойчивости, надежности, точности, пропускной способности, массогабаритных характеристик, стоимости; выяснение основных технических противоречий, препятствующих повышению качества системы, и нахождение способов их преодоления; объединение различных методов проектирования — алгоритмических и эвристических, математических и экспериментальных.

**Аспектами (составляющими) системного подхода** являются:

- *целевой* — анализ целей и задач, решаемых системой и ее подсистемами;
- *элементный* — анализ компонентного состава системы, качественных и количественных характеристик компонентов;
- *структурный* — анализ архитектоники системы, т.е. способов связи, и организация взаимодействия элементов;
- *функционирования* — анализ процессов, происходящих в системе и определяющих ее поведение;
- *коммуникативный* — анализ связей и взаимодействия системы со средой;
- *управленческий (интегративный)* — анализ управления как основного системообразующего фактора;
- *информационный* — анализ процессов протекания информационного обмена в системе.

**Основные задачи системного подхода:**

- разработка содержательных и формализованных средств представления объекта как системы;
- всестороннее исследование элементов системы, взаимодействий и связей между ними по всем аспектам системного подхода;
- построение обобщенных моделей системы и ее свойств, включая модели их динамики и целенаправленного поведения, развития и процессов управления ими.

Для реализации в ходе исследований требований системного подхода необходимо придерживаться определенных рекомендаций:

- связывать частные научные задачи с общей целью исследования;
- рассматривать явления или процессы в их структурной сложности (множестве составляющих элементов и их иерархичности),

группируя элементы системы по назначению и относительной самостоятельности функций, образуя подсистемы;

– выделять наиболее важные и приоритетные элементы или процессы;

– рассматривать взаимосвязь и взаимозависимость элементов внутренней и внешней среды объекта исследования;

– изучать элементы явлений или процессов с учетом их ретроспективы (как возникли, как развивались, к чему пришли);

– в исследованиях стремиться выделять элементы нижестоящего уровня, которые могут оказать влияние на всю систему, но при этом сосредоточивать внимание на главном, не углубляясь в детали.

**Методология** в самом общем смысле представляет собой учение об организации деятельности.

Под *методологией проектирования* будем понимать учение о структуре, логической организации, методах и средствах поиска и принятия решений о принципе действия и составе еще не существующего технического объекта (технической системы (ТС)), наилучшим образом удовлетворяющего определенные потребности, а также составление описания, необходимого для его создания в заданных условиях [13].

В контексте данного учебного пособия методологией будем называть учение о способах и средствах организации деятельности по проектированию ТС, работа которых основана на физических принципах электроники и/или радиоэлектроники.

Проектирование систем отличается от улучшения систем исходными посылками и используемыми методами (таблица 2) [14].

Таблица 2 — Сравнение двух методологий изменений: улучшения систем и проектирования систем

Сравнительная характеристика	Улучшение систем	Проектирование систем
Условия работы системы	Проект принят	Проект под вопросом
Объекты исследования	Субстанция Содержание Причины	Структура и процесс Метод Цель и функция

Сравнительная характеристика	Улучшение систем	Проектирование систем
Парадигма	Анализ системы и подсистем (аналитический метод, или научная парадигма)	Проектирование системы в целом (системный подход, или системная парадигма)
Метод рассуждений	Дедукция и редукция	Индукция и синтез
Результат	Улучшение существующей системы	Оптимизация системы в целом
Методика	Определение причин отклонений реальной работы системы от запланированной (прямые издержки)	Определение различий между реальным и оптимальным проектом (вмененные издержки)
Основной акцент	Объяснение прежних отклонений	Прогнозирование будущих результатов
Подход	Интроспективный: от системы внутрь	Экстроспективный: от системы наружу
Роль планировщика	Ведомый: следует существующим тенденциям	Лидер: оказывает влияние на тенденции

При улучшении систем возникающие вопросы связаны с обеспечением нормальной работы уже существующих систем. В то же время системный подход является в своей основе методологией проектирования систем. Поэтому при его использовании ставится под сомнение сам характер данной системы и ее роль в рамках более широкой системы. И первый вопрос, который возникает при системном подходе, — это цель существования системы, при этом необходимо установить отношения между данной системой и всеми другими системами, в которые она входит или с которыми она связана.

## Выводы

1. Системотехника ЭРЭС — это наука о том, какие функциональные узлы соединять друг с другом, каким образом это делать и с какой целью.

2. Схемотехника ЭРЭС — это наука о том, какие электронные компоненты соединять друг с другом, каким образом это делать и с какой целью.

3. Главными категориями системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств являются:

- а) объекты (модели, элементная база);
- б) процессы (структура, принципы, законы, методы).

4. Системотехника или системное проектирование комплексно решает поставленные задачи, принимает во внимание взаимодействие и взаимосвязь отдельных объектов-систем и их частей как между собой, так и с внешней средой, учитывает социально-экономические и экологические последствия их функционирования. Системное проектирование основывается на тщательном совместном рассмотрении объекта проектирования и процесса проектирования.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое уровни разукрупнения РЭС?
2. Чем большие системы отличаются от сложных?
3. Как между собой соотносятся следующие понятия: радиоэлектронное средство, техническое средство, техническая система, технический объект?
4. Чем отличаются дескриптивные и конструктивные определения понятия «система»?
5. Что такое системотехника РЭС?
6. Что такое схемотехника РЭС?
7. Чем макропроектирование отличается от микропроектирования?
8. Какую роль выполняет понятие «схема» в деятельности системотехников и схемотехников?
9. Как можно кратко изложить суть деятельности системотехника РЭС?
10. Как можно кратко изложить суть деятельности схемотехника РЭС?
11. Что такое проектирование?
12. Что является результатом процесса проектирования?
13. Что такое эволюция технических систем?

## Упражнения

1. Приведите примеры радиоэлектронных средств, электронных средств, радиотехнических средств.

2. Приведите примеры больших электронных и радиоэлектронных систем.

3. Приведите примеры сложных электронных и радиоэлектронных систем.

4. Приведите примеры одновременно больших и сложных электронных и радиоэлектронных средств.

5. Приведите конкретные примеры, наглядно поясняющие понятие эволюции радиоэлектронных средств.

6. Приведите примеры электронных и радиоэлектронных средств, достигших предела своего развития.

7. Для каждой из перечисленных ниже отраслей назовите по меньшей мере два крупных технологических прорыва, случившихся после 1990 года и радикально изменивших всю отрасль. Объясните, как именно изменения отразились на состоянии дел:

- а) транспорт;
- б) связь;
- в) управление финансами;
- г) производство;
- д) реализация и торговля;
- е) развлечения;
- ж) здравоохранение.

## Глава 2

# ОСНОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ СИСТЕМО- И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Забота о самом человеке и его судьбе  
должна быть в центре внимания  
при разработке всех технических  
усовершенствований.*

*А. Эйнштейн*

*Нужен не только ученый, но и смысленый.*

*Русская пословица*

## 2.1 Предварительные замечания

Системо- и схемотехническое проектирование электронных и радиоэлектронных средств — это деятельность проектировщика, результатом которой является полное и всестороннее описание будущей технической системы. Эта деятельность является весьма сложной, поэтому возникает необходимость ее организации, т.е. использование методологического подхода.

Рассмотрим основания методологии системо- и схемотехнического проектирования ЭРЭС.

Основанием называется достаточное условие для чего-либо: бытия, познания, мысли, деятельности [15]. Важность выделения оснований методологии проектной деятельности объясняется требованиями целостности, всесторонности и обобщенности условий, формулируемых проектировщиком проблем и задач. При этом основания методологии проектирования являются категорическим фундаментом топки проектировщика, что позволяет ему подойти к решению этих проблем и задач с соблюдением жестких требований логической полноты и непротиворечивости проектной деятельности.

Любая человеческая деятельность характеризуется пятью инвариантными сторонами: ценностно-ориентировочной деятельностью, познавательной и преобразовательной деятельностью, эстетической и коммуникативной деятельностью. В соответствии с этим в настоящее

время выделяют следующие пять оснований современной методологии проектной деятельности [16] (рисунок 2):

- 1) философско-психологическую теорию деятельности;
- 2) системный анализ (системотехнику) — учение о системе методов исследования или проектирования сложных систем, поиска, планирования и реализации изменений, предназначенных для ликвидации проблем;
- 3) науковедение, теорию науки. В первую очередь, к методологии имеют отношение такие разделы науковедения, как гносеология (теория познания) и семиотика (наука о знаках);
- 4) эстетику деятельности;
- 5) этику деятельности.

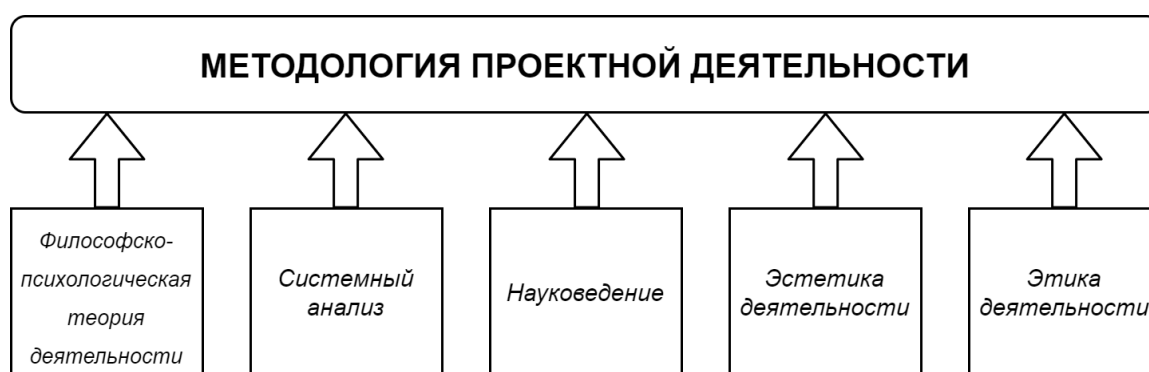


Рисунок 2 — Основания методологии проектной деятельности

Охарактеризуем каждое из оснований рассматриваемой методологии.

## 2.2 Философско-психологические и системные основания методологии проектной деятельности

*Проектная деятельность* определяется как активное взаимодействие проектировщика с окружающей действительностью, в ходе которого проектировщик выступает как субъект, целенаправленно действующий на объект и удовлетворяющий таким образом свои потребности [17].

При этом *субъект* определяется в философии (см., например [15. С. 661]) как носитель предметно-практической деятельности и познания (индивид или социальная группа); источник активности,

направленной на объект. С точки зрения диалектики субъект отличается присущим ему самосознанием, поскольку он овладел в определенной мере созданным человечеством миром культуры — орудиями предметно-практической деятельности, формами языка, логическими категориями, нормами эстетических, нравственных оценок и т. д.

*Объект* в философии [15. С. 453] определяют как то, что противостоит субъекту в его предметно-практической и познавательной деятельности. Объект не тождествен объективной реальности, а выступает как та ее часть, которая находится во взаимодействии с субъектом благодаря активной деятельности последнего.

*Философия* изучает деятельность как всеобщий способ существования человека. *Психология* изучает деятельность как важнейший компонент психики человека. ТС создаются людьми и для людей, поэтому проектировщик должен учитывать особенности человеческой психологии. Дисциплина, изучающая особенности взаимодействия человека и технической системы, называется технической психологией.

*Системный анализ* базируется на системном подходе и, отличаясь междисциплинарным или наддисциплинарным положением, рассматривает, в частности, деятельность как сложную систему, направленную на подготовку, обоснование и реализацию решения сложных проблем технического, экономического, социального, политического характера [18].

Из сопоставления подходов философии, психологии и системного анализа следует общая схема *структуры проектной деятельности* системотехника (рисунок 3), развертываемая во времени (прошлое, настоящее, будущее) и охвате географического и социального пространства (локальный, региональный, государственный и мировой уровни).

Рассмотрим основные структурные компоненты проектной деятельности.

*Потребности* определяются (см. например [15. С. 518]) как нужда или недостаток в чем-либо, необходимом для поддержания жизнедеятельности организма, человеческой личности, социальной группы, общества в целом. Биологические потребности, в том числе у человека, обусловлены обменом веществ — необходимой предпосылкой существования любого организма. Потребности социальных субъектов — личности, социальных групп и общества в целом — зависят



от уровня развития данного общества, а также от специфических социальных условий их деятельности. В своей деятельности проектировщик ТС должен принимать во внимание масштаб потребности.

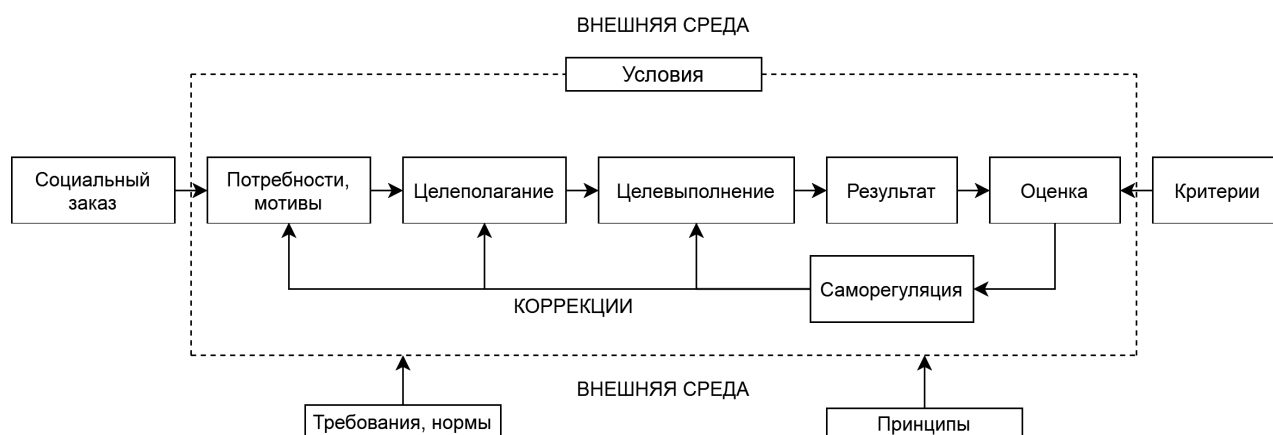


Рисунок 3 — Процессуальные компоненты деятельности

Масштаб потребности (индивидуальные, групповые, социальные, мировые) определяется величиной *социального заказа*, который в свою очередь зависит от степени социально-экономического и культурного развития общества в конкретный момент исторического времени. С точки зрения разработчиков технических систем, величина социального заказа играет определяющую роль в задаче оценки целесообразности производства продукции, а с точки зрения самих технических систем социальный заказ определяет их жизнеспособность.

Потребности конкретизируются, опредмечиваются в *мотивах*, являющихся побудителями деятельности человека, социальных групп, ради чего она и совершается [15. С. 389–390]. Мотивация, то есть процесс побуждения человека, социальной группы к совершению определенной деятельности, тех или иных действий, поступков, представляет собой сложный процесс, требующий анализа и оценки альтернатив, выбора и принятия решений.

Мотивы обуславливают *определение цели* как субъективного образа желаемого результата деятельности, действия [19. С. 165]. Поэтому цель занимает особое место в структуре проектной деятельности. Системо- и схмотехническое проектирование ЭРЭС относится к продуктивному типу деятельности, т.е. относительно нестандартной, инновационной, творческой деятельности. Цель проектирования может определяться самим проектировщиком либо проектировщиком

совместно с заказчиком. При этом процесс целеполагания становится довольно сложным процессом, имеющим свои собственные стадии и этапы, методы и средства. Поэтому в категориях современного проектно-технологического типа организационной культуры, в категориях системного анализа процесс целеполагания определяется как проектирование.

**Формальное описание процедуры определения целей проектирования.** Для наглядного представления и систематизации целей в виде упорядоченной иерархии удобно использовать граф [13]. Все общественное окружение объекта проектирования разбивается на уровни в зависимости от их масштаба. На первом уровне помещается сфера, охватывающая интересы всего человечества. На втором — интересы государства. Далее размещаются сферы интересов отрасли, предприятия (заказчика), проектной организации (исполнителя), отдела и, наконец, сфера личных интересов. На каждом уровне возникают свои цели, подчиненные целям более высокого уровня. Граф, вершины которого означают цели, а дуги — их отношения, и образует граф целей (рисунок 4). Вершины его ориентированы относительно уровней сфер окружения. При составлении графа в каждом конкретном случае нужно прежде всего решить, начиная с какого уровня необходимо учитывать сферы окружения. Проектируемое изделие не всегда влияет на интересы государства и тем более всего человечества, однако чрезмерное усечение уровней может оказать неучтенное воздействие в сферах более высокого уровня.

Цели проектирования на каждом уровне интересов общества неравнозначны по своей важности. Одни из них необходимо достичь обязательно, другие — желательны, а некоторыми вообще можно пренебречь.

Процесс целевыполнения также характеризуется в каждом конкретном случае своим содержанием, своими формами и своими специфическими методами, средствами и технологиями [16].

Совершенно особое место в структуре деятельности занимают те компоненты, которые в случае индивидуального субъекта называются саморегуляцией, а в случае коллективного субъекта, коллективной деятельности — управлением.

1. Интересы всего человечества

2. Государственные интересы

3. Интересы отрасли

4. Интересы заказчика

5. Интересы проектной организации

6. Интересы отдела

7. Личные интересы

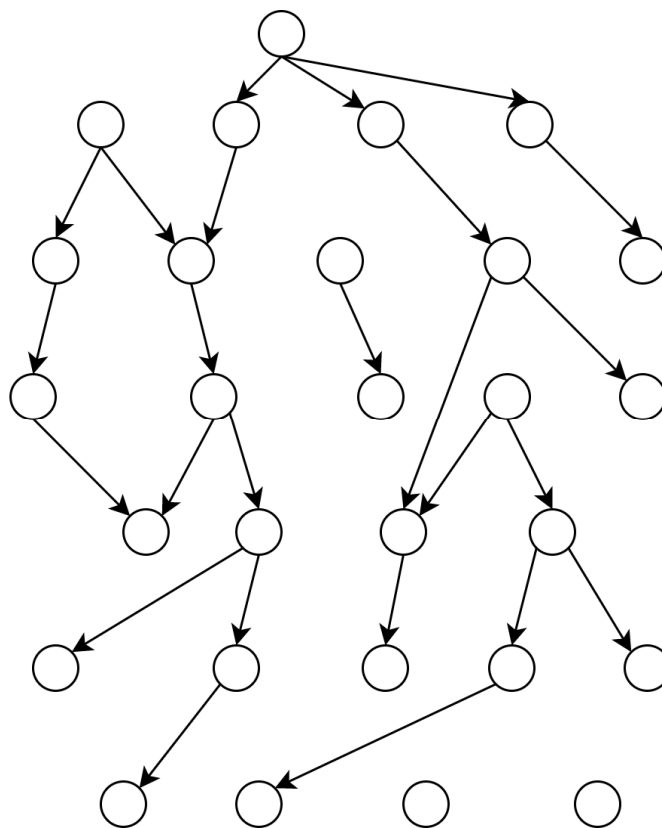


Рисунок 4 — Граф целей, ориентированный относительно уровней интересов общества

Саморегуляция в общем смысле определяется [20] как целесообразное функционирование живых систем. Психическая саморегуляция является одним из уровней регуляции активности этих систем, выражающим специфику реализующих ее психических средств отражения и моделирования действительности, в том числе рефлексии субъекта (понятие рефлексии мы будем подробно рассматривать в дальнейшем).

Саморегуляция имеет следующую структуру: принятая субъектом цель его деятельности — модель значимых условий деятельности — программа собственно исполнительских действий — система критериев успешности деятельности — информация о реально достигнутых результатах — оценка соответствия реальных результатов критериям успеха — решение о необходимости и характере коррекций деятельности. Саморегуляция представляет собой, таким образом, замкнутый контур регулирования и является информационным процессом, носителем которого выступают различные формы отражения действительности.

Управление [15] рассматривается как элемент, функция организованных систем различной природы: биологических, социальных, технических, обеспечивающая сохранение их определенной структуры, поддержание режима деятельности, реализацию программы, цели деятельности. Коллективная деятельность невозможна без создания определенного порядка, разделения труда, установления места и функций каждого человека в коллективе, осуществляемых с помощью управления.

Понятие *внешней среды* (см. рисунок 3) является важнейшей категорией системного анализа, который рассматривает, в частности, человеческую деятельность как сложную систему.

Среда (внешняя среда) определяется как совокупность всех объектов/субъектов, не входящих в систему, изменение свойств и/или поведение которых влияет на изучаемую систему, а также тех объектов/субъектов, чьи свойства и/или поведение которых меняются в зависимости от поведения системы.

На рисунке 3 отдельно выделены факторы, задаваемые внешней (по отношению к данному субъекту деятельности) средой: это критерии оценки соответствия результата цели; принятые в обществе нормы (правовые, этические, гигиенические и т. п.) и принципы деятельности. Условия деятельности (материально-технические, финансовые, информационные и т. п.) будут относиться и к внешней среде и в то же время могут входить в состав самой деятельности, учитывая возможности активного влияния субъекта на создание условий своей деятельности (например, если не хватает средств на осуществление какого-либо проекта, можно попытаться найти спонсоров, инвесторов – заинтересованные организации, которые его профинансируют и т. д.).

Инвариантным для любой деятельности является следующий набор групп условий: мотивационные, кадровые, материально-технические, научно-методические, финансовые, организационные, нормативно-правовые, информационные условия.

**Проектно-технологический тип организационной культуры.** В настоящее время мы живем в проектно-технологическом типе организационной культуры (таблица 3) [16].

Еще в прошлом веке наряду с теориями проявились такие интеллектуальные организационности, как проекты и программы, а к концу

XX века деятельность по их созданию и реализации стала массовой. Обеспечиваются они не только и не столько теоретическими знаниями, сколько аналитической работой. Профессиональная культура за счет своей теоретической мощи породила способы массового изготовления новых знаковых форм (моделей, алгоритмов, баз данных и т. п.), и это стало теперь материалом для новых технологий. Эти технологии уже не только вещного, но и знакового производства, а в общем, технологии, наряду с проектами, программами, стали ведущей формой организации деятельности. Специфика современных технологий заключается в том, что ни одна теория, ни одна профессия не могут покрыть весь технологический цикл. Сложная организация больших технологий приводит к тому, что бывшие профессии обеспечивают лишь одну-две ступени больших технологических циклов, и для успешной работы и карьеры человеку важно быть не только профессионалом, а также способным активно и грамотно включаться в эти циклы.

Таблица 3 — Характеристика типов организационной культуры (по В.А. Никитину)

Тип организационной культуры	Способы нормирования и трансляции деятельности	Формы общественного устройства, воспроизводящие способ
Традиционная	Миф и ритуал	Коммунальные группы, формируемые по принципу «свой-чужой» на отношениях родства
Корпоративно-ремесленная	Образец и рецепт его воссоздания	Корпорация, имеющая формально иерархическое строение – мастер, подмастерье, ученик
Профессиональная (научная)	Теоретические знания в форме текста	Профессиональная организация, построенная на принципе онтологических (бытийных) отношений
Проектно-технологическая	Проекты, программы (особо крупные проекты) и технологии	Технологическое общество, структурированное по принципу коммуникативности и профессиональных отношений

Для повсеместного распространения проектно-технологического типа организационной культуры были объективные причины. К середине XX века была в основном решена главная проблема, довлевшая над всем человечеством на протяжении всей истории — проблема

голода. Человечество впервые за всю историю смогло накормить себя (в основном), а также создать для себя благоприятные бытовые условия (в основном). Тем самым был обусловлен переход человечества в совершенно новую, так называемую постиндустриальную эпоху развития, когда появилось изобилие продовольствия, товаров, услуг. Во всей мировой экономике стала развиваться острейшая конкуренция. В течение короткого времени в мире стали происходить огромные деформации — политические, экономические, общественные, культурные и т. д. Одним из признаков этой новой эпохи стали нестабильность, динамизм политических, экономических, общественных, правовых и других ситуаций. Все в мире стало непрерывно и стремительно изменяться, и следовательно, практика должна постоянно перестраиваться применительно к этим новым условиям. Таким образом, инновационность практики стала атрибутом нашего времени.

Если раньше, еще несколько десятилетий назад в условиях относительно длительной стабильности образа жизни практические работники — инженеры, врачи, учителя и т. д. — могли спокойно ждать, пока наука, ученые (а также, в былые времена, и центральные органы власти) разработают новые рекомендации, апробируют их в эксперименте, а потом конструкторы и технологи разработают и апробируют соответствующие конструкции и технологии, и лишь потом дело дойдет до массового внедрения в практику, то такое ожидание сегодня стало бессмысленным. Пока все это произойдет, ситуация изменится коренным образом. Поэтому практические работники естественно и объективно устремились по другому пути — они стали сами создавать инновационные модели социальных, экономических, технологических, образовательных и подобных систем: авторские модели фирм, организаций, школ, авторские технологии, авторские методики и т. д.

Важным моментом является одно — развивавшийся с XVII века профессиональный тип организационной культуры, основой которого являлись письменные тексты в виде учебников, специальной литературы, инструкций, руководств, методических рекомендаций и т. п., где-то в середине XX века сменился в связи с ускорением развития общественных, в том числе производственных отношений, новым типом организационной культуры (естественно, вобравшей в себя все предыдущие) — проектно-технологической культурой.

В этом новом типе организационной культуры ключевыми становятся понятия: *проект*, *технологии* и *рефлексия*. При этом два из них являются как бы противоположными: проект (дословно — брошенный вперед) и рефлексия (дословно — обращение назад).

Традиционное понимание проекта, существовавшее ранее в технике, в строительстве и т. д. — это совокупность документов (расчетов, чертежей и др.) для создания какого-либо сооружения или изделия. На смену ему пришло современное понимание проекта как завершенного цикла продуктивной деятельности отдельного человека, коллектива, организации, предприятия или совместной деятельности многих организаций и предприятий.

Каждый проект от возникновения идеи до полного своего завершения проходит ряд ступеней своего развития. Полная совокупность ступеней развития образует жизненный цикл проекта. Жизненный цикл принято разделять на фазы, фазы — на стадии, стадии — на этапы. При этом под проектированием понимается начальная фаза проекта.

Современное понимание понятия «технология» — это система условий, форм, методов и средств решения поставленной задачи. Такое понимание технологии пришло в широкий обиход из сферы производства в последние десятилетия. А именно тогда, когда в развитых странах стали выделяться в отдельные структуры фирмы-разработчики ноу-хау: новых видов продукции, материалов, способов обработки и т. д. Эти фирмы стали продавать фирмам-производителям лицензии на право выпуска своих разработок, сопровождая эти лицензии детальным описанием способов и средств производства — то есть технологиями.

Очевидно, что любой проект реализуется определенной совокупностью технологий.

Важнейшую роль в организации продуктивной деятельности играет рефлексия — постоянный анализ целей, задач процесса и его результатов.

## 2.3 Наукovedческие основания методологии проектной деятельности

Системотехник в силу своего широкого профиля должен знать в идеале «все обо всем». При этом, разумеется, он должен представлять себе современное состояние наук, знания которых содержат решения формулируемых им задач и ответы на поставленные им вопросы. Важна способность инженера-системотехника понять и выразить знание о своем незнании и определить спектр наук, по которым рассеяны части ответов и решений к его задаче. Для этого ему необходимо иметь общее представление и понимание того, чем занимается каждая наука и задачи какого типа она решает [16].

Методология как учение об организации деятельности, естественно, опирается на научное знание. Специалист-практик, включаясь в любую инновационную деятельность, неизбежно должен будет исследовать все то, что для его целей может дать современная наука. А для этого также необходимо представлять, какие бывают научные знания, как они строятся и используются, какую специфику имеет та или иная отрасль научного знания в плане возможностей ее применения в практике и т. д. В настоящее время человечество за относительно короткую историю науки накопило колоссальный объем знаний. Среди этих знаний уже содержатся решения некоторых современных проблем. Вопрос в том, что целесообразнее и быстрее: найти имеющийся ответ в большом объеме информации или повторно выработать уже имеющееся знание, т.е. второй раз «изобрести велосипед».

С точки зрения современных процессов глобализации основным требованием к развитию государства является эффективность и скорость производства новых (фундаментальных и прикладных) знаний и их внедрение в практику.

Отрасль науки, которая изучает саму науку в широком смысле слова, называется науковедением. Она включает в себя целый ряд дисциплин: гносеологию, логику науки, семиотику (учение о знаках), социологию науки, психологию научного творчества и т.д.

Гносеология — это теория научного познания (синоним — эпистемология), одна из составных частей философии. В целом гносеология изучает закономерности и возможности познания, исследует сту-



пени, формы, методы и средства процесса познания, условия и критерии истинности научного знания.

Методология же науки как учение об организации научно-исследовательской деятельности — это та часть гносеологии, которая изучает процесс научной деятельности (его организацию).

Важно разграничивать понятия «научное познание» и «научное исследование». Научное познание рассматривается как общественно-исторический процесс и является предметом исследований гносеологии. Исследование (научное) рассматривается как субъективный процесс — как деятельность по получению новых научных знаний отдельным индивидом — ученым, исследователем или их группой, коллективом, что является предметом методологии науки (методологии научного исследования). Научное познание не существует вне познавательной деятельности отдельных индивидов, однако последние могут что-то познавать (исследовать) лишь постольку, поскольку овладевают коллективно выработанной, объективизированной системой знаний, передаваемых от одного поколения ученых к другому.

Наука — эта та область деятельности, где основной целью является получение самого научного знания.

Наука и определяется как сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности.

В узком смысле термин «наука» употребляется также для обозначения отдельных отраслей научного знания: наука «физика», «химия», «психология», «педагогика» и т.д.

Наука как феномен — явление чрезвычайно многоаспектное. В любом случае, говоря о науке, необходимо иметь в виду, как минимум, три ее основных аспекта, в каждом конкретном случае четко различая, о чем идет речь:

- наука как социальный институт (сообщество ученых, совокупность научных учреждений и структур научного обслуживания);
- наука как результат (научные знания);
- наука как процесс (научная деятельность).

**Общие закономерности развития науки.** Известны шесть основных закономерностей развития науки.

1. Обусловленность развития науки потребностями общественно-исторической практики. Это главная движущая сила развития науки, которая определена не просто потребностями практики, например производственной, образовательной, а именно — общественно-исторической практики. Каждое конкретное исследование может и не обуславливаться конкретными запросами практики, а вытекать из логики развития самой науки или, к примеру, определяться личными интересами ученого.

2. Относительная самостоятельность развития науки. Какие бы конкретные задачи не ставила практика перед наукой, решение этих задач может быть осуществлено лишь по достижении наукой определенного уровня, соответствующих ступеней развития самого процесса познания действительности. При этом от ученого нередко требуется несомненное мужество, когда его научные взгляды, его научные построения идут «вразрез» с устоявшимися традициями, с мнением коллег, с установками того или иного министерства или с действующими нормативами, документами и т. п.

3. Преемственность в развитии научных теорий, идей и понятий, методов и средств научного познания. Каждая более высокая степень в развитии науки возникает на основе предшествующей ступени с сохранением всего ценного, что было накоплено раньше.

4. Чередование в развитии науки периодов относительно спокойного (эволюционного) развития и бурной (революционной) ломки теоретических основ науки, системы ее понятий и представлений. Эволюционное развитие науки — процесс постепенного накопления новых фактов, экспериментальных данных в рамках существующих теоретических воззрений, в связи с чем идет расширение, уточнение и доработка уже принятых ранее теорий, понятий, принципов. Революции в науке наступают, когда начинается коренная ломка и перестройка уже установившихся воззрений, пересмотр фундаментальных положений, законов и принципов в результате накопления новых данных, открытия новых явлений, не укладывающихся в рамки прежних воззрений. Но ломке и отбрасыванию подвергается при этом не само содержание прежних знаний, а их неверное истолкование, например неправильная универсализация законов и принципов, имеющих в действительности лишь относительный, ограниченный характер.

5. Взаимодействие и взаимосвязанность всех отраслей науки, в результате чего предмет одной отрасли науки может и должен исследоваться приемами и методами другой науки.

В результате этого создаются необходимые условия для более полного и глубокого раскрытия сущности и законов качественно различных явлений.

6. Свобода критики, беспрепятственное обсуждение вопросов науки, открытое и свободное выражение различных мнений. Поскольку диалектически противоречивый характер явлений и процессов в природе, в обществе и человеке раскрывается в науке не сразу и не прямо, в борющихся мнениях и воззрениях отражаются лишь отдельные противоречивые стороны изучаемых процессов. В результате такой борьбы преодолевается первоначальная неизбежная односторонность различных взглядов на объект исследования и вырабатывается единое воззрение, на сегодняшний день наиболее адекватное отражение самой действительности.

Необходимо отметить следующие свойства науки как результата.

1. Кумулятивный характер развития научного знания. Новые знания соединяются, интегрируются с прежними, не отвергая прежних, а дополняя их. На протяжении последних столетий развитие научного знания происходит по экспоненциальному закону, то есть примерно за каждые десять лет объем научных знаний удваивается. При этом любое новое научное знание может быть получено только в том случае, если исследователь изучил все, что было сделано его предшественниками. Это необходимо еще раз особо подчеркнуть, поскольку нередко, особенно специалисты-практики, начинают «экспериментировать», не изучив научную литературу по проблеме «эксперимента», и тем самым зачастую «изобретается велосипед».

2. Дифференциация и интеграция науки. Накопление научных знаний приводит к дифференциации, к дроблению наук. Появляются новые и новые отрасли научного знания, например химическая биофизика и физическая биохимия, педагогическая психология и психологическая педагогика и т. д. В то же время происходят и интеграционные процессы, когда появляются общие теории, позволяющие объединить и объяснить сотни и тысячи разрозненных фактов. Так, например, открытие Д. И. Менделеевым Периодического закона позволило

объяснить с единой теоретической основы тысячи различных химических реакций. А создание Д. К. Максвеллом системы четырех уравнений электродинамики дало возможность не только объяснить все известные к тому времени явления электричества и магнетизма, но и предсказать существование радиоволн и многие другие явления.

**Структура научного знания.** Научные знания структурируются по определенным отраслям науки (рисунок 5):

– центральная область научного знания: физика, химия, космология, кибернетика, биология, антропологические науки, общественные науки, технические науки;

– философия — она является одновременно и отраслью науки и системой взглядов на мир, поэтому занимает особое место, о чем говорилось выше;

– математика — также занимает особое место, является отдельной областью научного знания, поскольку ее предметом является построение формальных моделей явлений и процессов, изучаемых всеми остальными науками;

– практические науки (их еще можно назвать деятельностными или технологическими науками): медицина, педагогика, технологические науки [21].



Рисунок 5 — Структура научного знания по В. С. Ледневу

На одном полюсе имеются «сильные» науки, гносеологический идеал науки — математика, физика, отчасти другие естественные науки, теории которых строятся на строго дедуктивной основе.

На другом полюсе — «слабые» (в гносеологическом плане) науки, в частности гуманитарные и общественные науки в силу чрезвычайной сложности их объектов, слабой предсказуемости явлений и процессов.

На рисунке 6 показано место, занимаемое системотехникой среди наук «слабой» и «сильной» версий.

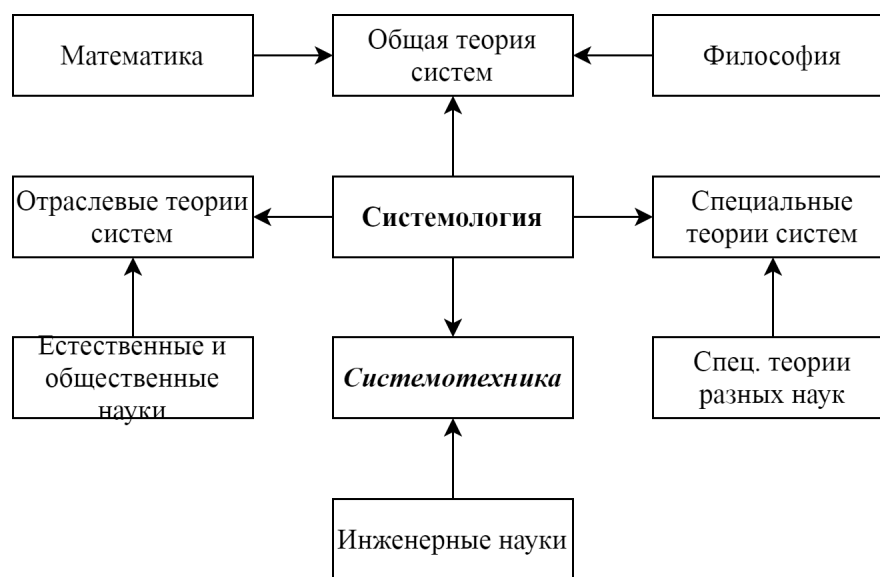


Рисунок 6 — Место системотехники среди наук «слабой» и «сильной» версий

**Радиотехника и смежные дисциплины.** Ранее было сказано, что системотехника является междисциплинарной отраслью. В процессе проектной деятельности системотехник должен уметь самостоятельно ориентироваться в предметных областях смежных наук. Эту работу значительным образом облегчают карты предметных областей смежных наук. В таблице 4 приведены сведения о тринадцати главных смежных областях радиотехники [2].

Стоит отметить, что область интересов инженера-системотехника этими дисциплинами не ограничивается. Среди других многочисленных и не менее важных отраслей науки и техники, с которыми должен быть знаком системотехник, находятся: системная логика, теория вероятностей, математическая статистика, теория моделирования, линейное и динамическое программирование, теория массового обслуживания, теория игр, техническая психология и т. д. [5].

Таблица 4 — Карта смежных дисциплин радиотехники и их краткая характеристика

Дисциплина	Характеристика дисциплины	Разделы дисциплины	Характеристика разделов
Акустика	Наука о звуке и колебаниях упругих сред	Физическая	Изучает особенности распространения акустических волн в жидкой, твердой и газообразной средах, их взаимодействие с веществом
		Физиологическая или психофизиологическая	Изучает устройство и работу звуковоспринимающих и звукообразующих органов у человека и животных
		Архитектурная	Изучает законы распространения звуковых волн в закрытых (полуоткрытых, открытых) помещениях, отражение и поглощение звука поверхностями, влияние отраженных волн на слышимость речи и музыки, методы управления структурой звукового поля, шумовыми характеристиками интерьеров и т.п.
		Акустоэлектроника	Область функциональной электроники, в которой используются акустические и электроакустические явления в пьезоэлектриках (прямой и обратный пьезоэффекты, магнитострикция) для создания функциональных элементов радиоэлектронных систем
		Акустооптика	Область акустоэлектроники, связанная с дифракционными решетками, образованными акустическими колебаниями и волнами в оптически прозрачных средах
		Электроакустика	Изучает вопросы формирования звука с помощью электронных технических средств. Изучает ультразвук, который используется в промышленности для обработки материалов и контроля качества продукции. В медицине для лечения и диагностики внутрен-

			них органов и тканей. На основе электроакустики создана прикладная отрасль – звукотехника, связанная с разработкой аппаратуры для передачи, записи, воспроизведения речевых и музыкальных программ
		Гидроакустика	Исследует излучение, прием, генерирование и распространение акустических волн в водном пространстве
		Биоакустика	Изучает звукоизлучение и звукоцепцию органов человека и животных, проблемы передачи и приема речи, действия акустических волн на биологические объекты
Бионика	Наука, которая решает инженерно-технические задачи (в том числе радиотехнические) на основе анализа жизнедеятельности живых организмов. Прикладная наука о применении в технических устройствах и системах принципов организации, свойств, функций и структур живой природы, то есть форм живого в природе и их промышленных аналогах. Различают биологическую, теоретическую и техническую бионику. В переводной литературе чаще употребляется термин «биомиметика»		
Кибернетика	Наука об общих законах управления информацией, ее получения и обработки. Теоретическое ядро кибернетики составляют теории: информации, алгоритмов, оптимального управления, распознавания образов. Основные объекты исследования – кибернетические	Техническая	Отрасль науки, изучающая технические системы управления. Областью технической кибернетики является радиоавтоматика. Ее теоретической основой является теория автоматического управления, изучающая способы построения автоматических систем и качество их функционирования
		Экономическая	Научное направление кибернетики, которое занимается приложением идей и методов кибернетики к экономическим системам. В расширенном смысле под экономической кибернетикой понимают область науки, возникшую на стыке математики и кибернетики с экономикой, включая математическое программиро-

	системы, представляющие множество информационно взаимосвязанных элементов		вание, исследование операций, экономико-математические модели, эконометрику и математическую экономику. Экономическая кибернетика рассматривает экономику, а также ее структурные и функциональные части как сложные системы, в которых протекают процессы регулирования и управления, реализуемые движением и преобразованием информации
		Биологическая	Научная дисциплина, в которой идеи и методы кибернетики применяются для изучения процессов саморегуляции в биологии и физиологии. Биологическая кибернетика изучает закономерности управления, хранения, переработки и передачи информации в живых системах
		Военная	Научная дисциплина, в которой идеи и методы кибернетики применяются для решения военных задач
Радиоастрономия	Раздел астрономии, в котором изучаются космические объекты на основе наблюдения их радиоизлучения или поглощения, а также с помощью радиозондирования	Солнечная	Исследования физических параметров небесных тел или их скоплений: Солнце, планеты, астероиды, радиогалактики, пульсары, квазары и т.д. Поиски сигналов внеземных цивилизаций (SETI – Search Extraterrestrial Intelligence)
		Планетарная	
		Галактическая	
		Внегалактическая	



Радиобиология	Наука о действии всех видов ионизирующих излучений на живые организмы, в том числе электромагнитных волн сантиметрового, миллиметрового, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов	Радиология	Поиск различных способов защиты организма от излучений, разработка путей использования ионизирующих излучений в медицине для диагностики и лечения
		Фотобиология, радиационная селекция	Разработка путей использования ионизирующих излучений в генетике и сельском хозяйстве
Радио-геофизика	Раздел прикладной геофизики, совокупность методов разведки полезных ископаемых, которые базируются на изучении аномалий электромагнитных полей, определяющихся геоэлектрическим строением горных пород		
Радио-метеорология	Наука, которая изучает, с одной стороны, влияние метеоусловий в тропосфере и стратосфере на распространение радиоволн, а с другой – метеорологические явления в атмосфере по характеристикам радиосигналов, в том числе и от собственного излучения атмосферы как теплового, так и обусловленного электрическими разрядами		
Радио-спектроскопия	Наука, изучающая строение вещества, а также физико-химические процессы в нем		
Радиофизика	Раздел физики, в котором изучаются физические основы радиотехники и электротехники, в том числе физические процессы, связанные с электромагнитными колебаниями в радиодиапазоне: их возбуждение, излучение, распространение, прием, преобразование, а также взаимодействие электрических и магнитных полей с носителями зарядов в вакууме, газах и твердых телах		
Радиохимия	Область химии, в которой изучают свойства и физико-химические закономерности поведения радиоактивных изотопов, элементов и веществ, методы их выделения и концентрации		
Радио-электроника	Совокупность отраслей науки и техники, связанных с передачей, приемом и преобразованием информации с помощью электромагнитных волн		
Электроника	Научно-техническая область, связанная с исследованиями законов	Вакуумная	Охватывает вопросы, связанные с электронной эмиссией, формированием потоков электронов и управлением ими, формированием электромагнитных полей с помощью

	взаимодействия электронов и других носителей зарядов с электромагнитными полями с целью создания электронных приборов, у которых это взаимодействие используется для передачи, обработки и хранения информации, автоматизации производственных процессов, создания энергетических устройств, контрольно-измерительной аппаратуры, средств научного эксперимента и т.п.		резонаторов, замедляющих систем, физикой и техникой глубокого вакуума. Основное направление развития связано с созданием электровакуумных приборов: электронных ламп, приборов СВЧ (магнетронов, клистронов и т.д.), электронно-лучевых и фотоэлектронных приборов (кинескопов, видиконов, фотоэлектронных умножителей), газовых приборов, рентгеновских трубок и т.д.
		Твердотельная	Изучает свойства твердотельных материалов (полупроводниковых, диэлектрических, магнитных и т.д.), влияние на них примесей. Твердотельная электроника делится: на полупроводниковую электронику, связанную с разработкой и изготовлением различных приборов (диодов, транзисторов, интегральных схем, полупроводниковых матриц и т.п.); акустоэлектронику; оптоэлектронику, магнитооптику; магнитоэлектронику; электротеплоэлектронику; криоэлектронику; пьезоэлектронику; молекулярную электронику; моноэлектронику и т.д.
		Квантовая	Связана с разработкой способов усиления и генерации электромагнитных колебаний на основе вынужденного излучения атомов, молекул и твердых тел. Главным направлением ее развития является разработка лазеров, квантовых усилителей, молекулярных генераторов
		Функциональная	Область электроники, в которой используется совокупность различных физических явлений в твердых телах, жидкостях и газах для формирования, хранения и обработки сигналов
Электротехника	Научно-техническая отрасль, связанная с использованием электрических и магнитных явлений для получения и преобразования электрической энергии		

## 2.4 Эстетические и этические основания методологии проектной деятельности

**Эстетические основания методологии.** Эстетическая деятельность (эстетические компоненты деятельности) присущи в той или иной мере каждому человеку в любом виде деятельности. Эстетическая деятельность является сферой свободного самовыражения субъекта в его отношении к миру. В этом заключаются ее специфика и функции в самом общем виде [16].

Эстетическая деятельность имеет предметно-духовный характер. Ее предметом может стать любой объект действительности, доступный непосредственному восприятию или представлению. Воплощенные результаты инженерного творчества являются объектами, составляющими окружение человека. Его стремление окружить себя красивыми вещами отражается в том, что эстетический контекст создания новых технических систем выдвигает к ним особые требования (красоты, гармонии и эстетики).

Эстетический предмет (ТС) выступает здесь в качестве опосредствующего звена между объективным (природным и социальным) и субъективным миром человека.

Как известно, один и тот же человек является субъектом различных видов деятельности. Эстетического субъекта характеризует закрепленная чувством удовольствия или неудовольствия способность к эмоционально-образному мышлению, продуктивному воображению, пониманию и соучастию. Будучи развитой, эта способность и позволяет «схватить» предмет в его целостности, «проиграть» нереализованные им возможности развития, представить его завершенным в соответствии с идеалом.

Субъект эстетической деятельности и эстетической культуры — не абстрактный человек, а существо общественное.

Вступая в жизнь, он застает готовыми, сложившимися не только систему социальных отношений, но и культуру общества с определенным набором материальных и духовных, в том числе эстетических, ценностей, выработанных предшествующим историческим развитием. Для него они становятся объективными условиями его бытия, предпосылкой его эстетической деятельности. Усвоенные в процессе

социального взаимодействия и в результате целенаправленного воспитания эстетические ценности общества выступают в качестве ориентира в его собственных эстетических отношениях к действительности, критерия ее эстетической оценки и одновременно образца, позволяющего организовать свою продуктивную эстетическую деятельность.

Наличие общественно значимых норм и ценностей, фиксированных в эстетической культуре, освобождает эстетическую деятельность от элементов излишнего субъективизма.

Эстетические требования формулируются к проектируемой ТС в рамках технической эстетики и обязательно должны учитываться проектировщиком при разработке новых систем.

*Техническая эстетика* — это прикладная наука, исследующая совокупность свойств, которые определяют художественное (эстетическое) восприятие изделия (ТС) [2].

Эстетические требования включают следующие показатели:

- информационную выразительность,
- рациональность формы,
- целостность композиции,
- совершенство производственного исполнения изделия.

Информационная выразительность характеризует способность изделия отображать в форме эстетические представления, сложившиеся в обществе. Она проявляется в оригинальности формы, стилистическом соответствии средств художественной выразительности изделия определенному историческому периоду, моде.

Рациональность формы изделия отображает его соответствие объективным условиям изготовления и эксплуатации.

Целостность композиции изделия характеризует гармоническое единство частей и целого, согласованность с ансамблем других изделий, выражается в композиционной логике, тектоничности (художественном осмыслении конструкции и материалов), пластичности (упорядочении очертаний и взаимных переходов плоскостей и объемов), колорите и декоративности (взаимосвязи цветовых сочетаний, использовании декоративных свойств материалов), подчиненности образотворческих элементов общему композиционному решению.

Совершенство исполнения изделия характеризуется чистотой контуров и сопряжения его элементов, а также качеством покрытий

и отделки, четкостью выполнения фирменных знаков, стойкостью к повреждениям. Показатели технической эстетичности определяют методом экспертных оценок по сравнению с базовыми образцами.

Форма устройства должна быть технически рациональной, простой, выразительной и оправданной. С устройством, созданным по законам технической эстетики, легко работать.

Для здорового восприятия изделия наиболее благоприятной является форма, в которой выдержаны определенные соотношения размеров, например соотношение «золотого сечения», когда большая часть отрезка пропорциональна разности между полным отрезком и его меньшей частью, т. е.

$$\frac{A}{B} = \frac{B}{A-B} \text{ или } B = 0,62A.$$

Во внешнем оформлении изделия должны отсутствовать ничем не оправданные выступы и впадины, лишние изломы линий, случайные размеры — все, что нарушает целостность его формы. Существенно также и то, что разные цвета и их интенсивность воспринимаются неодинаково. Например, синие, голубые, зеленые тона успокаивают, создают чувство увеличенного пространства, а красные, оранжевые, желтые возбуждают, уменьшают объем. Серый цвет считается нейтральным и наименее утомляет зрение.

В качестве примера объектов технической эстетики на рисунке 7 приведены современные ЭРЭС [22].

В связи с быстрым развитием науки и повсеместным использованием вычислительной техники в решении инженерных задач поиска оптимальных решений может сложиться мнение, что со временем потребность в использовании художественного вкуса инженера при решении этих задач будет сокращаться и в итоге исчезнет [23]. Такая точка зрения неверна потому, что сложность ТС возрастает быстрее по сравнению с расширением возможностей научного синтеза и анализа. И, по крайней мере, в обозримом будущем такая потребность не уменьшится, а возрастет. Иначе говоря, успешное решение современных задач проектирования более сложных ТС также связано с необходимостью повышения внутренней эстетической культуры инженеров.



Рисунок 7 — Примеры дизайна и технической эстетичности современных ЭРЭС

**Этические основания методологии.** Этика — учение о морали, нравственности. Термин «этика» впервые употребил Аристотель (384–322 до н. э.) для обозначения практической философии, которая должна дать ответ на вопрос, что мы должны делать, чтобы совершать правильные нравственные поступки.

Этика — область научных знаний, объектом изучения которой является мораль, нравственность как форма общественного сознания, как одна из важнейших сторон жизнедеятельности человека, специфическое явление общественно-исторической жизни. Этика выясняет место морали в системе других общественных отношений, анализирует ее природу и внутреннюю структуру, изучает происхождение и историческое развитие нравственности, теоретически обосновывает ту или иную ее систему [24].

Для регламентации инженерной деятельности сегодня используется этика как совокупность норм и принципов морали применительно к условиям инженерной деятельности, призванная показать пути решения тех этических дилемм и конфликтов, которые возникают в профессиональной деятельности и требуют определенной нравственной позиции. Для этих целей разрабатываются и принимаются кодек-

сы этики инженерных сообществ, которые представляют собой совокупность моральных принципов, несущих информацию о стандартах и ограничениях деятельности инженера.

С позиции процесса проектирования как практической деятельности нас в первую очередь интересует не теоретическая, а прикладная этика, одной из разновидностей которой является инженерная этика.

Прикладная этика — сфера многообразного, интенсивно изменяющегося знания, структура которого только начинает складываться. В качестве опорных точек этой структуры обычно рассматриваются конкретные виды прикладной этики: экологическая этика, политическая этика, биомедицинская этика, этика науки и др.

Прикладная этика возникла (и отдельные ее области и разновидности еще будут возникать) там и тогда, где и когда возникала или будет возникать угроза существованию человека и человечества, опасность ущемления его неотъемлемых прав и интересов — будь то сфера биологического эксперимента, медицинского обслуживания или экологического выживания. Там, где предпринимались попытки в очередной раз «обойтись без этики», поставить на первое место какие-то соображения минутной выгоды, экономической необходимости или чьих-то интересов, отодвинуть этические соображения на второй план. Там, где возникала новая опасность для жизни и страх смерти. Этика немедленно бросалась в эти лакуны, «отсеки» и сферы, для того чтобы вновь и вновь защищать интересы человека и его жизнь, напоминать о его правах и его достоинстве, о его самоценности и приоритетности перед всем прочим. Вот эта необходимость новой защиты человека в новых условиях конца XX века — в его больных точках — и стала главной причиной возникновения такого явления, как прикладная этика.

Этические нормы служебных отношений базируются на общечеловеческих нормах и правилах поведения, однако имеют особенности.

Особенности этических норм и правил в отличие от других норм и правил, регулирующих поведение людей, следующие:

1) нарушение их может угрожать благосостоянию, здоровью и безопасности других людей;

2) этические нормы имеют приоритет по отношению к другим критериям;

3) проблематичным является вопрос об источнике этических стандартов: сложно определить, кто устанавливает моральные нормы.

Профессиональная этика регулирует отношения людей в основной сфере общественной жизни — трудовой деятельности (материально-производственной, хозяйственно-экономической, духовной, культурной и др.).

Профессиональная этика — это нравственные нормы, которые регулируют взаимоотношение людей в трудовой деятельности и отношение человека к своим профессиональным обязанностям, долгу.

Главными понятиями профессиональной этики являются понятия профессионального долга, фиксирующее служебные обязанности человека, профессиональной чести, указывающее место и роль данной профессии в жизни общества, и др.

Общие принципы профессиональной этики, основывающиеся на общечеловеческих нормах морали, предполагают:

– высшие моральные ценности, сохраняя свое общечеловеческое значение, обретают в них некоторые особые черты (например, проявления добра и зла в юридической практике, страдания и сострадания в медицине);

– специфически профессиональные моральные нормы и ценности, которые формируются внутри конкретной специальности и характерны только для данного рода деятельности, но впоследствии могут, приобретая все более широкий смысл, иногда превращаться в общечеловеческие (например, принцип справедливости из главного принципа юриспруденции вырос до общечеловеческой ценности);

– равенство сторон, которое нарушается в сфере профессионального общения, однако не является каким-либо унижением, а предусматривается особыми условиями взаимодействия сторон (например, в отношениях педагог-ученик, врач-пациент, следователь-подозреваемый и др.);

– корпоративность — преданность узким групповым интересам в рамках профессиональных объединений.

Одним из важных и массовых видов профессиональной этики является инженерная этика. Как совокупность норм, регулирующих поведение инженера, она начала формироваться давно. К числу ее норм можно отнести такие, как необходимость добросовестно исполнять



свою работу; создавать устройства, которые приносили бы людям пользу и не причиняли бы вреда; ответственность за результаты своей профессиональной деятельности; определение формы отношений (обычаи и правила, регулирующие отношения) инженера с другими участниками процесса создания и использования техники. Ряд таких норм фиксируется в юридических документах, например в законах, относящихся к вопросам безопасности, интеллектуальной собственности, авторского права. Некоторые нормы профессиональной деятельности инженеров закреплены в административных установлениях, регулирующих деятельность той или иной организации.

Этические требования в сфере инженерной деятельности имеют различные аспекты (технико-технологический, социально-экономический, организационный и др.), смысл которых заключается в том, чтобы создавать технические устройства, приносящие пользу обществу; ориентироваться на гуманные цели в использовании научно-технического прогресса; брать на себя ответственность в связи с выбором средств в достижении цели.

В сфере инженерной деятельности существуют определенные нравственные проблемы:

- выбор направления деятельности (на благо или против человечества);
- учет экологической ситуации (создание технических устройств, которые не наносили бы ущерб окружающей среде);
- решение проблем аварийности (создание безаварийной техники, безопасность ее эксплуатации);
- соблюдение государственной тайны при контактах с зарубежными партнерами.

В 90-е гг. прошлого столетия инженерная этика начала видоизменяться и как научная отрасль, и как ресурсная дисциплина для генезиса актуальных этических направлений, таких как компьютерная, биоинженерная, нанотехнологическая этика и пр. Единое тело инженерной этики распалось на множество подвидов со своими представлениями о фундаментальных ценностях и дилеммах, частной праксиологией. Особенно быстрыми темпами развивается «цифровая» этика, призванная регулировать очень болезненные вопросы приватности, идентичности, информационной безопасности, авторских прав и много

др. Инженерная этика сегодня тесно соприкасается с другими сферами профессиональной и прикладной этики (этикой окружающей среды, этикой бизнеса, этикой технологических рисков и т. д.).

Развитие информационной техники и технологии определило возникновение техноэтики, содержанием которой является инженерная деятельность с применением информационной техники. На основе техноэтики построено функционирование мирового рынка информационно-технологической продукции, которое потребовало нормативного регулирования взаимоотношений его участников в связи с количеством и качеством информационной техники и технологии.

Техноэтика — явление сложное с точки зрения субъектов технической деятельности и форм технической практики. Можно, видимо, говорить об определенных разновидностях техноэтики. Но с позиций общеморальных норм она рассматривается как один из вариантов «прикладной этики», род профессиональной этики и представляет собой нравственный императив технической деятельности, переход от этических максим к этическим нормам, принимаемым обществом.

Разработка, новации и применение техники должно оцениваться не только с политических, экономических, социальных, экологических, но прежде с моральных позиций. Ни один из аспектов техники не является морально нейтральным. Недопустимо делать человека придатком технических артефактов. Каждая появившаяся техническая новация должна пройти проверку на предмет того, действительно ли она способствует развитию человека как свободной и творческой личности.

Правильное понимание этики появляющихся технологий предполагает правильное понимание того, что такое новые технологии. Новые технологии — это инновационные и все еще разрабатываемые технологии, которые, как ожидается, будут иметь большое социально-экономическое воздействие. Они новы в том смысле, что в них используются новые концепции, методы и техники и их нельзя отнести к существующим технологиям. Они новаторские в том смысле, что обещают новые и потенциально лучшие решения проблем. Они все еще находятся в стадии разработки, поскольку по большей части остаются перспективными: на их основе не появилось ни одного продукта или приложения, или, по крайней мере, их немного и лишь немно-

гие из них, если таковые имеются, продаются и используются в больших масштабах. Ожидается, что они будут иметь большое социально-экономическое влияние, поскольку ожидается, что они будут создавать значительную экономическую ценность и активность и обещают повлиять или преобразовать одну или несколько социальных или экономических сфер, таких как образование, здравоохранение, транспорт или розничная торговля [25].

Развиваемая в двух направлениях — социально-этическом и практическом, — инженерная этика впоследствии станет обязательным мировоззренческим идеалом, поляризующим профессиональную деятельность технических специалистов. Подобно тому как деонтология является практикой, «социализирующей» врачей, инженерная этика станет связующим звеном между техническим сообществом и социумом. Процесс этизации технической деятельности, с одной стороны, обусловленный дифференциацией абсолютной морали, с другой — вызовами технической реальности, в конце концов установит для всех сторон научно-технического прогресса (инженерии, человека и природы) эффективные механизмы взаимодействия, направленные на гармоничное сосуществование человека, машины и окружающей среды.

С каждым годом социальная роль инженера возрастает и повышаются требования к инженерным разработкам. Технология как двигатель человеческого прогресса обретает главенствующую роль, но не многие из инженеров осознают этическую составляющую создаваемой им технологии.

Усвоение инженером принципа ответственности — это развитие его личности, это новое мировоззрение, в котором инженер собственную профессиональную деятельность воспринимает как особую область собственной жизни. Инженер — это служитель гуманности. И поскольку инженеры до сегодняшнего момента только изменяли мир, то в XXI веке они выступают основной силой общественного прогресса.

В последние годы в Европе набирает популярность новый междисциплинарный подход «Ответственные исследования и инновации» (Responsible Research and Innovation, RRI), который в значительной степени конституирует облик инженера XXI века и определяет новые

образовательные стратегии. Ответственность — вот ключевое слово в обучении студентов технических специальностей. Сам концепт RRI так или иначе уже содержит в себе указание на этическую рефлексию и тесную связь с социальной оценкой техники (Technology Assessment, TA). «В этом смысле можно говорить об интегральном подходе, объединяющем социально-гуманитарную экспертизу инновационных проектов, технаучную парадигму и прикладную этику в процессе формирования нового социального бытия в эпоху инноваций» [26].

Когда влияние инженерной деятельности становится глобальным, ее решения уже выходят за рамки узкопрофессионального дела и становятся предметом всеобщего обсуждения. И хотя за научно-техническую разработку продолжает отвечать техническая элита, окончательное принятие решения по вопросам такого рода остается за обществом. Никакие ссылки на экономическую, техническую и даже государственную целесообразность не могут оправдать экологического, морального, психологического и тому подобного ущерба.

Техника проявляет гуманитарный облик инженера, обнаруживает потаенное бытие человека в мире образов, схем, ритмов и смыслов, поэтому так важно ориентироваться не только на познавательные процедуры, но и на аксиологический аспект оценки техники, где высшие человеческие возможности и модели поведения — образец преданности истине. Обогащение технического знания содержанием философии, психологии, экономики, технической эстетики, эргономики расширяет воздействие технической деятельности на социальную и духовную жизнь. Вместе с тем технический прогресс порождает немало проблем, требующих нового применения этики для избежания ситуации риска [26].

В современном обществе инженерная этика выполняет целый ряд функций:

1. *Регулятивную функцию.* Инженерная этика призвана регулировать поведение инженера в аспекте его взаимодействия с ключевыми группами: общественностью, работодателем, клиентами, коллегами-инженерами;

2. *Коммуникативную функцию.* Инженерная этика обеспечивает эффективную коммуникацию всех участников процесса профессиональной деятельности;

3. *Прогностическую функцию.* Инженерная этика предостерегает специалиста от действий, которые могут нанести вред клиенту, организации или обществу в целом;

4. *Оценочную функцию.* Инженерная этика дает возможность оценить поведение и намерения специалиста с точки зрения соответствия моральным нормам;

5. *Социализирующую функцию.* Инженерная этика приобщает специалистов к системе ценностей и моральных ориентиров профессии, а также способствует созданию условий, благоприятных для функционирования специалистов данной области в обществе.

Каковы же условия реализации инженерной этики? Это, во-первых, наличие сложившегося научного и инженерного сообщества, гарантирующего моральную ответственность в сфере профессиональной деятельности его членов; во-вторых, развитие инженерного сознания (самосознания инженеров), что достигается через систему научного инженерного образования; в-третьих, существование социальных структур, которые обеспечивают условия для релевантной и моральной ориентации ученых и инженеров.

Осознание этических норм профессиональной деятельности также осуществляется за счет объединения инженеров в профессиональные сообщества. Создание таких сообществ помогает инженерам в процессе как «удовлетворения своих интеллектуальных потребностей, так и... защиты материальных интересов» [26].

Стандартом инженера организации Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС), в которую входит Россия, предусмотрены следующие универсальные и профессиональные компетенции:

- осмысленное применение универсальных знаний;
- осмысленное применение локальных знаний;
- анализ инженерных проблем;
- проектирование инженерных решений;
- оценка инженерной деятельности;
- социальная ответственность;
- соблюдение законодательства и правовых норм;
- этика инженерной деятельности;
- организация и управление инженерной деятельностью;

- коммуникация;
- обучение в течение всей жизни;
- принятие инженерных решений;
- ответственность за инженерные решения.

Этические правила и нормы поведения, которые разделяют все участники определенной профессиональной группы, закрепляются в этическом кодексе. С помощью кодекса задаются определенные модели поведения и единые стандарты отношений и совместной деятельности.

Как правило, кодексы содержат две части: идеологическую (миссия, цели, ценности) и нормативную (стандарты рабочего поведения).

Согласно большинству кодексов этики инженер должен соответствовать определенным требованиям:

1) ставить на первое место безопасность, здоровье и благополучие граждан, стремиться соблюдать принципы устойчивого развития при выполнении профессиональных обязанностей;

2) оказывать услуги только в сфере своей компетенции;

3) делать публичные заявления только в объективной и правдивой манере;

4) действовать в профессиональных вопросах для каждого работодателя или клиента как надежные агенты или доверенные лица, избегать конфликтов интересов;

5) построить свою профессиональную репутацию на достоинствах своих услуг и добросовестно конкурировать с другими инженерами;

6) действовать таким образом, чтобы поддерживать и повышать честь и достоинство профессии инженера, быть не толерантны к взяточничеству, мошенничеству и коррупции;

7) продолжать свое профессиональное развитие на протяжении всей карьеры и предоставлять возможности для профессионального развития инженеров, находящихся под их руководством.

Как видно из приведенных выше требований, этический кодекс фиксирует правила взаимодействия инженеров, направленного вовне (общество в целом, общественность, работодатель, заказчик) и внутрь профессиональной группы (патронаж, профессиональное соревнование).

## **Выводы**

1. В процессе проектирования специалисты по системотехнике и схемотехнике ЭРЭС должны учитывать пять оснований методологии проектной деятельности: философско-психологическое, системное, науковедческое, этическое и эстетическое.

2. Основания методологии проектной деятельности — это своеобразные «координатные оси» системы отсчета, в пространстве которой действует проектировщик, чтобы достичь целей своей деятельности.

3. Системотехническое проектирование РЭС является междисциплинарной областью знаний. Ее предметная область включает знания множества различных дисциплин.

4. В силу междисциплинарного характера системотехники и необходимости взаимодействия со множеством специалистов разных отраслей науки и техники одними из главных способностей проектировщика являются:

1) умение свободно ориентироваться во множестве предметных областей науки и техники;

2) умение быстро находить необходимую информацию;

3) умение строить коммуникацию с различными специалистами, в частности объяснять им свою проблему, цели, задачи и точку зрения;

4) умение осуществлять постановку задач для специалистов других предметных областей.

К разработчикам сложных технических систем выдвигаются обязательные для соблюдения требования профессиональной этики, которые сформулированы и представлены в этических кодексах.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое методология?

2. Какие основания методологии проектной деятельности выделяют в настоящее время?

3. Из каких компонентов состоит любая процессуальная деятельность?

4. Какую роль в процессуальной деятельности играют потребности?

5. Что такое целеполагание?
6. Каковы функции требований и норм в структуре процессуальной деятельности?
7. Какие выделяют типы организационной культуры? Какова их характеристика?
8. В каком типе организационной культуры существует современное общество?
9. Какие понятия в новом типе организационной культуры являются ключевыми? Почему?
10. Каковы общие закономерности развития науки?
11. Почему системотехник должен знать структуру научного знания?
12. Каким образом можно классифицировать отрасли научных знаний?
13. Какое место занимает системотехника в структуре научного знания?
14. Сколько выделяют главных смежных областей радиотехники?
15. Что помогает системотехнику ориентироваться в предметных областях смежных наук?
16. Какие возникают проблемные ситуации, когда над проектом работает большой коллектив проектировщиков?
17. Какие средства используются системотехниками, схемотехниками, конструкторами и технологами РЭС для упрощения профессиональной коммуникации?
18. На какие уровни подразделяют процесс проектирования РЭС в зависимости от характера выполняемых работ?
19. Какие выделяют разновидности процесса проектирования РЭС в зависимости от метода проектирования?
20. Что такое системный подход?
21. Какую роль играет системный подход в задачах проектирования РЭС?
22. Какие задачи являются в системном подходе основными?
23. Каких рекомендаций следует придерживаться для реализации требований системного подхода в ходе исследования и проектирования технических систем?



24. Почему при проектировании технических систем необходимо учитывать каждое из оснований методологии проектной деятельности?

25. Как соотносятся понятия «целеполагание» и «планирование»?

26. Что имеется в виду, когда говорят, что системотехник должен знать «все обо всем»? Приведите примеры ситуаций, когда нарушение этого требования может привести к негативным последствиям в проектной деятельности.

27. Какова общая структура научного знания по В.С. Ледневу?

28. Почему проектировщик должен учитывать требования эстетики в своей деятельности?

29. Какова роль красоты в инженерном творчестве?

30. Каковы задачи технической эстетики?

31. Какими качествами должны обладать современные ЭРЭС, чтобы быть привлекательными для потребителя?

32. Какие аспекты этики важны для проектировщика? Почему?

33. Какие факторы могут привести к нарушению правил профессиональной этики?

34. Каково назначение этического кодекса инженеров?

35. Каким требованиям должен соответствовать инженер согласно большинству этических кодексов?

## Упражнения

1. Нарисуйте по памяти схему структуры проектной деятельности и кратко охарактеризуйте каждый ее компонент.

2. Примените структуру проектной деятельности к анализу процесса самообразования в рамках изучаемой дисциплины «Введение в методологию системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств». Для этого с помощью схемы структуры проектной деятельности раскройте содержание каждого компонента деятельности применительно к процессу своего обучения в рамках данной дисциплины. Особое внимание уделите следующим вопросам. Каковы потребности и мотивы вашего обучения? Как эти мотивы вписываются в общую картину мотивов получения образования по вашему направлению подготовки или специальности? Как

соотносятся понятия социального заказа на процесс вашего образования и общих мотивов получения вами образования? Каковы цели вашего обучения? Кто задает цели вашего обучения? Каким образом вы планируете свою образовательную деятельность? Формируете ли вы в начале изучения произвольной дисциплины общий образ конечного результата обучения, т. е. образ ваших будущих знаний и навыков по дисциплине по окончанию ее освоения? Как соотносятся понятия «цель» и «результат»? Какими способами вы оцениваете факт достижения промежуточных и конечного результатов обучения и какую роль при этом играют оценки, получаемые в контрольные точки в семестре и за экзамен? Какие критерии и показатели достижения результата обучения вы для себя устанавливаете? Являются ли эти критерии и показатели измеримыми? Каким образом вы выполняете процесс регуляции своей образовательной деятельности? Какими принципами вы руководствуетесь при изучении дисциплины? Каким требованиям и нормам подчинена ваша деятельность? Разработайте собственную классификацию условий, в которых происходит процесс вашего обучения и которые влияют на него. Результат данного анализа оформите в виде эссе объемом не менее 7000 символов с пробелами.

3. Согласно иерархии категорий, приведенных на рисунке 4, постройте граф целей для следующих систем:

- система управления воздушным движением;
- бортовая система предупреждения столкновений воздушных судов;
- система глобального позиционирования GPS;
- интернет вещей (Internet of Things);
- система управления марсоходом Curiosity;
- система противоракетной обороны;
- система сотовой связи.

4. Для каждой из тринадцати смежных научно-технических областей радиотехники (см. таблицу 4) приведите примеры электронных и радиоэлектронных средств, которые решают задачи этих дисциплин.

5. Обоснуйте важность учета эстетических оснований методологии в процессе проектной деятельности.

6. Проследите, как с точки зрения технической эстетики менялся дизайн современных технических средств (систем мобильной связи, компьютерных систем, аудиовизуальных систем).

7. Обоснуйте важность учета этических оснований методологии в процессе проектной деятельности.

8. Приведите исторические примеры последствий нарушения инженерной этики проектировщиками.

9. Приведите примеры моральных дилемм, с которыми может столкнуться системотехник в процессе проектной деятельности.

10. Порассуждайте над тем, к каким последствиям может привести нарушение правил профессиональной этики. Охарактеризуйте возможные причины, которые могут привести к нарушению этих правил. Предложите варианты действий, которые помогут вам предупредить и избежать нарушения установленных этических норм. Напишите на эту тему эссе объемом не менее 6000 символов с пробелами.

11. Поставьте себя в ситуацию, когда произошла техногенная катастрофа, в результате которой погибли десятки тысяч человек и еще сотни тысяч пострадали. В результате расследования группа экспертов пришла к выводу, что катастрофа произошла по вине проектной группы, в которой вы были непосредственным участником. Посмотрите на себя со стороны и опишите свои чувства и эмоциональное состояние. Какие выводы вы для себя сделаете и какие меры предпримете, чтобы избежать подобной ситуации в будущем? Напишите на эту тему саморефлективное эссе объемом не менее 3000 символов с пробелами.

12. Поставьте себя в ситуацию, когда произошла техническая авария, в результате которой ни один человек не погиб, однако природе был нанесен существенный экологический ущерб, в результате чего государство понесло ощутимые финансовые убытки. Расследование группы экспертов показало, что виновником аварии является проектная группа, в которой вы были непосредственным участником. Посмотрите на себя со стороны и опишите свои чувства и эмоциональное состояние. Порассуждайте над тем, какие дальнейшие события вас ожидают после этого инцидента? Какие выводы вы для себя сделаете и какие меры предпримете, чтобы избежать подобной ситуации в будущем? Напишите на эту тему саморефлективное эссе объемом не менее 3000 символов с пробелами.

13. Изучите «Кодекс этики ученых и инженеров» и письменно сформулируйте в виде тезисов его главные идеи (см. приложение 1).

14. Выполните все кейс-задания по инженерной этике (см. приложение 2).

## Глава 3

# СХЕМА МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Все не так легко, как кажется...
2. Всякая работа требует больше времени, чем вы думаете.
3. Как только вы принимаетесь делать какую-то работу, находится другая, которую надо сделать еще раньше.
4. Всякое решение плодит новые проблемы.

*Следствия из закона Мерфи*

### 3.1 Характеристики проектной деятельности

Организовать деятельность означает упорядочить ее в целостную систему с четко определенными характеристиками, логической структурой и временной структурой, т.е. процессом ее осуществления [16] (рисунок 8).

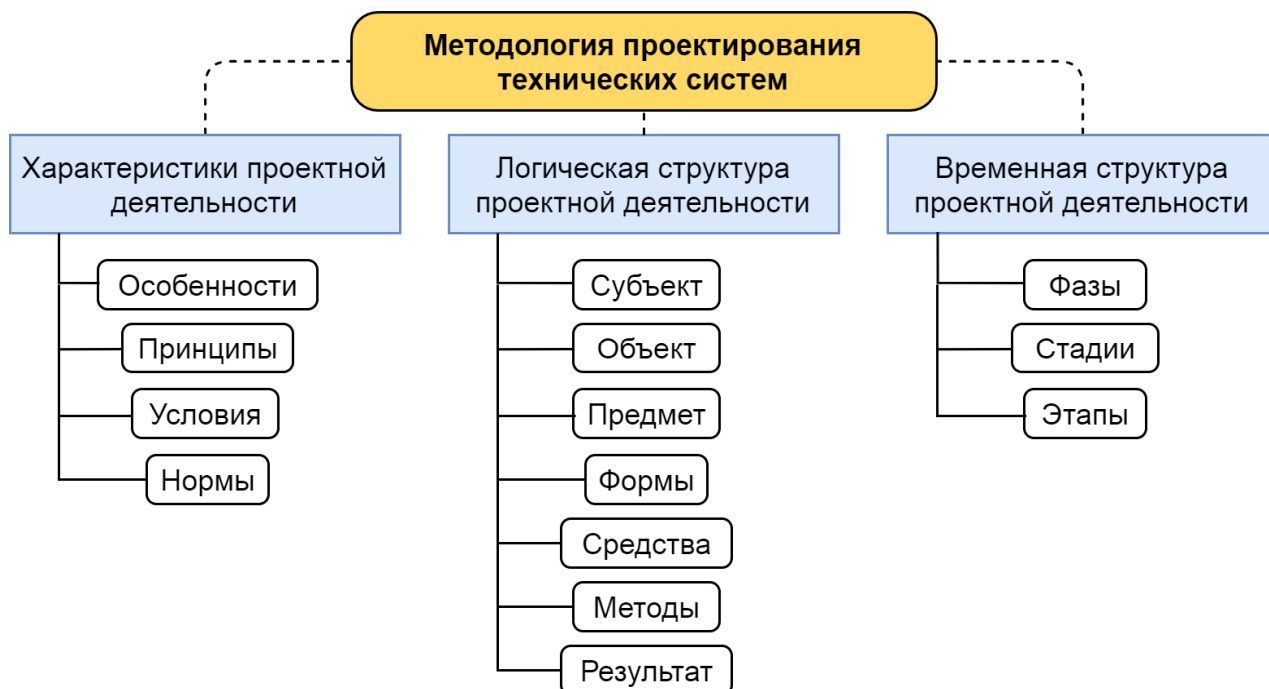


Рисунок 8 — Схема методологии проектирования технических систем

Характеристики включают в себя особенности, принципы, условия и нормы проектной деятельности.

Логическая структура включает в себя следующие компоненты: субъект, объект, предмет, формы, средства, методы проектной деятельности, ее результат.

Внешними по отношению к этой структуре являются следующие характеристики проектной деятельности: особенности, принципы, условия, нормы.

Исторически известны разные типы культуры организации деятельности. Современным является проектно-технологический тип, который состоит в том, что продуктивная деятельность человека (или организации) разбивается на отдельные завершенные циклы, которые называются проектами (проект как целенаправленное создание или изменение некоторой системы, ограниченное во времени и ресурсах и имеющее специфическую организацию).

Процесс осуществления деятельности мы будем рассматривать в рамках проекта, реализуемого в определенной временной последовательности по фазам, стадиям и этапам, причем последовательность эта является общей для всех видов деятельности. Завершенность цикла деятельности (проекта) определяется тремя фазами:

- фазой проектирования, результатом которой является построенная модель создаваемой системы и план ее реализации;
- технологической фазой, результатом которой является реализация системы;
- рефлексивной фазой, результатом которой является оценка реализованной системы и определение необходимости либо ее дальнейшей коррекции, либо «запуска» нового проекта.

**Особенности проектирования.** Из общей теории систем можно выделить следующие общие особенности проектирования как профессиональной деятельности — как практической, так и теоретической, как индивидуальной, так и коллективной. Мы их приводим исходя из особенностей систем с самоорганизацией [13, 16]:

- уникальность и непредсказуемость человеческой деятельности в конкретных условиях, наличие свободы воли, но в то же время наличие предельных возможностей, определяемых реальными ресурсами:

интеллектуальными, материальными, техническими, информационными и т. д.;

– способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды и помехам (причем как к внешним, так и к внутренним);

– способность к целеобразованию в смысле достаточно развитой интегративной, продуктивной деятельности, которая отличается от чисто исполнительской деятельности, где цель задается человеку или коллективу извне. Цели же продуктивной деятельности формируются в процессе самой деятельности благодаря активности, инициативности проектировщика, коллектива;

– способность противостоять разрушающим тенденциям: и внешним, и внутренним, способность вырабатывать различные варианты целеобразования и целевыполнения, способность к самоорганизации и саморазвитию;

– объект проектирования, в отличие от объекта познания, еще не существует, однако его образ воспринимается субъектом как реальный с присущими ему внутренней динамичностью и противоречивостью, с конкретными свойствами;

– практическая направленность, т.е. обязательное наличие практических результатов;

– повышенные требования к интеллектуальным качествам и способностям разработчика, необходимость перманентного совершенствования технологий мышления и увеличения эффективности управления процессами мышления проектировщика в виду образности, нематериальности и сложности объекта проектирования и масштабности стоящих перед проектировщиком проблем и задач;

– высокая эффективность результатов разработок достигается лишь на основе совместного практического использования знаний фундаментальных, технических и социально-экономических наук, подчинение всей деятельности удовлетворению интересов прежде всего человека (покупателя, производителя, разработчика), что выдвигает ко всем участвующим в проектной деятельности сторонам, в частности специалистам и исследователям, повышенные требования к организации между ними междисциплинарной профессиональной коммуникации;

– необходимость передачи полной информации об объекте проектирования специалистам других областей в виде иконических знаков в унифицированной форме (чертежи рабочей КД) и с использованием графических языков проектирования (схем электрических структурных, функциональных, принципиальных и др.) [13];

– персональная ответственность за полученные и переданные заказчику результаты.

**Подходы к проектированию.** В настоящее время наиболее распространены функциональное, оптимальное и системное проектирование.

*Функциональное проектирование.* Любой инженерный объект служит для осуществления одной или нескольких функций в использующих его системах, то есть функция — первична, объект — вторичен. Так, основной функцией мобильного телефона является обмен аудиовизуальной и текстовой информацией с абонентом, основной функцией монитора — отображение фото- и видеоинформации, электронной книги — выступать хранилищем, носителем текстовой информации и т. д.

Функциональное проектирование представляет наиболее общий подход к описанию систем. Определяются граничные условия и желательные входы и выходы, составляется подробный перечень функций или операций, которые должны выполняться [13]. При функциональном проектировании осуществляется синтез структуры и определяются основные параметры объекта и его составных частей (элементов), оцениваются показатели эффективности и качества процессов функционирования. Результатом проектирования, как правило, являются принципиальные, функциональные, кинематические, алгоритмические схемы и сопровождающие их документы [27].

*Оптимальное проектирование.* Процесс проектирования всегда подчинен необходимости учета интересов всех ключевых стейкхолдеров (заинтересованных сторон): заказчиков, разработчиков, производителей, продавцов, потребителей, утилизаторов и т. д. Каждый из стейкхолдеров стремится к удовлетворению своих потребностей, часть из которых может вступать в конфликт. Например, источник вторичного электропитания с точки зрения интересов различных причастных

сторон должен одновременно обладать высокой стабильностью, низкой стоимостью, малыми массогабаритными показателями, экологичностью, быть технологичным в производстве, удобным в обслуживании, легким в утилизации и т. д.

Кроме того, вариантов решения практической задачи практически всегда несколько, и перед разработчиком встает проблема аргументированного выбора окончательного варианта.

Проектирование, целью которого является не только поиск функционально эффективных решений, но и удовлетворение разных, порой противоречивых потребностей, обоснованный выбор окончательного варианта, называется *оптимальным проектированием* (критериальным проектированием, вариантным проектированием). Активно оно начало применяться со второй половины XX века благодаря достижениям теории принятия решений и теории исследования операций [8, 9, 28, 29], широкому распространению вычислительной техники, позволившим разработать соответствующие методы, в обозримые сроки просчитывать многочисленные варианты и решать сложные математические задачи.

Большое значение в оптимальном проектировании отводится подготовке на этапе технического задания полного перечня требований к разрабатываемому объекту, выделению среди них показателей качества и преобразованию наиболее важных из них в критерии оптимизации.

*Системное проектирование (системная инженерия)*. Системная инженерия — междисциплинарный подход и средства для создания успешных систем [30–32]; междисциплинарный подход, охватывающий все технические усилия по развитию и верификации интегрированного и сбалансированного в жизненном цикле множества системных решений, касающихся людей, продукта и процесса, которые удовлетворяют потребности заказчика [33].

К концу XX века существенно возросла не только сложность проектируемых объектов, но и их воздействие на общество и окружающую среду, тяжесть последствий аварий из-за ошибок разработки и эксплуатации, высокие требования к качеству и цене, сокращению сроков выпуска новой продукции. Необходимость учета этих обстоя-



тельств заставляла вносить изменения в традиционный характер и методологию проектной деятельности.

При создании технических объектов их уже необходимо было рассматривать в виде систем, то есть комплекса взаимосвязанных внутренних элементов с определенной структурой, широким набором свойств и разнообразными внутренними и внешними связями. В результате сформировалась новая проектная идеология, получившая название системного проектирования (рисунок 9).

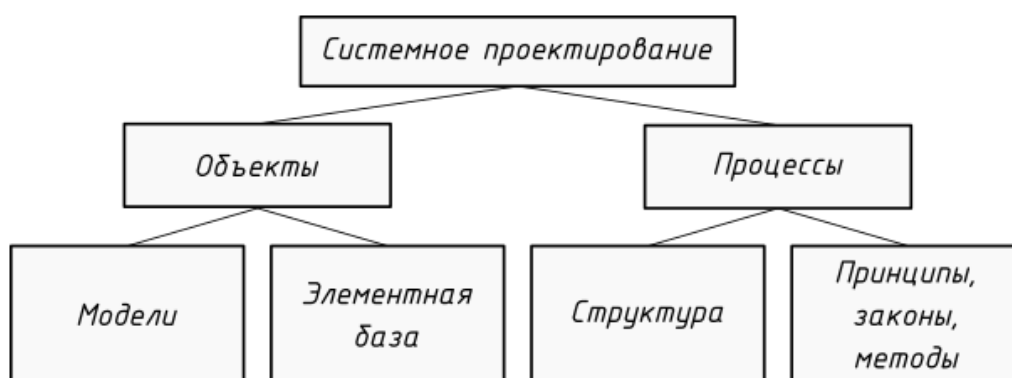


Рисунок 9 — Категории системного проектирования

Системное проектирование комплексно решает поставленные задачи, принимает во внимание взаимодействие и взаимосвязь отдельных объектов-систем и их частей как между собой, так и с внешней средой, учитывает социально-экономические и экологические последствия их функционирования. Системное проектирование основывается на тщательном совместном рассмотрении объекта проектирования и процесса проектирования, которые в свою очередь включают еще ряд важных частей [34].

**Принципы организации проектной деятельности.** Исходя из вышеизложенных особенностей проектной деятельности, можно сформулировать ее принципы, выделив их из психологии, общей теории систем.

1. *Принцип иерархичности.* В зависимости от личностных качеств человека, а также условий, в которые он поставлен, деятельность может осуществляться на разных уровнях ее иерархии:

– операционном — человек выполняет лишь отдельные технологические операции (понимая технологию в самом широком смысле: в том числе, к примеру, конструкторские технологии и т.д.);

– тактическом — человек способен реализовывать полный технологический процесс, успешно используя всю совокупность наличных средств и способов деятельности для решения текущих задач в изменяющихся условиях. Тактический уровень, наряду с овладением комплексом технологических операций, требует ряда других компетенций — способности к быстрой ориентировке в изменяющихся ситуациях, владение общими алгоритмами рационального построения действий и их последовательности, умения планировать действия и деятельность, умения распределять роли при коллективной организации деятельности и т. д.;

– стратегическом — человек ориентируется во всей окружающей его среде, в экономических, технологических и общественных отношениях, самостоятельно определяет место и цели собственной деятельности. Стратегический уровень деятельности, наряду с овладением, естественно, операционными и тактическими уровнями, требует развития еще и целого ряда других качеств личности: познавательных умений, творческой активности, самоанализа процессов и результатов деятельности, широкого кругозора, коммуникативности и т. д.

Условно можно сказать так: операционный уровень — это человек-исполнитель; тактический — деятель; стратегический — творец.

*2. Принцип целостности, интегративности.* Рассмотрим процессуальный аспект любой профессиональной деятельности.

Что значит «уметь делать» в самом общем смысле? Это значит, что побуждаемый потребностями человек способен самостоятельно сориентироваться в ситуации, приобрести новые необходимые знания, правильно поставить цель действий в соответствии с объективными законами и наличными обстоятельствами, определяющими реальность и достижимость цели; согласно ситуации, цели и условиям определить конкретные способы и средства действий, в процессе действий отработать, усовершенствовать их и, наконец, достичь цели.

Деятельность, которая включает все перечисленные компоненты в их единстве, называется целостной, интегративной. Именно такой деятельностью является деятельность проектировщика.

При этом обязательным требованием к проектной деятельности должна быть *практическая полезность* результата достижения цели проекта [35], другими словами:

– деятельность должна быть целенаправленной, устремленной на удовлетворение действительных потребностей реального потребителя или определенной социальной, возрастной или иной группы людей;

– деятельность должна быть целесообразной. Важно вскрыть причины, препятствующие использованию существующих объектов для удовлетворения новых потребностей, выявить вызывающие их ключевые противоречия и сконцентрировать усилия на решении главных задач;

– деятельность должна быть обоснованной и эффективной. Разумным будет использование не любого решения задачи, а поиск оптимального варианта среди всех возможных решений.

Кроме того, в проектной деятельности необходимо учитывать правило *единства составных частей* [35]:

– целесообразно любой объект, сложный ли он или простой, рассматривать как систему, внутри которой можно выделить логически связанные более простые части — подсистемы, единство частных свойств которых и образует качественно новые свойства объекта-системы;

– разрабатываемые объекты предназначены для людей, ими создаются и эксплуатируются. Поэтому человек также обязан рассматриваться в качестве одной из взаимодействующих систем. При этом должно приниматься во внимание не только физическое взаимодействие, но и духовно-эстетическое воздействие;

– внешняя, или, как ее еще называют, жизненная среда, также должна рассматриваться в качестве системы, взаимосвязанной с проектируемым объектом.

Интересен также другой аспект интегративной деятельности в ее видовой структуре. Философы и психологи выделяют пять основных видов деятельности (их можно также определить как инвариантные стороны деятельности) [16]:

– познавательную;

– преобразовательную (практическая и проектирующая);

– ценностно-ориентировочную;

- коммуникативную (общение);
- эстетическую.

В этом аспекте разностороннее формирование личности проектировщика предполагает достаточный уровень развития способностей к одновременному осуществлению всех видов деятельности или, иначе говоря, развития потенциалов личности, соответствующих этим пяти основным видам деятельности. При этом ведущим видом деятельности в соответствии с природой человека выступает преобразовательная деятельность.

3. *Принцип коммуникативности (принцип открытости)*. Принцип коммуникативности в философии и общей теории систем означает, что система не изолирована от других систем, она связана множеством коммуникаций со средой. Для проектной практической деятельности этот принцип можно попытаться сформулировать следующим образом: проектная практическая деятельность связана множеством связей с деятельностью других людей, затрагивает их интересы, так же как деятельность других людей непосредственно или опосредованно влияет на практическую деятельность данного человека. Таким образом, в практической деятельности человек вступает во взаимодействие с другими людьми, с которыми в этом случае отношения могут быть дружественными, партнерскими или враждебными, и он должен учитывать в своей деятельности интересы всех сторон.

4. *Принцип историчности*. С точки зрения диалектики понятно, что любая система не может быть неизменной, что она когда-то возникает, функционирует, развивается и когда-то погибает. Время является неременной характеристикой системы, каждая система подчиняется принципу историчности — такому же объективному, как иерархичность, целостность, коммуникативность.

Рассматривая с позиции методологии профессиональную деятельность проектировщика как систему, необходимо учитывать динамику ее порождения, развития, стагнации и, наконец, отмирания. Эта динамика имеет два аспекта.

Во-первых, филогенетический аспект. Деятельность любого практика, по крайней мере более или менее грамотного, деятельность коллектива любого учреждения, организации строится на основе многовекового опыта деятельности всего человечества. Каждый практик,

каждый коллектив начинает работать и работает не «на пустом месте», а используя в большей или меньшей степени (желательно, конечно, в большей) весь этот опыт. В частности, проектировщики должны учитывать этапы жизненного цикла объекта, историю и перспективы развития и применения разрабатываемого объекта, а также областей науки и техники, на достижениях которых базируются соответствующие разработки.

Во-вторых, онтогенетический аспект. Профессиональная деятельность специалиста-практика начинается, очевидно, после окончания вуза, колледжа и т. п., когда он приходит на работу. И лишь приступив к профессиональной деятельности, специалист начинает задумываться о себе как о профессионале. И то не сразу, а лишь тогда, когда он «набьет себе первые шишки».

Далее, согласно принципу историчности, при введении любых инноваций в любом учреждении, любой фирме, организации при оценках деятельности того или иного специалиста необходимо учитывать – в каком возрасте он находится и какой у него стаж работы. Ведь начинающему специалисту надо войти в курс дела, набраться первоначального опыта профессиональной деятельности хотя бы на операционном уровне. А от специалиста предпенсионного и запенсионного возраста, как правило, уже бессмысленно требовать чего-либо нового в его деятельности и т. д.

5. *Принцип необходимого разнообразия (принцип адекватности).* Этот принцип в теории систем был сформулирован У. Р. Эшби [36]. Он гласит, что, создавая систему, способную справиться с решением проблемы, обладающей определенным, известным разнообразием (сложностью), нужно обеспечить, чтобы система имела еще большее разнообразие (наличие средств и способов решения проблемы), чем разнообразие (сложность) решаемой проблемы. Или же была способна создавать в себе это необходимое разнообразие (могла бы разработать новые средства и способы решения проблемы). То есть, иначе говоря, система должна иметь необходимый «запас маневра».

Для деятельности специалиста-практика, для деятельности производственного коллектива это означает:

1) необходимо и целесообразно браться за решение таких проблем, для которых уровень квалификации, накопленного опыта

специалиста или коллектива превышает необходимый для решения данной проблемы уровень. Или же «добирать» квалификацию до этого уровня в процессе решения проблемы;

2) иметь в запасе несколько вариантов решения проблемы;

3) конструировать свою деятельность таким образом, чтобы отдельные ее компоненты сравнительно легко заменялись, подвергались корректировке и модернизации;

4) строить свои модели, проекты, конструкции таким образом, чтобы их можно было легко приспособлять, адаптировать к изменяющимся условиям.

**Условия проектной деятельности.** Для проектной деятельности имеет место следующий набор условий:

- мотивационные,
- кадровые,
- материально-технические,
- научно-методические,
- финансовые,
- организационные,
- нормативно-правовые,
- информационные.

На рисунке 10 показаны сферы окружения объекта проектирования (ОП) [13].



Рисунок 10 — Сферы окружения объекта проектирования

Необходимость учета системотехником всех вышеперечисленных условий в своей проектной деятельности обусловлена множеством сфер человеческой деятельности, которые он затрагивает в ходе разработки объекта проектирования [37]. Научно-техническим базисом этой деятельности являются дисциплины естественно-научного цикла

(физика, математика, химия). В то же время проектировщики должны учитывать не только возможности существующего производства, но и знать перспективы, потенциал и скорость развития существующих промышленных технологий. Этот вопрос особенно актуален в наше время, т. к. экономики целых стран зависят от имеющихся прогностических способностей их научно-технических сообществ [38].

Кроме науки и производства, инженер в функционально-эстетическом плане связан с искусством (рисунок 11) [38]. Благодаря врожденной человеческой способности отличать уродливое от прекрасного и благодаря тяге ко всему красивому люди постоянно стремятся окружить себя привлекательными вещами.

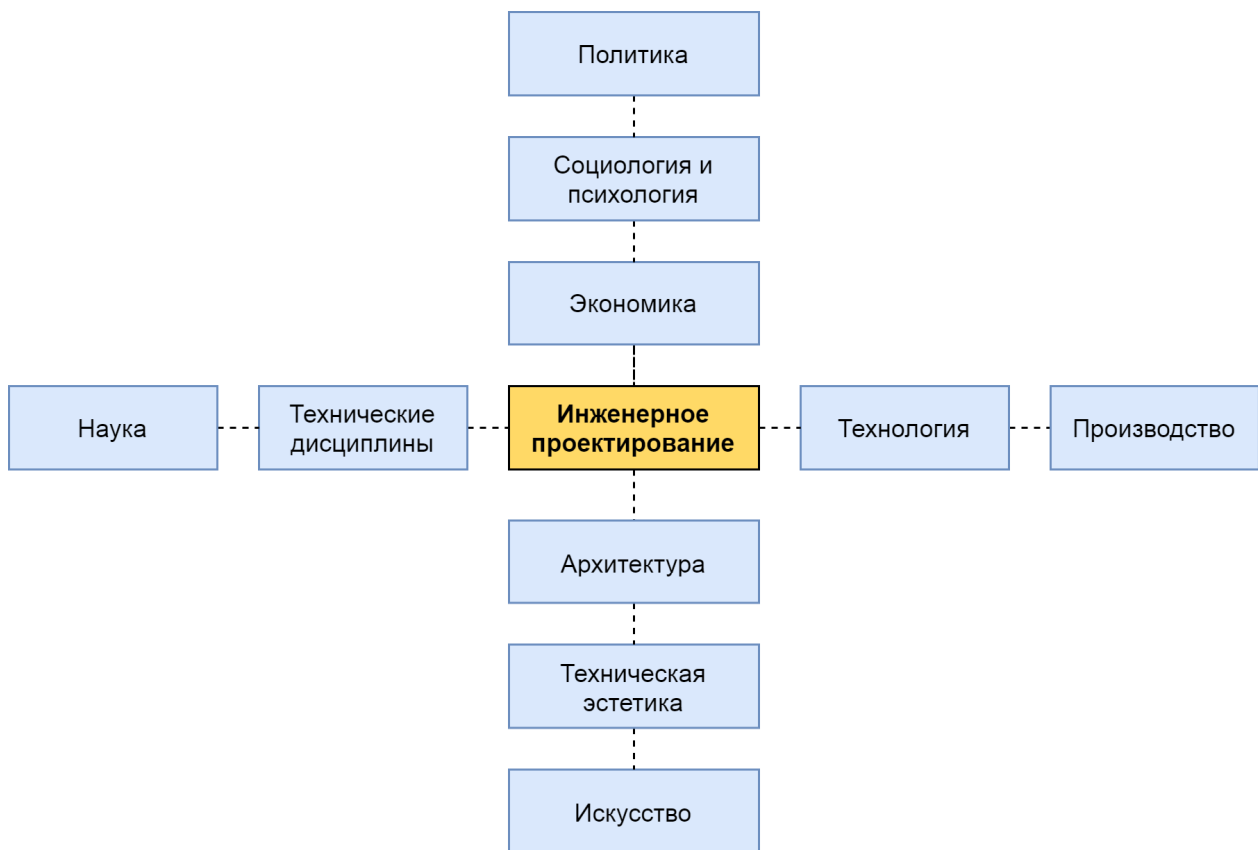


Рисунок 11 — Связь инженерного проектирования с другими видами деятельности человека

Также деятельность системного инженера связана с экономикой, социологией и политикой. Связь с экономикой очевидна. Ни одно правительство или фирма не в состоянии позволить себе сделать все, что в данный момент пожелает. Нужны экономические ресурсы, и проектировщик должен знать экономические возможности как в масштабах

своего отдела, так и в масштабе фирмы или предприятия, страны и всего мира в целом. Развитие ТС способствует развитию экономики, а развитие экономики в свою очередь определяет развитие социума и технологий.

**Нормы проектной деятельности.** Нормы — это задокументированный совокупный опыт человечества или профессионального сообщества в конкретной отрасли или сфере деятельности.

Системный инженер в своей деятельности руководствуется множеством различных общих и специфических норм и стандартов: правовыми, этическими, проектными, отраслевыми и т. д. [39].

На всех этапах жизненного цикла ЭРЭС сопровождает техническая документация, состав которой регламентируется государственными стандартами. В настоящее время в России действует большое количество стандартов, которые сгруппированы по направлениям жизненного цикла изделий в следующие комплексы:

- система разработки и постановки продукции на производство (СРПП);
- единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- единая система технологической документации (ЕСТД);
- единая система программной документации (ЕСПД);
- единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП);
- единая система защиты изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений (ЕСКЗС) и др.

Основная задача стандартизации – обеспечить единую нормативно-техническую, информационную, методическую и организационную основу проектирования, производства и эксплуатации изделий. При этом обеспечивается использование единого технического языка и терминологии, взаимообмен документацией между предприятиями без ее переоформления, совершенствование организации проектных работ, возможность автоматизации разработки технологической документации с унификацией машинно-ориентированных форм документов, совершенствование способов учета, хранения и изменения документации и др.



Ниже приведем перечни основных отечественных и зарубежных стандартов системной инженерии.

- *Основные стандарты системной инженерии на английском языке:*

ISO/IEC 15288:2015 Systems and software engineering — System life cycle processes.

ISO/IEC TR 19760:2003 Systems engineering — A guide for the application of ISO/IEC 15288 (System life cycle processes).

ISO/IEC 26702 (IEEE Std 1220:2005) Systems engineering — Application and management of the systems engineering process.

ISO/IEC TR 24748-1:2010 Systems and software engineering — Life cycle management — Guide for life cycle management.

ISO/IEC 25010:2011 Systems and Software Engineering — Systems and Software Engineering Quality Requirements and Evaluation.

ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering — Vocabulary.

ISO/IEC/IEEE 29148 Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering.

ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systems and software engineering — Architecture description.

ISO 15926 Industrial automation systems and integration — Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities.

ISO/IEC 29110:2011 Systems Engineering Standards for Very Small Entities.

MIL-STD-499 Military Standard System Engineering Management. Department of Defense, 1969.

- *Основные стандарты на русском языке:*

ГОСТ Р 57193-2016 Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем (на основе ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering — System life cycle processes).

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств (см. ISO/IEC 12207:2008).

ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 16326-2002. Программная инженерия. Руководство по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 при управлении проектом (см. ISO/IEC 16326).

ГОСТ Р ИСО 15926-1-2008 Промышленные автоматизированные системы и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия (см. ISO 15926-1:2004).

## **3.2 Логическая структура проектной деятельности**

**Субъект проектирования.** Под субъектом проектирования можно понимать отдельного человека, коллектив специалистов, искусственный интеллект (агент). По аналогии с субъектом познания субъект проектирования — система, осуществляющая извлечение информации о внешних явлениях природы и общественной жизни, включая процесс коммуникации в широком смысле слова (передача сведений, обмен мнениями, борьба идей и т. д.) [13].

Подход к субъекту проектирования как к системе обусловлен наличием в нем всех ее атрибутов. Действительно, проектирование состоит в одновременном и последовательном выполнении некоторых процедур и операций, начиная с формирования задачи проектирования до разработки рабочей документации. Каждая процедура имеет собственную цель, которая вытекает из общей цели и является ее частью. Выполнение той или иной процедуры, независимо от того, участвует в проектировании один человек или целый коллектив, начинается и завершается по определенной команде. Таким образом, формируется система, имеющая цель функционирования, иерархическую структуру и управление. Средством функционирования этой системы является информация о результатах выполненных процедур и операций. Показателем эффективности системы можно считать качество создаваемого объекта проектирования.

Вкратце охарактеризуем системотехнику как профессию.

По мере того как сложные системы все глубже проникают в современное общество, а роль системотехники в их разработке растет, профессия системного инженера (системотехника) получает все большее распространение. И прежде всего это относится к компаниям,

специализирующимся на разработке больших систем. Для решения глобальных проблем, возникающих в таких областях, как здравоохранение, связь, охрана окружающей среды и многих других, для получения жизнеспособного решения тоже требуется привлекать методы системотехники [7].

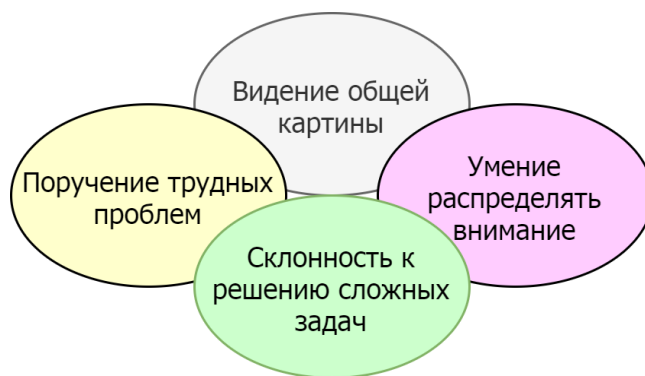
Недостаточно быстрое признание системной инженерии как профессии объясняется тем, что ей не соответствует никакая традиционно преподаваемая инженерная дисциплина. В основе традиционных инженерных дисциплин лежат количественные соотношения, известные физические законы и поддающиеся измерению свойства материалов, энергии и информации. С другой стороны, системотехника имеет дело преимущественно с задачами, которые изучены не полностью, для которых не существует известных уравнений, связывающих переменные; с задачами, при решении которых требуется отыскать баланс между конфликтующими целями с несоизмеримыми атрибутами. В прошлом отсутствие количественных знаний препятствовало становлению системной инженерии как самостоятельной дисциплины. Несмотря на все препятствия, потребность в системотехнике, осознанная промышленностью и государством, с каждым годом растет.

Признание системной инженерии как профессии привело к образованию профессионального общества — Международного совета по системной инженерии (International Council on Systems Engineering — INCOSE).

Условием становления системного инженера является наличие у него четырех профессионально важных качеств: способности к видению общей картины, умения распределять внимание, способности к формулированию трудных проблем, склонности к решению сложных задач (рисунок 12,а). Условием развития системного инженера является его активная деятельность по трем направлениям: обучение инженерному делу, развитие системного мышления, накопление системотехнического опыта работы (рисунок 12,б).

Таким образом, важнейшим личным качеством системотехника следует считать ярко выраженную склонность к системной точке зрения. Это значит, что системотехник занимается прежде всего не компонентами системы, а самой системой в целом — ее внутренними связями и ее поведением в определенных условиях, среде и окружении.

Системная точка зрения требует понимания целей, стоящих перед системотехникой, и задач, возникающих при выборе систем [40].



*а*

Обучение инженерному делу	<i>Принципы</i>	Способность к лидерству Процессы системной инженерии Менеджмент
	<i>Инструменты</i>	
	<i>Навыки</i>	
Развитие системного мышления	<i>Практические примеры</i>	Многозадачность Мультидисциплинарность Расстановка приоритетов
	<i>Распределение внимания</i>	
	<i>Решение задач</i>	
Опыт работы системным инженером	<i>Сложность</i>	Ориентация на результат Соблюдение графика Творческий подход
	<i>Общая картина</i>	
	<i>Состояние/Режимы</i>	
Опыт работы системным инженером	<i>Взаимосвязи</i>	Модели Консультанты Лучшие практики
	<i>Интерфейсы</i>	
	<i>Распределение внимания</i>	
Опыт работы системным инженером	<i>Решение задач</i>	Технические Инженерные Социальные
	<i>Сложность</i>	
	<i>Общая картина</i>	
Опыт работы системным инженером	<i>Коллектив/Группа</i>	Коллектив/Группа Лаборатория В полевых условиях/ в условиях эксплуатации
	<i>Лаборатория</i>	
	<i>В полевых условиях/ в условиях эксплуатации</i>	

*б*

Рисунок 12 — Элементы профессионального роста системного инженера, связанные с опытом успешной практической работы (*а*), и необходимые условия профессионального развития системных инженеров (*б*)

Кроме этого, важны следующие компетенции системотехника: способность суждения, объективной оценки; способность к творчеству, наличие сильного воображения; способность к коммуникации со специалистами других сфер и отраслей деятельности; способности к лидерству, дипломатии, коллективной работе; способность убедительного и доступного представления информации в письменном, устном и графическом видах.

На практике чаще всего встречаются следующие системно-инженерные роли [4]:

- системный инженер — отвечает за весь жизненный цикл системы;
- системный аналитик — отвечает за требования к системе;
- системный архитектор — отвечает за системную архитектуру;
- системный тестировщик — отвечает за тестирование системы;
- системный администратор — отвечает за обслуживание системы.

Системно-инженерная роль подразумевает не только ответственность, но и способность (компетенцию). Если, например, главный конструктор (по должности) отвечает, в том числе, за требования, но не обладает компетенциями системного аналитика (то есть не знает соответствующих дисциплин и не имеет нужного инструментария), то его нельзя называть системным инженером (по роли) [4].

**Объект и предмет проектирования.** Объектом по определению называется то, что противостоит субъекту в его предметно-практической и познавательной деятельности [15]. Объект тождествен объективной реальности. В свою очередь предмет — это часть объекта, какая-то сторона этой объективной реальности. Однако в силу того, что проектная деятельность направлена на описание будущего изделия, которого «реально» еще не существует и который существует только в голове проектировщика в виде неосязаемого образа (при этом смысл и значение объекта проектирования постепенно овеществляются в виде графических схем, диаграмм жизненного цикла, КД и прочего посредством знаковых форм и разнообразных профессиональных языков), перед проектировщиком стоит сложная задача максимально детального и точного, а значит, всестороннего описания этого образа. Поэтому объект и предмет проектной деятельности совпадают.

Таким образом, основная отличительная особенность проектирования от познания вообще состоит в том, что объект проектирования (ОП), в отличие от объекта познания, еще не существует, однако его образ воспринимается субъектом как реальный с присущими ему внутренней динамичностью и противоречивостью, с конкретными свойствами [13].

Современные ОП выступают как сложные системы с большим количеством взаимосвязанных подсистем и элементов, работающие в сложных условиях. ОП в сознании субъекта должен существовать в определенном окружении, взаимосвязь с которым и характеризует его жизнедеятельность. Современный стиль мышления, и это в полной мере относится к субъекту проектирования, — системный и кибернетический. Он возник не сам по себе, а благодаря развитию философии, логики. Системный и кибернетический стили мышления на самом деле являются воплощениями принципов и средств диалектической логики.

*Иерархия описаний технических объектов.* Каждый ТО может быть представлен описаниями, имеющими иерархическую соподчиненность.

Описания характеризуются двумя свойствами [23]:

– каждое последующее описание является более детальным и более полно характеризует ТО по сравнению с предыдущим;

– каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Каждый ТО, и ЭРЭС в частности, имеет следующие описания:

– потребность, или функция ТО — это общепринятое и краткое описание на естественном языке назначения ТО или цели его создания (существования). При описании потребности проектировщик отвечает на вопрос: «Что (какой результат) желательно иметь (получить) и каким особым условиям и ограничениям при этом нужно удовлетворить?»;

– техническая функция (ТФ) — связывает потребность с физической операцией (физическое превращение, преобразование, физико-технический эффект (ФТЭ)), с помощью которой эта потребность реализуется;

– функциональная структура (ФС) — описывает функциональные (конструктивная функциональная структура) и потоковые (потоки

преобразуемых материи, энергии, информации) связи между элементами, из которых состоит ТО;

– физический принцип действия (ФПД) — строится на основе потоковой функциональной структуры путем замены наименований физических операций наименованиями электронных компонентов. Описание ФПД содержит изображение принципиальной схемы ТО, в которой в упрощенно-идеализированной форме показаны основные конструктивные элементы и связи между ними, обеспечивающие реализацию данного ФПД;

– техническое решение (ТР) — представляет собой конструктивное оформление ФПД или ФС;

– проект — это рабочие чертежи и конструкторская документация (см. далее «Результат проектной деятельности»).

Иерархия этих описаний показана на рисунке 13.

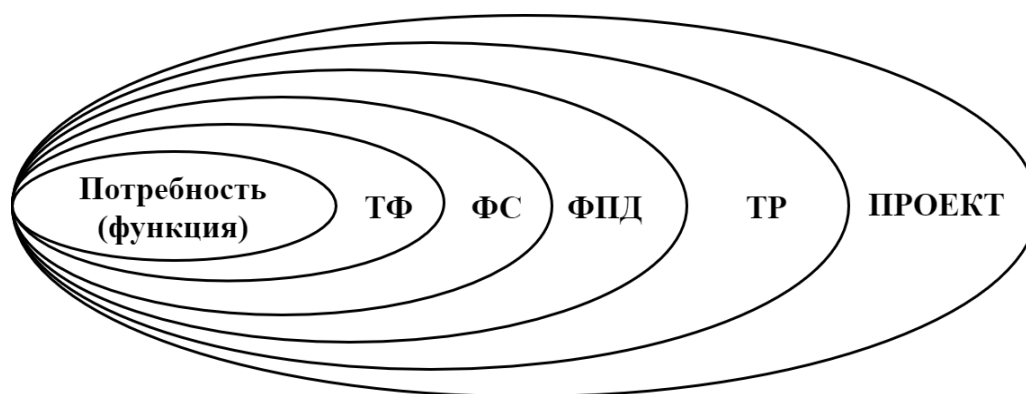


Рисунок 13 — Иерархия описаний объекта проектирования

В очередной раз стоит подчеркнуть, что функции некоторых ТС инвариантны к их физической природе, т.е. ТС, выполняющие одну и ту же функцию, можно реализовать на абсолютно разных ФПД.

*Например, часы, выполняющие функцию отсчета времени, можно реализовать на физических принципах механики (механические часы), ядерной физики (атомные часы) или электроники (электронные часы). Стоит отметить, что даже в основе электронных часов лежит все тот же механический принцип — явление механического резонанса кварцевой пластины, которое является сердцем электронных часов.*

Этот пример в очередной раз демонстрирует глубину взаимосвязей и взаимопроникновение абсолютно различных разделов физики.

Однако в рамках данной дисциплины нас в первую очередь будут интересовать ТС, работающие на физических принципах электроники, радиотехники, радиоэлектроники и их смежных дисциплин (см. таблицу 4).

*Систематика задач поиска и выбора проектно-конструкторских решений.* При разработке любого ТО, когда ставится цель получить изделие выше уровня мировых образцов, проектировщику предстоит решить иерархическую последовательность задач выбора проектно-конструкторских решений. Эта последовательность имеет полное соответствие с рассмотренной иерархией описаний ТО [23]. Рассмотрим различные типы задач.

**Задача 1** — *составление или уточнение описания потребности (функции).* Наряду с качественным описанием, указывают основные количественные характеристики действия, объекта, условий и ограничений.

**Задача 2** — *выбор физической операции (ФО).* Чаще всего для реализации одной и той же потребности существует несколько альтернативных ФО (см. рисунки 14, 15). Проектировщику предстоит выбрать наиболее перспективную из них.

**Задача 3** — *выбор функциональной структуры.* Для реализации одной и той же ТФ исходя из описаний потребности и ФО и с учетом ФС, близких и аналогичных ТО, возможно построение нескольких альтернативных ФС, из которых также предстоит выбрать наиболее рациональную.

**Задача 4** — *выбор физического принципа действия.* У одной и той же потоковой ФС различные элементы могут быть реализованы на основе различных физико-технических эффектов. В связи с этим иногда может быть синтезировано большое число возможных ФПД, из которых также предстоит выбрать наиболее эффективный вариант.

**Задача 5** — *выбор технического решения.* Один и тот же ФПД может быть реализован несколькими, а иногда очень большим числом (сотни) практически приемлемых вариантов ТР, из которых предстоит выбрать лучшее решение.

**Задача 6** — *выбор параметров ТО и его элементов.* При решении этой задачи ставят и решают иерархическую последовательность подзадач поиска и выбора оптимальных параметров ТО и его элементов.



В каждой такой подзадаче производится выбор по существу на бесконечном множестве возможных вариантов.

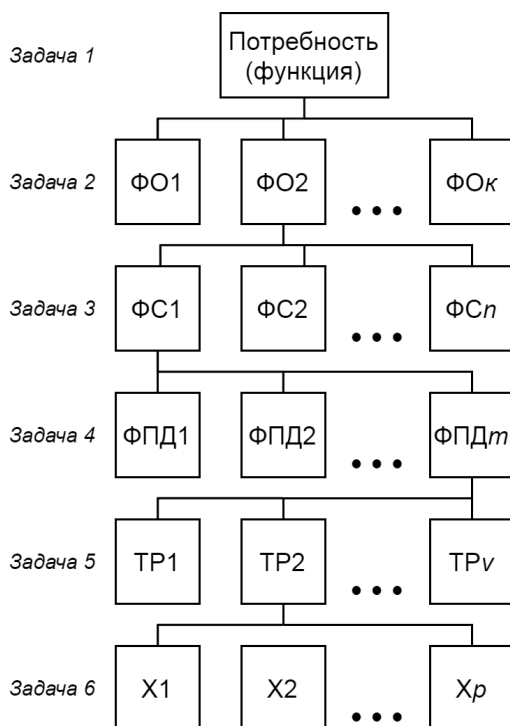


Рисунок 14 — Иерархия задач выбора проектно-конструкторских решений

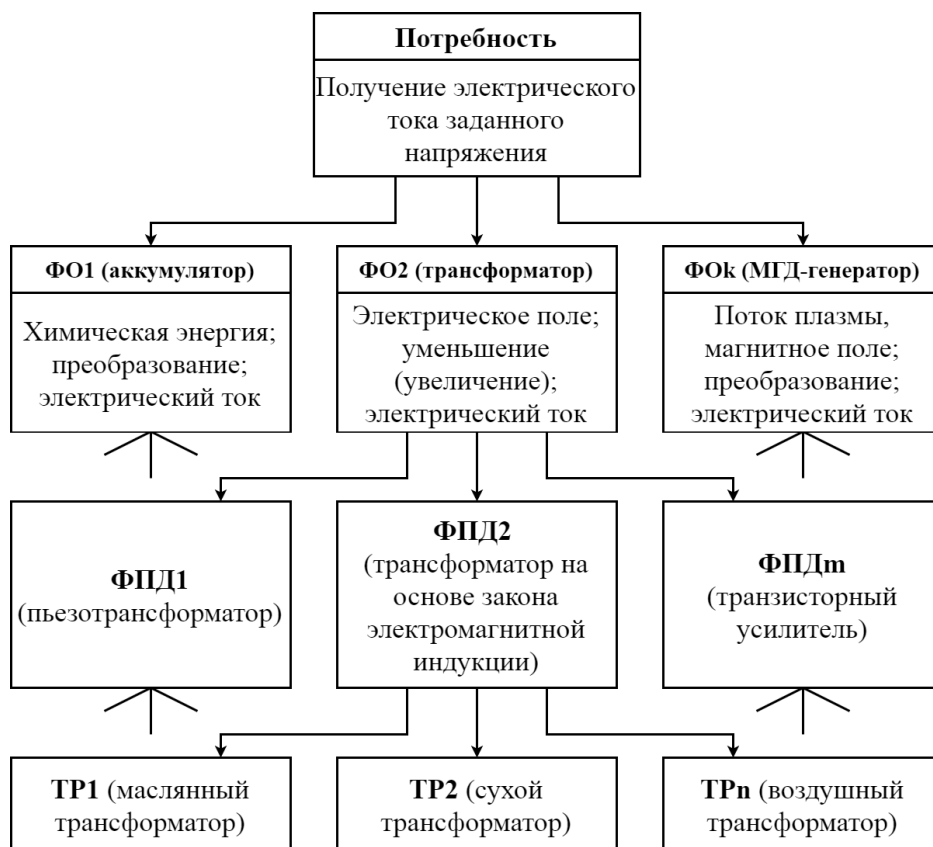


Рисунок 15 — Пример иерархии или систематики ТО

Хотя все эти типы задач можно отнести к творческим инженерным задачам, наиболее ярко выраженную принадлежность к таковым имеют задачи типов 3–5.

Выделенные типы задач и последовательность их решения имеют определенную идеализацию и условность, поскольку на практике проектирование и конструирование идут итерационно с многочисленными возвратами, а решение смежных задач часто сокращается.

Перечисленные задачи поиска и выбора проектно-конструкторских решений имеют одно интересное свойство. С повышением уровня задачи (от 6-го до 1-го типа) ее успешное решение дает больший экономический эффект, вызывает более заметный технический прогресс в данной области и обеспечивает разработку изделий с большим сроком морального старения. Так, например, решение задачи 6-го типа обычно улучшает интересующие технико-экономические показатели изделий на 10–15%. Решение задачи 5-го типа — на 20–30%, задачи 4-го типа — на 30–50% (иногда в несколько раз). Еще более важным оказывается выявление новых потребностей, изобретение и обоснование новых ФО.

Следует заметить, что существуют многочисленные стандарты, инструкции и методические материалы по описанию технических и рабочих проектов; в области патентования и в специальной технической литературе имеются инструкции и методики по описанию технических решений. Однако для описания потребности (функции), ТФ, ФС, ФПД не существует инструктивной и методической литературы. Это, в свою очередь, затрудняет разработку методов постановки и решения задач типов 1–4 и делает проблематичным изменение отношения к этим задачам в подготовке инженеров.

**Структура проектирования.** Проектирование как осознанная целенаправленная деятельность характеризуется определенной структурой, то есть последовательностью и составом этапов разработки проекта, совокупностью процедур и привлекаемых технических средств, взаимодействием участников процесса.

В настоящее время существуют два представления структуры проектирования, подобные по форме, но различные по целям и подходам к деятельности. Это — структура в виде стадий разработки про-

ектной документации (стадий проектирования) и структура процесса проектирования [11].

*Стадии проектирования.* Стадии проектирования регламентированы стандартами ГОСТ 2.103–2013 и ГОСТ Р 15.301–2016. Последовательность выполнения всех стадий образует официальную структуру процесса разработки проектной документации, которая, как правило, используется при официальных взаимоотношениях между заказчиком и исполнителем или между соисполнителями работ (рисунок 16). Сама документация необходима для отчета перед заказчиком о проделанной работе, возможности проверки или повторения разработок другими исполнителями, подготовки производства и обслуживания изделия в период эксплуатации.

Стадии создания других систем регламентируются своими стандартами, например для автоматизированных систем — ГОСТ 34.601–90.

Структура устанавливает стадии разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ внутри каждой стадии, то есть состав документации и виды работ, что помогает ответить на вопрос «Что нужно делать?» в процессе проектирования. Основные стадии структуры включают: разработку ТЗ, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, разработку рабочей документации [39]. Связь стадий и процедур проектирования показана на рисунке 17.

*Разработка технического задания (ТЗ)* — формулировка назначения и области применения разрабатываемых ЭРЭС, технических, конструктивных, эксплуатационных и экономических требований к ЭРЭС, условий по их хранению и транспортированию, требований по надежности, правил проведения испытаний и приемки образцов в производстве.

*Техническое предложение (ПТ)* — проведение анализа существующих технических решений, патентных исследований, проработка возможных вариантов создания ЭРЭС, выбор оптимального решения, макетирование отдельных узлов ЭРЭС, выработка требований для последующих этапов разработки, оценка стоимости опытного образца ЭРЭС.

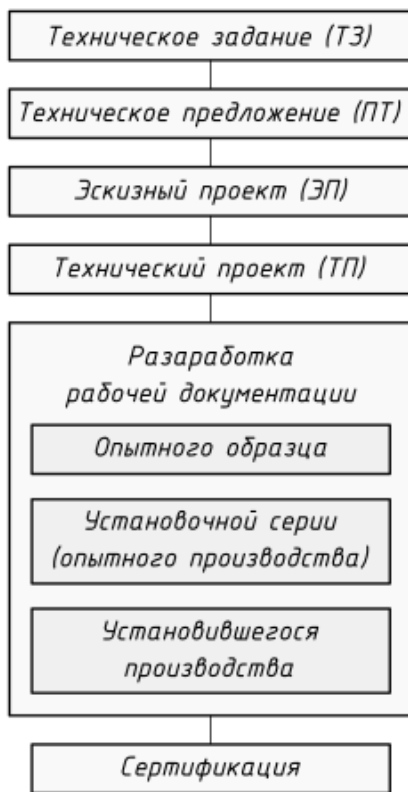


Рисунок 16 — Стадии проектирования



Рисунок 17 — Процедурная модель проектирования

*Эскизный проект (ЭП)* — осуществление конструкторской и технологической проработки выбранного варианта реализации ЭРЭС; изготовление действующего образца или серии ЭРЭС; проведение испытаний в объеме, достаточном для подтверждения заданных в ТЗ технических и эксплуатационных параметров; организация разработки в полном объеме необходимой конструкторской документации с присвоением ей литеры «Э»; проработка основных вопросов технологии изготовления, наладки и испытания элементов, узлов, устройств и ЭРЭС в целом; предварительная оценка надежности изделия.

Результатом ЭП является совокупность документов, содержащих принципиальные решения и дающих общее представление об устройстве и принципе работы разрабатываемого объекта, а также данные, определяющие его назначение, основные параметры и габаритные

размеры. В случае большой сложности объекта этому этапу может предшествовать аван-проект (предпроектное исследование), обычно содержащий теоретические исследования, предназначенные для обоснования принципиальной возможности и целесообразности создания данного объекта.

При необходимости на стадии ЭП проводят изготовление и испытание макетов разрабатываемого объекта.

*Технический проект (ТП)* — принятие окончательных решений о конструктивном оформлении ЭРЭС и составляющих их узлов, разработка полного комплекта КД и ТД с присвоением литеры «Т», изготовление опытной серии ЭРЭС, проведение испытаний ЭРЭС на соответствие заданным в ТЗ техническим и эксплуатационным требованиям. Результатом ТП является совокупность документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве проектируемого объекта, исходные данные для разработки рабочей документации. Результат ТП является основой для разработки полного комплекта рабочей конструкторской документации, которой присваивается литера «О».

На стадии *рабочего проекта (РП)* сначала разрабатывают подробную документацию для изготовления опытного образца и последующего его испытания. Испытания проводят в ряд этапов (от заводских до приемо-сдаточных), по результатам которых корректируют проектные документы. Далее разрабатывают рабочую документацию для изготовления установочной серии, ее испытания, оснащения производственного процесса основных составных частей изделия. По результатам этого этапа снова корректируют проектные документы и разрабатывают рабочую документацию для изготовления и испытания головной (контрольной) серии. На основе документов окончательно отработанных и проверенных в производстве изделий, изготовленных по зафиксированному и полностью оснащеному технологическому процессу, разрабатывают завершающую рабочую документацию установившегося производства.

Стадии составления ТЗ, технического предложения и ЭП, как правило, входят в научно-исследовательскую работу (НИР), а стадии технического проекта и технологической подготовки производства — в опытно-конструкторскую разработку (ОКР).

Завершает цикл работ этап, подводящий итог проектной деятельности, — сертификация. Ее назначение — определение уровня качества созданного изделия и подтверждение его соответствия требованиям тех стран, где предполагается его последующая реализация. Необходимость выделения этого этапа в виде самостоятельного вызвана тем, что в настоящее время экспорт продукции или ее реализация внутри страны во многих случаях недопустимы без наличия у нее сертификата качества. Сертификация может быть обязательной или добровольной. Обязательной сертификации подлежат товары, на которые законами или стандартами установлены требования, обеспечивающие безопасность жизни и здоровья потребителей, охрану окружающей среды, предотвращение причинения вреда имуществу потребителя. Добровольная сертификация проводится по инициативе предприятий. Обычно это делается с целью официального подтверждения характеристик продукции, изготавливаемой предприятием, и, как следствие, повышения доверия к ней у потребителей.

На рисунке 18 для стадий и процедур проектирования представлены методы решения задач и источники соответствующей информации.

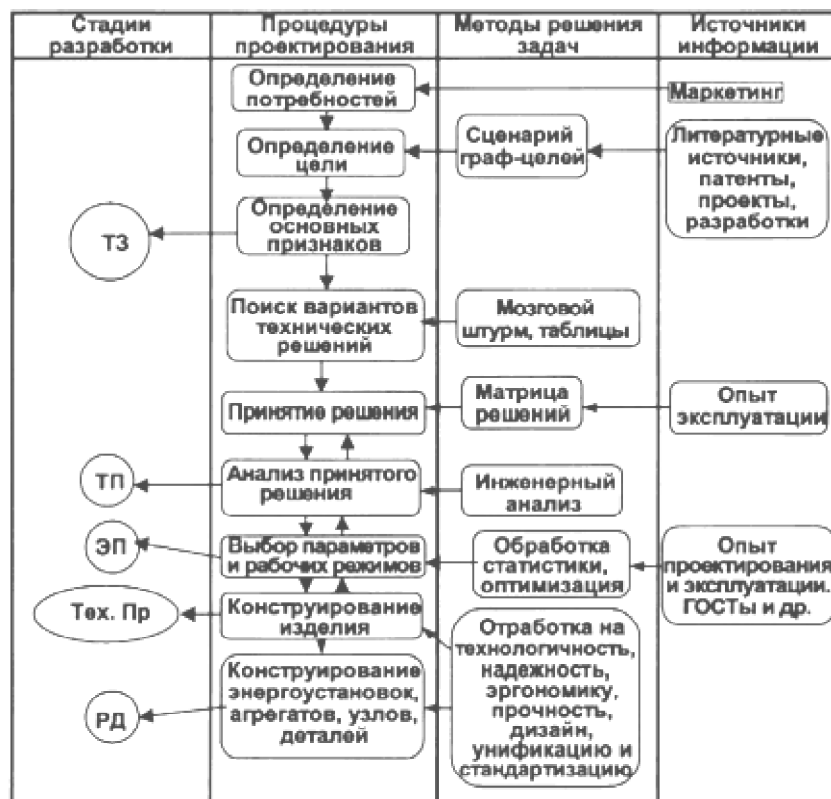


Рисунок 18 — Связь методов решения задач и типов источников информации со стадиями и процедурами процесса проектирования

*Структура процесса проектирования.* Проектирование — целенаправленная деятельность, которая обладает последовательностью процедур, ведущих к достижению эффективных решений. Соответственно, должна быть структура процесса решения задачи проектирования, которая помогает ответить на вопрос «Как это делать?». В настоящее время предложен ряд структур и алгоритмов проектирования, совпадающих в основных чертах и различающихся только в содержании или названии отдельных этапов.

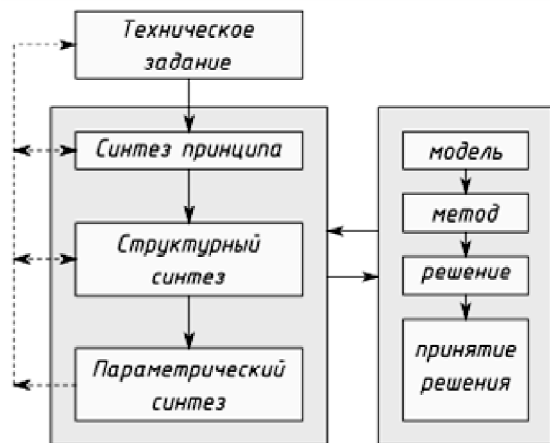


Рисунок 19 — Процесс решения задачи проектирования

Решение любой задачи начинается с ее осмысления и уточнения исходных данных (рисунок 19). Технические требования (ТТ), которые выдаются заказчиком, формулируются на языке потребителя-неспециалиста и не всегда бывают технически четкими и исчерпывающими. Перевести требования на язык предметной области, сформулировать задачу максимально полно

и грамотно, обосновать необходимость ее решения, то есть сформулировать техническое задание, — первый и обязательный этап работы. Исполнитель выполняет его в тесном контакте с заказчиком.

В системотехнике этот этап иногда называют *внешним проектированием*. Этим подчеркивают, что разработка объекта уже начинается с постановки задачи (ТТ) и формирования ТЗ и активно ведется совместно с заказчиком. Важным результатом этапа является согласование целей разработки и назначения проектируемого объекта (его функций), системы показателей качества.

Следующие этапы образуют *внутреннее проектирование*. Они нацелены на поиск решения задачи и выполняются разработчиком. Сюда входят этапы синтеза принципа действия, структуры и параметров проектируемого объекта:

- на этапе синтеза принципа действия отыскивают принципиальные положения, физические, социальные и прочие эффекты, которые составят основу функционирования будущего изделия. Это могут

быть основополагающие нормы, фундаментальные законы и правила, их частные случаи или следствия. Работа ведется с принципиальными моделями и их графическим представлением — структурными схемами. Этому этапу соответствует заключительная стадия ТЗ и стадия технического предложения структуры проектирования по ГОСТ 2.103;

- на этапе структурного синтеза на основе выбранного принципа действия создаются варианты начального графического представления объекта — структуры, схемы, алгоритмы, упрощенные эскизы. В соответствии с ГОСТ 2.103 этот этап включает стадию эскизного проектирования;

- на этапе параметрического синтеза отыскиваются значения параметров объекта, находится численное, в том числе оптимальное, решение проектной задачи, создается подробная документация или описание объекта, чертежи изделия и его частей. Этот этап соответствует стадиям технического и рабочего проектирования.

Вследствие неполноты начальных знаний о задаче процесс проектирования — *итеративен*, с каждым циклом итерации цели проектирования все более уточняются, появляется необходимость в дополнительных функциях и, как следствие, потребность в разработке дополнительных частей и узлов. Решение частных проектных задач, дополняющих основное решение, также проводится в соответствии с представленной последовательностью.

На каждом этапе внутреннего проектирования выполняются следующие процедуры:

- выбор модели (то есть основополагающего принципа, вида структурной схемы и расчетной схемы),
- выбор метода решения, в том числе метода оптимизации,
- решение,
- анализ полученных результатов и принятие решения.

Замечено, что эффективность проектируемого объекта определяется, в первую очередь, выбранным принципом действия, во вторую — предложенной структурой и в третью — соотношением параметров.

**Нисходящее и восходящее проектирование.** Ведение разработки объекта последовательно от общих черт к детальным называется нис-



ходящим проектированием (рисунок 20) [35, 41]. Его результатом будут требования к отдельным частям и узлам. Возможен ход разработки от частного к общему, что образует процесс восходящего проектирования. Такое проектирование встречается, если одна или несколько частей уже являются готовыми (покупными или уже разработанными) изделиями.

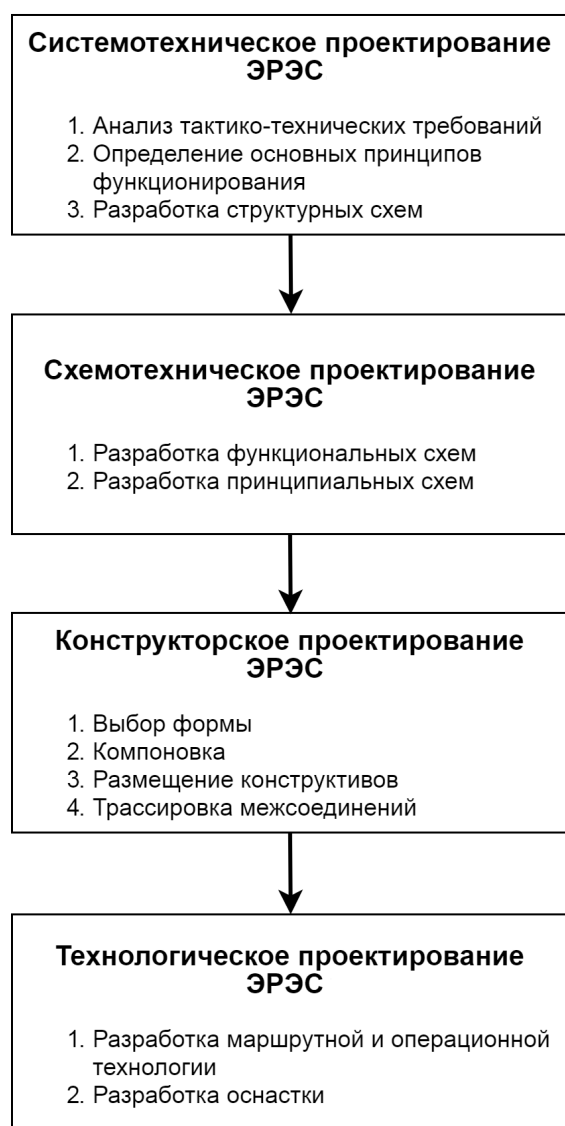


Рисунок 20 — Этапы нисходящего проектирования ЭРЭС

четом обеспечения наилучшего функционирования (и эффективного производства). При выборе элементной базы и синтезе принципиальных схем необходимо учитывать конструкторско-технологические требования.

В ходе технического проектирования (конструирования) ЭРЭС решаются задачи компоновки и размещения элементов и узлов,

В ходе системотехнического проектирования ЭРЭС выбираются и формулируются цели проектирования, обосновываются исходные данные и определяются принципы построения систем. При этом формируется структура проектируемого объекта, его составных частей (функционально завершенных блоков), определяются энергетические и информационные связи между составными частями. В результате формируются частные технические задания на проектирование отдельных составных частей объекта.

В ходе схемотехнического проектирования ЭРЭС осуществляется аппаратная реализация составных частей систем и устройств. При этом выбор элементной базы, принципиальной схемы, структурный и параметрический синтез электронных и радиоэлектронных схем (оптимизация параметров) производятся с расчетом

выполнения печатных и проводных соединений, а также задачи теплоотвода, электрической прочности, защиты от внешних воздействий и т.п. На этом этапе разрабатывается техническая документация для изготовления и эксплуатации ЭРЭС.

В ходе технологической подготовки производства осуществляется разработка технологических процессов изготовления отдельных блоков и всей системы в целом.

Нисходящее и восходящее проектирование обладают своими достоинствами и недостатками. Так, при нисходящем проектировании возможно появление требований, которые впоследствии могут оказаться нереализуемыми по технологическим, экологическим или иным соображениям. При восходящем проектировании возможно получение объекта, не соответствующего заданным требованиям. В реальной жизни вследствие итерационного характера проектирования оба его вида взаимосвязаны.

Например, разрабатывая при нисходящем проектировании смартфон (от общей схемы к его частям, например — к блоку цифровой обработки сигналов), необходимо заранее иметь представление об ассортименте современной электронной компонентной базы, т. к. есть риск начать разрабатывать в масштабе дискретных элементов то, что уже существует в готовом виде на уровне интегральной схемы. Другими словами, вместо того, чтобы разрабатывать схему электрическую принципиальную блока цифровой обработки сигналов с целью ее дальнейшего воплощения, к примеру, на дискретных SMD-компонентах, можно просто купить на рынке этот функциональный узел, реализованный уже в интегральном исполнении (ИС). При этом может потребоваться всего лишь несколько дополнительных элементов так называемой «обвязки» ИС. При этом может возникнуть проблема выбора производителя: если электронная компонентная база производится в других странах, всегда существуют риски срыва поставок вследствие разного рода причин (изменение внешней политики государства, санкции, экономическая диверсия конкурирующих производителей, ликвидация производства и т. п.).

**Формы организации проектной деятельности.** Формы организации проектной деятельности можно разделить [16]:

1) *по числу участников* на индивидуальную и коллективную;

2) *по типу организационной культуры* на традиционную, корпоративно-ремесленную, профессионально-научную и современную проектно-технологическую;

3) *по организации процесса проектной деятельности* на институциональную и неформальную форму организации трудовой коллективной деятельности (фирмы, предприятия, корпорации и т. д.).

В наше время в виду сложности проектов (особенно инновационных) и масштабности связанных с этим проектных работ индивидуальная форма организации проектной деятельности — весьма редкое явление. В процессе разработки проектировщик вынужден взаимодействовать с множеством разных специалистов, задействованных на всех стадиях жизненного цикла ЭРЭС: исследователями, схемотехниками, программистами, конструкторами, технологами, специалистами по технической эксплуатации и технической диагностике, специалистами по утилизации и т. п.

В современных экономических условиях приобретает все большее значение предпринимательская проектная деятельность, когда предприниматель, являющийся лидером проектной группы, конструирует коллективную систему разделения труда, состоящую из необходимых специалистов разных областей науки и техники, чтобы создать инновационный продукт, востребованный на рынке [38].

Одной из главных причин такой тенденции является ускорение эволюции потребностей общества. Основными преимуществами предпринимательской проектной деятельности являются быстрая реакция на появление новых потребностей общества, организационная гибкость и быстрая приспособляемость к новым условиям жизни [42]. Это те требования, которые в современных условиях не может обеспечить традиционная институциональная форма организации трудовой деятельности, т. е. классическая проектно-производственная система разделения труда. С другой стороны, предпринимательская проектная деятельность связана с повышенными рисками, вызванными принятием неверных ключевых проектных решений.

В настоящее время человечество вступает в четвертую промышленную революцию, что приведет как к изменению количественного соотношения между существующими формами организации

проектной деятельности, так и к изменению самих этих форм. В свою очередь, это станет причиной изменений структуры существующих систем разделения труда в рамках проектной деятельности. Если предыдущая, третья, промышленная революция использовала электронику и информационные технологии для автоматизации производства, то четвертая промышленная революция будет основана на широком распространении и применении киберфизических систем, наиболее известными примерами которых являются интернет вещей и интернет услуг. С лингвистической точки зрения проявление четвертой промышленной революции заключается в присоединении к названиям существующих технических процессов и средств слова «умный»: «умный» завод, «умная» логистика, «умная» мобильность, «умные» энергосистемы, «умные» продукты, «умные» дома, «умный» транспорт, «умная» инфраструктура и т. д. и т. п. [38].

**Средства проектной деятельности** делятся на следующие категории: материальные, информационные, логические, математические, языковые [16].

К *материальным средствам* проектной деятельности относятся инструменты, с помощью которых проектировщик осуществляет свою профессиональную деятельность (компьютеры, электронные графические планшеты, оргтехника и т. д.).

К *информационным средствам* проектной деятельности относятся вычислительные средства и системы автоматизированного проектирования (САПР) структурных, функциональных и принципиальных электрических схем, схем алгоритмов, процессов, математических моделей. Информационные средства позволяют проводить моделирование, вычислительные и имитационные эксперименты, а также испытания объектов проектирования, результаты которых не уступают по качеству результатам натуральных экспериментов и испытаний, что позволяет достичь в процессе проектирования значительной экономии финансовых средств, временных и материальных ресурсов.

*Логическими средствами* проектной деятельности являются мысль, воображение, теоретические и эмпирические методы-операции и методы-действия, а также результаты их использования: анализ, синтез, сравнение, абстрагирование, конкретизация, обобщение, формализация, индукция, дедукция, редукция, идеализация, аналогия, мо-

дель, понятие, определение, классификация, дихотомия, диалектика, суждение, умозаключение, объяснение; формулировка противоречия, формулировка проблемы, гипотеза, задача, цель, показатели и критерии оценки, решение, декомпозиция, агрегирование, описание условий, прогноз, план, проверка и вывод, доказательство, аргументация, оценка и рефлексия.

Также в силу коллективного характера проектной деятельности к логическим средствам этой деятельности следует отнести четыре процесса, введенных Г. П. Щедровицким в рамках своего системомыследеятельностного (СМД) подхода [43] и конституирующих методологическое мышление и платформу технологий, лежащую в основе практики организационно-деятельностных игр, на трех уровнях: чистого мышления, мыслекоммуникации и мыследействия. Это следующие процессы: проблематизация, объективация, схематизация и позиционирование. Коллективный СМД-подход за несколько десятилетий практического использования доказал свою эффективность в решении сложных системных и мегасистемных проблем [44].

К *математическим средствам* проектной деятельности относятся результаты развития математической науки: теории, методы, подходы, модели и т.п. Математические средства являются ядром информационных технологий и САПР.

К *языковым средствам* проектной деятельности относятся научные и инженерные языки, такие как схемы, стандарты, нормы, предметные области различных научных дисциплин и т.д. Специалисты, разрабатывающие ТС, должны строить свою профессиональную коммуникацию относительно объекта проектирования и описывать его с помощью стандартизированных образов и диаграмм, языка схем, символами которых являются условно-графические обозначения компонентов и элементов систем, связей между ними, а также языком графиков и зависимостей для иллюстрации процессов, протекающих в этих ТС.

*Так, языком специалистов по системотехнике и схемотехнике ЭРЭС являются условно-графические обозначения компонентов и элементов схем электрических структурных, функциональных и принципиальных, о чем будет рассказано в последующих главах учебного пособия.*

Главными требованиями к использованию языковых средств, с помощью которых проектировщик осуществляет коммуникацию с другими специалистами и реализует рефлексию, являются: точность, однозначность, четкость, логичность, полнота, последовательность, непротиворечивость.

Главными требованиями к использованию языковых средств, с помощью которых проектировщик преодолевает психологическую инерцию, осуществляет творческий этап генерации идей и проводит поиск альтернативных инновационных решений, являются: краткость, простота, образность, аналогия, метафоричность, ассоциативность, многозначность, фантастичность, необычность, нетрадиционность, нестандартность, оригинальность, логическая несовместимость, конфликтность, противоположность, противоречивость, эмоциональность, парадоксальность наименований, терминов, определений [45–47].

**Методы проектной деятельности.** По методам проектирования ЭРЭС различают алгоритмическое и эвристическое, математическое и экспериментальное проектирование, а также системный подход, рассмотренный нами ранее [2].

*Алгоритмическое проектирование* происходит по определенному алгоритму (последовательности правил) и не является творческим процессом, т. к. выполняется по точной конечной пошаговой последовательности указаний: вычисления по ранее выведенной формуле, эксперимент по установленной методике, выполнение сборочных чертежей по чертежам общих видов, детализовка по сборочным чертежам, составление спецификаций при наличии жестких ограничений, разработка операционных карт типового технологического процесса и т.д. Объем алгоритмического проектирования относительно эвристического возрастает на заключительных этапах проектирования.

*Математическое проектирование* — это проектирование, при котором синтез системы осуществляют математическими методами (формализованные методы, методы поиска вариантов решений, методы автоматизации процедур проектирования, методы оптимального проектирования). При этом совокупность исходных данных формулируют математически: составляют математическое описание условий работы системы и ограничений, которые налагаются на структуры

системы и значения ее параметров. Потом математически определяют целевые функции, т.е. зависимость частных показателей качества от структуры системы и значений ее параметров при заданных условиях. Далее математическими методами анализа и синтеза находят алгоритмы работы и параметры системы, которые отвечают выбранному критерию качества.

Математическое проектирование включает математическое моделирование, расчеты и автоматизированное проектирование (с помощью САПР). К расчетам принадлежат вычисления по заранее выведенным формулам при фиксированных значениях их параметров, при вариациях параметров для нахождения экстремума одной или нескольких переменных (линейное и нелинейное программирование). К расчетам относятся также решения уравнений.

Математическое моделирование в основном используют на системотехническом уровне. При этом исходные уравнения, которые описывают поведение системы, приводят к виду, удобному для цифровой обработки, и вводят в ЭВМ. Кроме того, вводятся ограничения и критерии качества. На выходе ЭВМ в реальном, ускоренном или замедленном масштабе времени получают результаты анализа или синтеза, в том числе и оптимизацию параметров системы. Задачи синтеза структуры сегодня решают только для радиосистем малой и средней степеней сложности. Автоматизированное проектирование так же, как и математическое моделирование, выполняется на ЭВМ и имеет с ним много общего. Различие заключается в том, что основной задачей САПР является не анализ системы, а синтез ее структуры, при этом результаты получают в виде готовой КД: чертежей, схем, таблиц, программ и т.д. Сегодня САПР используют чаще при конструировании и разработке технологии изготовления, меньше на схемотехническом уровне (в основном при разработке интегральных схем, цифровых и СВЧ-устройств) и еще реже – на системотехническом уровне. С развитием науки и техники области использования САПР будут неуклонно расширяться.

*Эвристическое проектирование* (от греч. *heurisko* — нахождение) — это проектирование, при котором алгоритм не может быть задан и работа исполнителя определяется его способностями генерировать идеи, анализировать и сравнивать аналоги, синтезировать

решения в сложных многовариантных ситуациях. Эвристическое проектирование базируется на эвристике — науке, которая изучает закономерности и методику нахождения такого решения, которое сводит к минимуму перебор возможных многочисленных решений, сокращает время поиска по сравнению с традиционными методами. Эвристический подход необходим при решении определенных типовых задач: выбор физических принципов действия системы, обоснование ее математических моделей, выбор методов математического и экспериментального исследования, выбор элементной базы при отсутствии ограничений, толкование результатов исследований и принятие окончательных решений.

Известно множество методов (см. далее п. 4.2), которые повышают эффективность эвристического поиска. Наиболее распространенные эвристические методы перечислены в таблице 5.

Таблица 5 — Наиболее распространенные методы эвристического проектирования

Эвристический метод	Назначение
Агрегирование (агрегатирование)	Создание комплексов, которые выполняют различные функции при изменении состава изделия или структуры его составных частей
Аналогия	Использование технических решений из других областей науки и техники
Идеализация	Наделение реальных объектов идеальными свойствами, с тем чтобы обнаружить существенные связи и получить возможность применения математических методов решения
Инверсия	Метод получения нового технического результата путем отказа от традиционного взгляда на задачу
Комбинирование	Получение нового качества благодаря новому сочетанию ранее известных решений
Компенсация	Уравновешивание нежелательных факторов средствами противоположного действия
Мультипликация	Повышение эффективности путем использования нескольких объектов, выполняющих одинаковые функции
Декомпозиция	Условное разделение объекта на составные части с целью упрощения рассмотрения его работы



Среди других эвристических методов выделяют: теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ), метод морфологического анализа, метод контрольных вопросов, метод мозговой атаки (штурма), синектику, функционально-стоимостной анализ, метод итераций (последовательного приближения), методы конструирования [11, 35].

Главной составляющей процесса разработки проектов новых технических объектов является творческое мышление, основанное на законах и категориях диалектики, логики и теории познания, а также на использовании достижений науки и техники.

Процесс творческого проектирования характеризуется следующими основными положениями [11]:

1) новые решения появляются в результате постепенного приближения к цели;

2) решение сложной задачи проходит обычно путь от общих положений ко все более частным;

3) нахождение правильных решений на основе известных положений должно базироваться на рассмотрении их в новом аспекте;

4) традиционные решения, принимаемые в определенной ситуации, затрудняют нахождение новых решений в случае изменения ситуации;

5) решения, эффективность которых уже была установлена, могут со временем стать тормозом, если они не соответствуют новым ситуациям.

Разработчик должен добиться, чтобы каждый из многочисленных и разнообразных показателей, интересующих заказчика (требуемые результаты), обладал двумя свойствами:

а) не выходил за пределы возможностей поставщиков, изготовителей, системы сбыта ни на одном из этапов существования изделия;

б) был увязан с тем, что ему предшествует, и с тем, что за ним следует.

*Экспериментальное проектирование* осуществляют экспериментальными методами (моделирование, планирование эксперимента, машинный эксперимент, мысленный эксперимент). Оно включает полунатурное моделирование, лабораторные исследования, полевые, ходовые и летные испытания, пробные пуски, эксплуатационные испытания. Полунатурное моделирование отличается от математического

тем, что часть звеньев включают в состав системы в виде натуральных макетов, а не моделируют на ЭВМ. Под лабораторными исследованиями понимают исследования натуральных макетов, которые проводят в лабораториях, при этом реальные источники сигналов и внешних помех заменяют имитаторами, построенными на основании математических моделей этих сигналов и помех. Отсюда следует, что полунатурное моделирование и лабораторные исследования являются не чисто экспериментальными, а экспериментально-теоретическими.

При полевых испытаниях наземную аппаратуру испытывают в полевых условиях, при этом все имитаторы сигналов и внешних помех (или их значительную часть) заменяют реальными источниками. Наибольшее приближение к натурным условиям дают ходовые испытания морской и летные испытания бортовой аппаратуры, которые проводят на специально оборудованных кораблях и самолетах. При испытаниях ракетной и космической аппаратуры полностью экспериментальными можно считать только испытания, которые проводятся во время пробных пусков и эксплуатации аппаратуры.

**Результат проектной деятельности.** Результатом проектирования является продукция-проект, т. е. целостная совокупность моделей, свойств или характеристик, описанных в форме, пригодной для реализации системы [48], комплект проектной документации на материальный технический объект (новый или усовершенствованный), выполнение работы или оказание услуги. Поэтому участников процесса проектирования разделяют на потребителей (заказчиков проектных работ) и поставщиков (исполнителей этих работ). Исполнителя-специалиста по разработке проекта обобщенно называют проектировщиком или разработчиком. Если продукция создается для собственного потребления, то возможно соединение в одном лице заказчика и исполнителя [35].

Поставщиком, как и потребителем продукции, может быть организация (юридическое лицо) или конкретный человек (физическое лицо). Работы по созданию такой продукции в соответствии с Гражданским кодексом РФ относятся к подрядным. В этой ситуации исполнитель называется подрядчиком, т. е. стороной по договору подряда, которая обязуется выполнить по заданию другой стороны (заказ-

чика) определенную работу и сдать ее результат заказчику, а заказчик обязуется принять результат работы и оплатить его. Подрядчик рассматривается как первая сторона в коммерческой деятельности. Субподрядчик — организация, представляющая продукцию поставщику.

Существует еще один участник этих работ — государство, которое создает систему мер по защите потребителя посредством контроля, лицензирования, выпуска нормативной документации.

### **3.2 Временная структура проектной деятельности**

**Фаза проектирования систем.** С позиций системного подхода любая система входит в сложную иерархию систем: для каждой системы существует более общая система — надсистема; в то же время каждая система состоит из целой совокупности систем более низкого уровня – подсистем.

Главным, системообразующим элементом любой проектируемой системы является ее цель. Как и сами системы, цели образуют сложную иерархию, о чем говорилось выше [13].

Объектом проектирования является техническая система. Проектирование обычно рассматривается в последовательных стадиях, этапах его проведения. Разными авторами их состав и структура строятся по-разному (таблица 6) [16].

Однако в выстраивании стадий и этапов фазы системо- и схемотехнического проектирования ЭРЭС мы будем использовать подход авторов [16]. Эта структура выстраивается, с одной стороны, как последовательность действий проектирования, с другой стороны, по уровням абстракции и конкретизации (сверху вниз) (таблица 7).

Таблица 6 — Стадии и этапы проектирования, выделенные разными авторами

Черняк Ю.И.	Голубков Е.П.	Федоренко Н.П.	Оптнер С.Л.	Янг С.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ проблемы</li> <li>2. Определение системы</li> <li>3. Анализ структуры системы</li> <li>4. Формирование общей цели и критерия</li> <li>5. Декомпозиция цели, выявление потребности в ресурсах и процессах</li> <li>6. Выявление ресурсов и процессов</li> <li>7. Прогноз и анализ будущих условий</li> <li>8. Оценка целей и средств</li> <li>9. Отбор вариантов</li> <li>10. Диагноз существующей системы</li> <li>11. Построение комплексной программы развития</li> <li>12. Проектирование организации для достижения целей</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Постановка задачи</li> <li>2. Исследование</li> <li>3. Анализ</li> <li>4. Предварительное суждение</li> <li>5. Подтверждение</li> <li>6. Окончательное суждение</li> <li>7. Реализация принятого решения</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Формулирование проблемы</li> <li>2. Определение целей</li> <li>3. Сбор информации</li> <li>4. Разработка максимального количества альтернатив</li> <li>5. Отбор альтернатив</li> <li>6. Построение модели в виде уравнений, программ или сценария</li> <li>7. Оценка затрат</li> <li>8. Испытание чувствительности (параметрическое исследование)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Идентификация симптомов</li> <li>2. Определение актуальности проблемы</li> <li>3. Определение целей</li> <li>4. Определение структуры системы и ее дефектов</li> <li>5. Определение возможностей</li> <li>6. Нахождение альтернатив</li> <li>7. Оценка альтернатив</li> <li>8. Выработка решения</li> <li>9. Признание решения</li> <li>10. Запуск процесса решения</li> <li>11. Управление процессом реализации решения</li> <li>12. Оценка реализации и ее последствий</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение цели организации</li> <li>2. Выявление проблемы</li> <li>3. Диагноз</li> <li>4. Поиск решения</li> <li>5. Оценка и выбор альтернатив</li> <li>6. Согласование решения</li> <li>7. Утверждение решения</li> <li>8. Подготовка к вводу в действие</li> <li>9. Управление применением решения</li> <li>10. Проверка эффективности</li> </ol>

Таблица 7 — Временная структура проектной деятельности

Фазы	Стадии	Этапы
Фаза проектирования	Концептуальная стадия	Выявление противоречия
		Формулирование проблемы
		Определение проблематики
		Определение цели
		Выбор критериев
	Стадия моделирования	Построение моделей
		Оптимизация
		Выбор (принятие решения)
	Стадия конструирования	Декомпозиция
		Агрегирование
		Исследование условий
		Построение программы
	Стадия технологической подготовки	
Технологическая фаза		
Рефлексивная фаза		

**Концептуальная стадия.** Проектирование на концептуальной стадии начинается с *этапа выявления противоречия*: что мешает в практической деятельности отдельного специалиста, или предприятия, организации, или еще более крупной экономической, социальной, культурной системе достичь высоких результатов? Или, по крайней мере, удовлетворительных результатов?

Детальный анализ наличной ситуации позволяет, как правило, выявить целый комплекс противоречий. Среди них надо выделить основное, главное звено. Оно и составляет проблемную ситуацию, то есть такую ситуацию, когда неудовлетворительное состояние дел уже осознано, но пока неясно, что следует сделать для его изменения (*этап формулирования проблемы*).

**Пример.** Не только зарубежные, но и отечественные авиакомпании предпочитали покупать не наши отечественные самолеты, в частности ТУ-154, а иностранные, в частности аналог ТУ — Боинг 737 (проблема для нашей авиационной промышленности). Наши самолеты, как минимум, в 2 раза дешевле, по надежности, комфорту не уступают Боингу. Аэродинамические качества значительно лучше — в воздухе наши самолеты редко «болтают», в отличие от зарубежных, при полете на которых то и дело раздается команда: «самолет попал в

*зону турбулентности, просим пристегнуть ремни». Были неэкономичные двигатели – их заменили на зарубежные – экономичные. Поставили импортную авионику. А самолеты все равно не покупают. Проблемная ситуация заключалась, как выяснилось, в том, что среднесуточный налет ТУ — 5 часов (остальное время — регламентные и ремонтные работы). Среднесуточный налет Боинга — 15 часов. Таким образом, гораздо более дорогой самолет за счет большего налета окупается быстрее — вот это и составляет проблемную ситуацию.*

*Этап определения проблематики.* Любой специалист — практический работник или коллектив — в социальных, экономических или иных системах, совершая какие-либо новые шаги, неизбежно затрагивает интересы других людей и организаций.

Поэтому в соответствии с принципом коммуникативности (см. выше) выделяется этап определения проблематики. Проблематика в системном анализе (см., например, [18]) рассматривается как сплетение, комплекс проблем, которые неразрывно связаны с проблемой, подлежащей разрешению. В методологии практической деятельности необходимость анализа проблематики вытекает из того, что система практической деятельности включает в себя множество подсистем и входит в другие, более общие системы — надсистемы. Решение поставленной проблемы требует учета последствий для каждой из них.

Для определения проблематики необходимо охватить весь круг участников — физических лиц и организаций:

- 1) участников, принимающих решения, то есть тех, от полномочий которых непосредственно зависит решение проблемы (руководителей учреждения, фирмы и т. д., работников ведомственных или региональных органов управления и т.д.);
- 2) активных участников, чьи действия (содействия) потребуются при решении проблемы;
- 3) пассивных по отношению к решаемой проблеме участников, на ком скажутся (положительным или отрицательным образом) последствия решения проблемы;
- 4) участников с возможным негативным отношением к решению проблемы, которые могут предпринять враждебные действия.

Каждый из участников может иметь свое видение проблемы, иметь свое отношение к ней, так как ее существование или исчезнове-

ние может привести к появлению у них их собственных проблем. Построение проблематики и состоит в определении (в том числе в описании) того, какие изменения и почему хочет (или не хочет) внести каждый из участников.

Диалектический метод предписывает рассматривать проблему всесторонне, в том числе и во времени (историческом) и в пространственном плане. Проблематика, по сути дела, — это ответ на вопрос: какие существующие обстоятельства и прошлый опыт — как положительный, так и отрицательный — заставляют именно этих участников, именно

в данной культурной среде, включающей именно данные ценности, именно в данный момент воспринимать данное состояние дел как проблему?

*Этап определения цели.* На данном важнейшем этапе на основе сформулированной проблемы и установленной проблематики определяется цель проектирования системы, т.е. *что надо сделать* для снятия проблемы. Все последующие стадии и этапы проектирования будут определять — *как это сделать*.

Основная трудность определения цели заключается в том, что, как уже говорилось выше, цель является как бы антиподом проблемы. Та или иная система создается для решения проблемы.

При формулировании проблемы определяется, что является неудовлетворительным. Это относительно просто — ведь то, что нам не нравится, существует. Когда же мы переходим к цели, то пытаемся определить, чего же нам хочется. При этом как бы указывается направление, в котором следует «уходить» от существующего и нас не устраивающего положения дел. Но таких возможных направлений много, а выбрать надо, как правило, одно — правильное, рациональное из-за ограниченности ресурсов (временных, материальных, интеллектуальных и т. д.).

Определение целей — чрезвычайно сложный и тонкий процесс. Это сочетание логики и интуиции. Д. Джонс, известный специалист по проектированию, отмечает, что в этом случае «пути сочетания интуитивного с рациональным не установлены; пожалуй, их и невозможно установить в общем виде, в отрыве от конкретной проблемы и конкретного человека, так как они зависят от того, какое количество

объективной информации имеется в распоряжении проектировщика, а также от его квалификации и опыта» [49]. И, добавим еще, от его личных склонностей и вкусов.

Ошибки в определении целей создания систем чрезвычайно часты повсеместно. Наиболее часто встречаются три их варианта:

- 1) когда цель ставится как самоцель, в отсутствии проблемы или при неопределенной, не сформулированной проблеме;
- 2) подмена цели средствами;
- 3) смешение целей. Всегда существует опасность ошибочно принять другие цели, чем на самом деле необходимо.

Такая ситуация нередко возникает, в частности, когда специалисты-профессионалы, участвующие в решении проблем, навязывают свое видение мира и тем самым подменяют главные цели своими [18].

*Так, в конце 80-х гг. прошлого века встала проблема создания отечественного персонального компьютера, причем правительство на это выделяло огромные ассигнования. Вместо того чтобы создать одну модель, совместимую с общемировой версией IBM, три союзных министерства: Минэлектронпром, Минприбор и Минрадиопром, отстаивая в конкурентной борьбе за государственные ассигнования свои ведомственные интересы, а в составе этих министерств различные заводы, отстаивая свои заводские интересы, стали выпускать целый «зоопарк» разномастных компьютеров: «Агаты», «Микроши», «Искры», «Корветы», УКНЦ и т.д. и т.п., для которых почти не было программного обеспечения.*

*В результате информатизация страны была задержана минимум на десятилетие, а отечественная электронная промышленность до сих пор не может оправиться от провала [16].*

Таким образом, необходимо очень внимательно подходить к определению целей. Так как правильно заданная цель — это половина успеха в решении проблемы.

Если цели, как правило, задаются на качественном уровне, то в некотором смысле замещением их на количественном уровне являются критерии. Поэтому следующим этапом на концептуальной стадии проектирования является выбор критериев.

*Этап выбора критериев.* Содержание вопроса перехода от целей к критериям становится ясным, если рассматривать критерии как количественные модели качественных целей. Сформированные критерии



в дальнейшем после выбора в некотором смысле замещают цели. От критериев требуется возможно большее соответствие целям, сходство с ними. Но в тоже время критерии не могут полностью совпадать с целями, поскольку они фиксируются по-разному: цели просто называются, а критерии должны быть выражены в тех или иных шкалах измерения.

Многокритериальность реальных задач связана с тем, что одну цель, как правило, не удастся выразить одним критерием. Возможны, конечно, случаи, когда единственный критерий отвечает требованиям практики. Так, надежность авиаперевозок однозначно определяется статистикой аварий и катастроф. Но в целом, случаи, когда единственный критерий удачно отображает цель, весьма редки.

Решение может состоять или в поиске более адекватного критерия, если он существует, или в использовании нескольких критериев, описывающих одну цель по-разному и дополняющих друг друга.

Зачастую критерии бывает целесообразно разнести по трем составляющим:

- цель проектируемой системы;
- средства и способы ее реализации;
- отношения системы со средой.

Причем нередко критерии могут входить в противоположные отношения.

*Например, при проектировании военной носимой электроники одной из целей является повышение ее надежности посредством многократного резервирования отдельных компонентов и узлов, но это ведет к увеличению ее стоимости и массогабаритных показателей. Последнее в свою очередь приводит к возникновению сложностей с транспортировкой носимой электроники.*

Часто многие актуальные проблемы не могут быть решены из-за отсутствия более или менее четких и достоверных критериев.

Наиболее распространенными при анализе, в частности, экономических и технических систем являются следующие критерии:

- финансовые (прибыль, стоимость и т. д.);
- объемные показатели (измеряющие количество продукта);
- технические качества: эффективность функционирования, надежность, живучесть, совместимость с уже существующими

системами, приспособляемость, гибкость, стойкость против морально-го старения, безопасность и т. д.

Такие критерии, безусловно, полезны. Но их следует рассматривать скорее как основу для конкретного поиска в каждом отдельном случае.

Отметим, что термин «оценка» используется в двух значениях — как результат «измерения» и как процесс. Процесс оценки, вкратце, заключается в следующем. Состояние системы описывается некоторыми показателями, измеряемыми в соответствующих шкалах. Эффективность функционирования системы оценивается по некоторым критериям, оценки по которым («оценка» — как результат) также измеряются в соответствующих шкалах. Процесс оценки заключается в переходе из пространства состояний системы в критериальное пространство (рисунок 21), то есть в установлении зависимости между значениями оценок по критериям и значениями показателей состояния системы. В частном случае критерии могут совпадать с показателями. Выбор критериев диктуется целями оценки, причем обычно  $m \leq n$ .

*Приведем пример из физики. В модели идеального газа состояние системы (множества молекул газа, заключенного в некоторый сосуд) характеризуется такими показателями (микропараметрами), как координаты и скорости всех молекул газа. Размерность пространства состояний очень высока ( $n \approx 10^{24}$ ). Процесс оценки, производимый в целях компактного описания рассматриваемой системы, заключается в переходе к агрегированному пространству критериев (макропараметров): давление, объем и температура ( $m = 3$ ).*

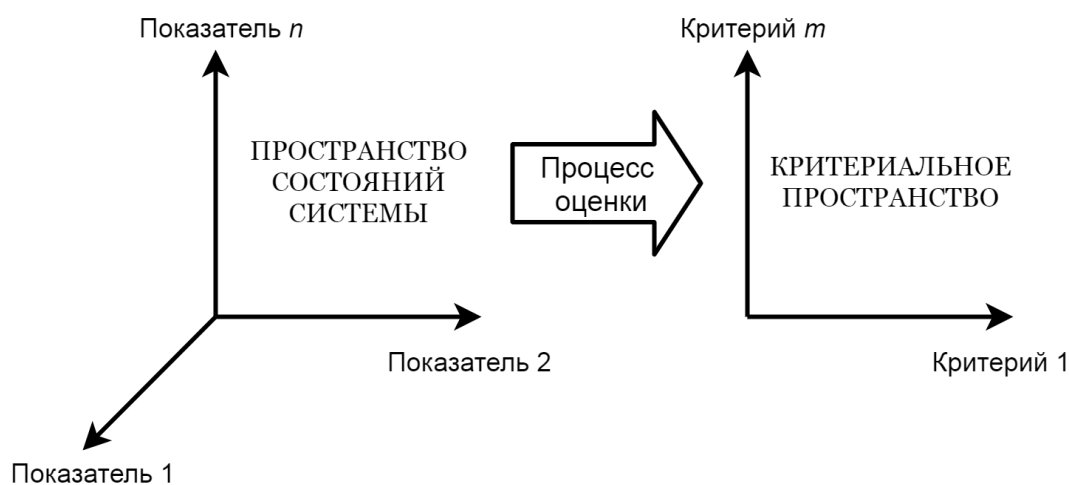


Рисунок 21 — Процесс оценки

Определением цели и критериев завершается первая, концептуальная стадия проектирования систем. Формой документа (если он необходим), где отражаются цели и критерии, является техническое задание.

**Стадия моделирования.** Следующей стадией фазы проектирования системы становится ее моделирование, заключающееся в построении, анализе и оптимизации моделей.

Модель — в широком смысле — любой образ, аналог (мысленный или условный: изображение, описание, схема, чертеж, график, план, карта и т.п.) какого-либо объекта, процесса или явления (оригинала данной модели) [50].

В нашем случае модель выступает как образ будущей системы. Как известно, модели делятся на познавательные и прагматические («практические») [18].

Прагматические модели проектируемых систем, так же как и сами системы, могут быть, естественно, на разных уровнях иерархии.

Прагматические модели являются способом организации практических действий, способом представления как бы образцово правильных действий и их результатов, то есть являются рабочим представлением, мысленным образцом будущей системы. Таким образом, прагматические модели носят нормативный характер для дальнейшей деятельности, играют роль стандарта, образца, под который «подгоняется» в дальнейшем как сама деятельность, так и ее результаты.

*Примерами прагматических моделей могут быть планы и программы действий, уставы организаций, кодексы законов, рабочие чертежи, отраслевые стандарты, экзаменационные требования и т. д.*

Стадия моделирования включает в себя этапы:

- построения моделей;
- оптимизации;
- выбора (принятия решения).

*Этап построения моделей.* Для создания моделей у человека есть всего два типа «материалов» — средства самого сознания и средства окружающего материального мира. Соответственно этому модели делятся на абстрактные (идеальные) и материальные (реальные, вещественные).

Абстрактные модели являются идеальными конструкциями, построенными средствами мышления, сознания.

Абстрактные модели являются языковыми конструкциями, которые могут формироваться и передаваться другим людям средствами разных языков, языков разных уровней специализации (естественных, профессиональных, искусственных).

В результате получается иерархия языков и соответствующая иерархия типов моделей. На верхнем уровне этого спектра находятся модели, создаваемые средствами естественного языка, и так вплоть до моделей, имеющих максимально достижимую определенность и точность для сегодняшнего состояния данной отрасли профессиональной деятельности.

Математические (в строгом смысле) модели обладают абсолютной точностью. Но чтобы дойти до их использования в какой-либо области, необходимо получить достаточный для этого объем достоверных знаний. Нематематизированность многих общественных и гуманитарных знаний не означает их ненаучности, а есть следствие познавательной сложности их предметов. В них модели строятся, как правило, с использованием средств естественного языка.

В системотехническом проектировании ЭРЭС широкое распространение получило представление ТС в виде модели «черного ящика», отражающей связи между средой и ТС (эти связи называются входами и выходами системы) при неизвестном внутреннем устройстве самой системы (рисунок 22). В общем случае у «черного ящика» несколько входов и несколько выходов. Функция, преобразующая главный вход в главный выход называется целевой функцией «черного ящика» и характеризует назначение (функцию) ТС.

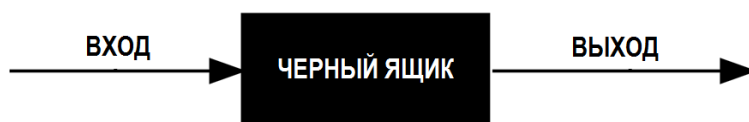


Рисунок 22 — Модель «черного ящика»  
с одним входом и одним выходом

*Функции моделирования.* Можно выделить следующие функции моделирования:

- дескриптивную;

- прогностическую;
- нормативную.

Дескриптивная функция заключается в том, что за счет абстрагирования модели позволяют достаточно просто объяснить наблюдаемые на практике явления и процессы (другими словами, они дают ответ на вопрос «почему мир устроен так»). Успешные в этом отношении модели становятся компонентами научных теорий и являются эффективным средством отражения содержания последних (поэтому познавательную функцию моделирования можно рассматривать как составляющую дескриптивной функции).

Прогностическая функция моделирования отражает возможность предсказывать будущие свойства и состояния моделируемых систем, то есть отвечать на вопрос «что будет?».

Нормативная функция моделирования заключается в получении ответа на вопрос «как должно быть?» — если, помимо состояния системы, заданы критерии оценки ее состояния, то за счет использования оптимизации возможно не только описать существующую систему, но и построить ее нормативный образ — желательный с точки зрения субъекта, интересы и предпочтения которого отражены используемыми критериями.

Нормативная функция моделирования тесно связана с решением задач управления, то есть с поиском ответа на вопрос «как добиться желаемого (состояния, свойств системы и т.д.)?».

*Требования, предъявляемые к моделям.* Для того чтобы модель соответствовала своему назначению, недостаточно создать просто модель. Необходимо, чтобы она отвечала ряду требований, обеспечивающих ее функционирование (рисунок 23). Невыполнение этих требований лишает модель ее модельных свойств.

Первым таким требованием является ее ингерентность, то есть достаточная степень согласованности создаваемой модели со средой. Создаваемая модель (в соответствии с принципом коммуникативности — см. выше) должна быть согласована с культурной средой, в которой ей предстоит функционировать, должна входить в эту среду не как чужеродный элемент, а как естественная составная часть.



Рисунок 23 — Требования, предъявляемые к моделям

Другой аспект ингерентности модели состоит в том, что в ней должны быть предусмотрены не только «стыковочные узлы» со средой (интерфейсы), но и, что не менее важно, в самой среде должны быть созданы предпосылки, обеспечивающие функционирование будущей системы. То есть не только модель должна приспособливаться к среде, но и среду необходимо приспособлять к модели будущей системы.

*Например, проблема внедрения банковских карт и банкоматов заключается не только в том, чтобы изготовить карты и повсеместно установить банкоматы, но и в том, чтобы научить и приучить население пользоваться ими.*

Второе требование — простота модели. С одной стороны, простота модели — ее неизбежное свойство: в модели невозможно зафиксировать все многообразие реальной ситуации.

С другой стороны, простота модели неизбежна из-за необходимости оперирования с ней, использования ее как рабочего инструмента, который должен быть обозрим и понятен, доступен каждому, кто будет участвовать в реализации модели.

С третьей стороны, есть еще один аспект требования простоты модели, который заключается в том, что чем проще модель, тем она ближе к моделируемой реальности и тем она удобнее для использования.

Наконец, третье требование, предъявляемое к модели — ее адекватность. Адекватность модели означает возможность с ее помощью

достичь поставленной цели проекта в соответствии со сформулированными критериями. Адекватность модели означает, что она полна, точна и истинна в той достаточной мере, которая позволяет достичь поставленной цели. Иногда удается (и это желательно) ввести некоторую меру адекватности модели, то есть определить способ сравнения разных моделей по степени успешности достижения цели с их помощью.

*Этап оптимизации.* Оптимизация заключается в том, чтобы среди множества возможных вариантов (моделей проектируемой системы) найти наилучшие в заданных условиях, при заданных ограничениях, то есть оптимальные альтернативы (рисунок 24).

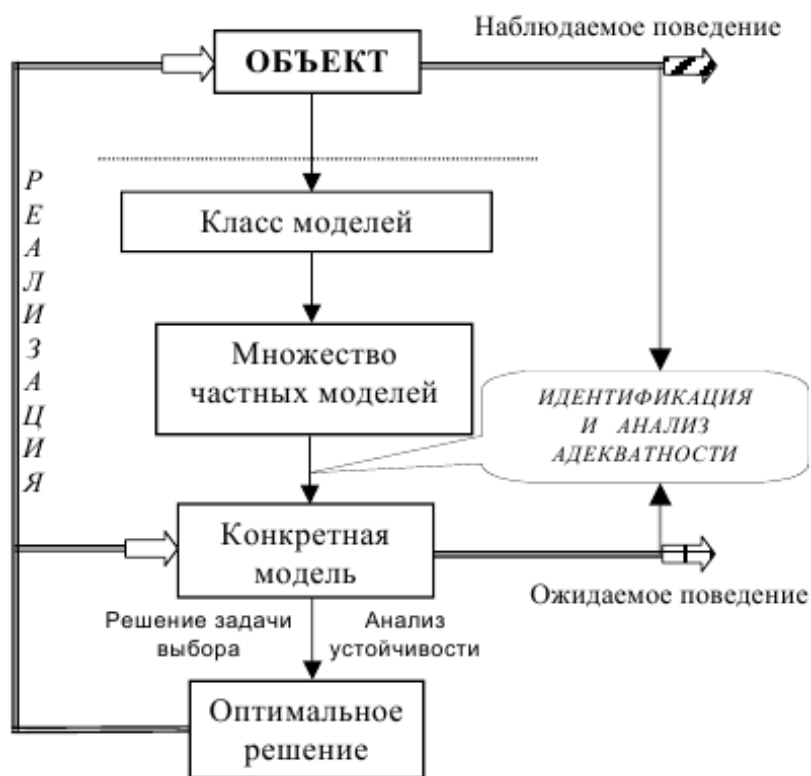


Рисунок 24 — Этапы построения и исследования математической модели

Говоря «наилучшие», мы предполагаем, что у нас имеется критерий (или ряд критериев), способ (способы) сравнения вариантов. При этом важно учесть имеющиеся условия, ограничения, так как их изменение может привести к тому, что при одном и том же критерии (критериях) наилучшими окажутся другие варианты.

Если не вдаваться в подробности оптимизации в рамках математических моделей, то интуитивно оптимизация сводится

в основном к сокращению числа альтернатив и проверке модели на устойчивость.

Пусть построена модель и найдено оптимальное в ее рамках решение. Важно при этом знать, что будет, если параметры модели «немного» отличаются от параметров реальной системы. Может получиться, что задача выбора решалась не для «той» системы. Отрицать такую возможность, естественно, нельзя. Поэтому необходимо получить ответы на следующие вопросы:

– насколько оптимальное решение чувствительно к ошибкам описания модели, то есть будут ли малые «возмущения» модели приводить к столь же малым изменениям оптимального решения (задача анализа устойчивости);

– будут ли решения, обладающие определенными свойствами в рамках модели (например, оптимальность, эффективность не ниже заданной и т. д.), обладать этими же свойствами и в реальной системе, и насколько широк класс реальных систем, в которых данное решение еще обладает этими свойствами (задача анализа адекватности).

Основная идея, используемая на сегодняшний день в математическом моделировании, заключается в следующем [16]. Применение оптимальных решений приводит к тому, что они, как правило, оказываются неоптимальными при малых вариациях параметров модели. Возможным путем преодоления этого недостатка является расширение множества «оптимальных» решений за счет включения в него так называемых приближенных решений (то есть «немного худших», чем оптимальные). Оказывается, что ослабление определения «оптимальность» позволяет, установив взаимосвязь между возможной неточностью описания модели и величиной потерь в эффективности решения, гарантировать некоторый уровень эффективности множества решений в заданном классе реальных систем, то есть расширить область применимости решений за счет использования менее эффективных из них. Иными словами, вместо рассмотрения фиксированной модели реальной системы, необходимо исследовать семейство моделей.

Таким образом, существует определенный дуализм между эффективностью решения и областью его применимости (областью его устойчивости и/или областью адекватности).



В практике же проектирования систем, так же как и во многих других областях профессиональной деятельности, не поддающихся пока «математизации», для оптимизации используются такие методы, как анализ, «проигрывание» возможных ситуаций, «мысленный эксперимент» (что произойдет, если изменяются такие-то условия? и т. д.).

Отобранные и проверенные на устойчивость и адекватность модели становятся основой для последнего, решающего этапа стадии моделирования – выбора модели для дальнейшей реализации.

*Этап выбора модели (принятия решения).* Выбор одной, единственной модели для дальнейшей реализации является последним и, пожалуй, наиболее ответственным этапом стадии моделирования, его завершением.

Выбор является действием, придающим всей деятельности целенаправленность. Именно выбор реализует подчиненность всей деятельности определенной цели.

В системном анализе выбор (принятие решения) [18] определяется как действие над множеством альтернатив, в результате которого получается подмножество выбранных альтернатив (как правило, это один вариант, одна альтернатива). При этом выбор тесно связан с оптимизацией, так как последняя есть ни что иное, как выбор оптимальной альтернативы.

Каждая ситуация выбора может разворачиваться в разных вариантах:

- оценка альтернатив для выбора может осуществляться по одному или нескольким критериям, которые в свою очередь могут иметь как количественный, так и качественный характер;
- режим выбора может быть однократным (разовым) или повторяющимся, допускающим обучение на опыте;
- последствия выбора могут быть точно известны (выбор в условиях определенности), иметь вероятностный характер (выбор в условиях риска) или иметь неопределенный исход (выбор в условиях неопределенности);
- ответственность за выбор может быть односторонней (в частном случае индивидуальной, например ответственность проектировщика) или многосторонней (например, когда за принятое решение несут

ответственность члены проектной группы). Соответственно, различают индивидуальный или групповой, многосторонний выбор;

– степень согласованности целей при многостороннем выборе может варьироваться от полного совпадения интересов сторон до их полной противоположности (выбор в конфликтной ситуации). Возможны также промежуточные случаи, например компромиссный выбор, коалиционный выбор, выбор в условиях конфликта и т.д.

Как правило, выбор рационального варианта модели проектируемой системы основывается на последовательном сокращении числа рассматриваемых вариантов за счет анализа и отбрасывания неконкурентоспособных по различным соображениям и показателям альтернатив. При выборе альтернатив следует иметь в виду, что цели проектируемой системы могут быть подразделены по их приоритетности:

- на цели, достижение которых определяет успех проекта;
- цели, которыми частично можно пожертвовать для достижения целей первого уровня;
- на цели, имеющие характер дополнения.

В любом случае выбор (принятие решения) является процессом субъективным, и лицо (лица), принимающее решение, должно нести за него ответственность. Поэтому в целях преодоления (уменьшения) влияния субъективных факторов на процесс принятия решения используются чаще всего методы экспертизы.

**Стадия конструирования систем.** Следующей стадией фазы проектирования систем является стадия конструирования, которая заключается в определении конкретных способов и средств реализации выбранной модели в рамках имеющихся условий.

*Пример.* Если проводить аналогию с техникой, то этот этап при создании, например, радиотехнической системы посадки самолета будет заключаться в том, что на основе созданной концептуальной модели проекта (задача описания «черного ящика» технической системы) начинается конструирование конкретных узлов будущей системы (т. е. определение состава и структуры «черного ящика» ТС), увязанных, согласованных между собой и в совокупности своей позволяющих в дальнейшем реализовать «в металле» концептуальную модель.

Процесс конструирования включает в себя этапы декомпозиции, агрегирования, исследования условий, построения программы [18].

*Этап декомпозиции.* Декомпозиция — это процесс разделения общей цели проектируемой системы на отдельные подцели-задачи в соответствии с выбранной моделью. В этом отношении декомпозиция аналогична процессу формулирования задач в научном исследовании: там задачи формулируются как цели решения отдельных подпроблем в соответствии с определенной общей целью исследования и построенной гипотезой. В то же время имеется и принципиальное отличие: исследователь манипулирует с объектом, предметом своего исследования один (даже при коллективной форме организации исследований у него есть, как правило, собственный предмет исследования), обладает определенной свободой выбора, свободой маневра.

Декомпозиция в иерархических системах предусматривает разделение общей цели на подцели (задачи), а те в свою очередь разделяются на подзадачи и т.д.

С точки зрения целевой функции «черного ящика» ТС его декомпозиция означает разделение на соединенные определенным образом «черные ящики» более низкого уровня, те — на «черные ящики» еще более низкого и т.д. Предел декомпозиции наступает на уровне функционально элементарных узлов ЭРЭС (усилители, фильтры, модуляторы, демодуляторы и т.д.), которые могут изменять величины отдельных параметров и преобразовывать характеристики технических процессов. Главными задачами декомпозиции целевой функции «черного ящика» ТС являются нахождение состава ТС и синтез структуры ТС, т. е. определение связей между функциональными узлами разных типов.

Декомпозиция позволяет разделить всю работу по реализации модели на пакет детальных работ, что делает возможным решение вопросов их рациональной организации, мониторинга, контроля и т.д.

Основные правила декомпозиции.

1. Как правило, реализуется два противоположных подхода:

— подход «сверху» — целевой (целенаправленный) — для определения, как конкретная задача отвечает, согласуется с общей целью проекта (в соответствии с выбранной моделью);

– подход «снизу» — морфологический — для определения конкретных возможностей реализации задачи: по ресурсному обеспечению, по временным и пространственным возможностям, по квалификации работников и т. п.

2. Число задач в индивидуальном проекте или число компонентов каждой задачи коллективного проекта не должно быть больше так называемого числа Миллера  $7 \pm 2$ . Содержание этого требования можно объяснить ограничением возможностей оперативной памяти человека, его способностью анализировать в оперативной памяти не более 5–9 составляющих и связей между ними.

3. Для каждой части проекта, соответствующей каждой задаче, определяются имеющие к ней отношение данные: продолжительность, объемы работ, необходимая информация, оборудование и т. д. и т. п.

4. По каждой задаче проводится критический анализ для подтверждения правильности и выполнимости поставленной задачи.

*Этап агрегирования.* Процесс, в определенном смысле противоположный декомпозиции, — это агрегирование (дословно — соединение частей в целое).

*Для пояснения сути агрегирования приведем такой пример. Допустим, мы задумали создать самый современный радиолокатор. Для этого возьмем самую лучшую и современную конструкцию задающего генератора, самую лучшую систему обработки сигналов, самую лучшую антенную систему, самую лучшую систему отображения информации и т.д. А в результате не то что самого современного радиолокатора, а даже просто радиолокатора не получим — эти части, пусть самые лучшие и современные, не взаимосвязаны между собой. Таким образом, агрегирование — это процесс согласования отдельных задач реализации проекта между собой.*

Основными методами агрегирования, если не брать в рассмотрение формальных математических моделей, являются определение конфигуратора и использование классификаций [18].

Конфигуратором называется минимально достаточный набор различных языков описания процесса решения проблемы. Действительно, всякое сложное явление требует разностороннего, многопланового описания, рассмотрения с различных точек зрения. Только совместное (агрегированное) описание в понятиях нескольких качественно разли-

чающихся языков позволяет охарактеризовать явление с достаточной полнотой. Это соображение приводит к понятию агрегата, состоящего из качественно различных языков описания проектируемой системы и обладающего тем свойством, что число этих языков минимально, но необходимо для заданной цели. Этот агрегат и является конфигуратором [51].

*Поясним на примере. В электронике, радиоэлектронике и радиотехнике для создания любого прибора используется конфигуратор: структурная электрическая схема, принципиальная электрическая схема, монтажная схема. Структурная схема определяется теми техническими единицами, которые выпускаются промышленностью в виде готовых электронных блоков. Прибор членится на такие единицы. Принципиальная схема означает совершенное разделение: она должна объяснить во всех подробностях функционирование этого прибора.*

*Наконец, монтажная схема является результатом разделения прибора на части в зависимости от геометрии объема прибора, в пределах которого производится сборка. Главное в конфигураторе то, что синтез, проектирование, производство и эксплуатация прибора возможны только при наличии всех трех его описаний – любые два без третьего не имеют смысла.*

Этот пример дает возможность подчеркнуть зависимость конфигулятора от поставленных целей. Например, если конечная цель не производство прибора, а его сбыт, продажа, то в конфигуратор придется включить еще и языки дизайна, рекламы, позволяющие описывать внешний вид и другие потребительские качества прибора.

Отметим, что конфигуратор является содержательной моделью высшего возможного уровня. Перечислив языки, на которых мы будем говорить о системе, мы тем самым определяем, синтезируем тип системы, фиксируем наше понимание природы системы. Как всякая модель, конфигуратор имеет целевой характер и при смене цели может утратить свойства конфигулятора.

Простейший способ агрегирования состоит в установлении отношений эквивалентности между агрегируемыми элементами, то есть в образовании классов. Классификация рассматривается как систематизация классов объектов, как средство установления связей между ними [15]. При этом класс может интерпретироваться как агрегированный представитель входящих в него элементов.

Применение классификаций в целях упорядочения задач реализации проектируемой системы (а при иерархической их структуре — задач, подзадач и т. д.) позволяет выделить задачи как равнозначные компоненты, поскольку они будут иметь общее основание классификации, сделав понятными связи между ними. Естественно, основания классификаций могут быть в каждом случае различными: по «пространственной» и временной структуре процесса реализации проекта, по составу, структуре и функциям (три основные характеристики, определяющие систему, если рассматривать каждую задачу как подсистему) и т.д.

Таким образом, когда определена и выстроена вся взаимосвязанная совокупность задач реализации проекта (можно сказать, и это будет достаточно строго, — система задач), начинается следующий этап конструирования системы – исследование условий.

*Этап исследования условий реализации модели.* Очевидно, любая модель проектируемой системы может быть реализована в практике лишь при наличии определенных условий. Полный перечень условий деятельности с их характеристиками мы приводили выше: кадровые, мотивационные, материально-технические, научно-методические, финансовые, организационные, нормативно-правовые, информационные условия (группы условий).

Необходим детальный анализ по каждой задаче (по всей системе задач) и по каждой группе условий: какие конкретные условия имеются для решения каждой конкретной задачи, какие условия необходимо выполнить, создать дополнительно.

Например, при анализе кадровых условий необходимо задаться вопросами:

– какой опыт и какая квалификация требуется от сотрудника (исполнителя) для решения данной задачи?

– хватает ли наличной квалификации сотрудника (сотрудников) для решения этой задачи или необходимо дополнительное обучение, повышение квалификации? В чем? Где? В каких объемах?

– требуется ли опыт межличностного общения для эффективного решения задачи, такой как опыт устного или письменного общения, дипломатичность, умение вести переговоры, потенциал и опыт руководителя?

– как может быть организована работа сотрудника, в частности по должностным обязанностям и штатному расписанию?

Следует отметить, что в управлении проектами процедура исследования условий обычно именуется и рассматривается как исследование ресурсных возможностей. Как известно, ресурсами называются средства, запасы, возможности, источники чего-либо [50]. При этом выделяется семь видов ресурсов:

- трудовые ресурсы;
- деньги;
- оборудование;
- техническая оснастка;
- материалы;
- информация;
- технологии.

Такое разделение процесса конструирования системы на последовательные этапы: декомпозиция, агрегирование, исследование условий, несколько условно. Процесс осуществляется как бы «последовательно-параллельно»: и выделение задач, и их агрегирование постоянно соотносятся с реальными условиями их решения, агрегирование задач вызывает зачастую необходимость пересмотра их состава и т.д.

Наконец, когда выстроена вся система задач реализации системы и исследованы условия ее реализации, приступают к последнему этапу конструирования системы — этапу построения программы реализации модели.

*Этап построения программы.* Программа реализации модели системы на практике — это конкретный план действий по реализации модели в определенных условиях и в установленные (определенные) сроки.

Построение программы начинается с операции «определения основных вех». Определение вех составляет начальную, наиболее обобщенную часть программы, которая потом развертывается в укрупненный и, наконец, в детальный план.

При определении вех используется информация о ключевых точках, состояниях, через которые будет проходить процесс реализации модели системы на практике. Вехи отмечают существенные,

определяющие дальнейший ход развития процесса точки перехода. Поэтому вехи позволяют решать проблемы контроля реализации системы, составляя набор естественных контрольных точек. При анализе выполнения работ вехи становятся эффективным средством управления (самоуправления), помогающим понять, на каком этапе находится процесс реализации проекта, оценить, достигнуты ли основные показатели состояния и сколько осталось времени, средств и конкретных работ до завершения проекта. Вехи не имеют продолжительности. Они используются в качестве дискретной шкалы, которая имеет всего две оценки — «выполнено» или «не выполнено». Так, например, при принятии решений по финансированию очередного этапа выполнения работ по договору вехи используются для оценки завершенности работ и проведения платежей.

Когда основные вехи определены, приступают к детальному планированию процесса реализации системы.

Детальное планирование — это разработка детального графика (графиков в случае сложного проекта) выполнения работ по реализации системы. Детальный график, независимо от размеров проекта и его сложности, должен включать:

- все ключевые события и даты;
- точную последовательность работ. Логика их выполнения должна быть зафиксирована с помощью сетевого графика (сетевой диаграммы). Сетевой график позволяет проследить все виды зависимостей между работами и взаимосвязь событий реализации.

График служит основой для определения этапов и прочих временных интервалов по реализации системы. Кроме того, он позволяет при необходимости определять потребности в ресурсах для каждой из частей, фрагментов или событий процесса реализации системы.

Форма представления графика, естественно, произвольна. Но она должна быть удобна для пользования, в том числе наглядна и понятна, для всех участников реализации системы. При разработке детального графика реализации системы наиболее удобным и часто используемым является метод сетевого планирования.

Разработкой детального плана-графика работ по реализации завершается стадия конструирования системы.



**Стадия технологической подготовки.** Последняя стадия фазы проектирования систем — стадия технологической подготовки процесса реализации спроектированной системы в практике. Она заключается в подготовке рабочих материалов, необходимых для реализации спроектированной системы: проектно-конструкторской и технологической документации, учебно-программной документации, методических разработок, программного обеспечения и т. д., а также, например, должностных инструкций исполнителей при реализации сложного проекта и т. п.

**Технологическая фаза проекта.** Технологическая фаза проекта заключается в практической реализации спроектированной системы. Реализуется она посредством технологий.

Традиционно технология определялась как совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых в процессе производства продукции [50]. В последние десятилетия понятие «технология» стало применяться в более широком смысле.

Технология, понимаемая в современном, более широком смысле, связана не только с техникой, но и с цивилизационными завоеваниями. Когда говорят, например, о компьютерной или информационной технологии, то имеют в виду открываемые ими новые возможности, которые они несут с собой. В этом смысле о технологии стали говорить после того, как выяснилось, что цивилизационные завоевания, достижение новых эффектов труда связаны не только с новой техникой, но и с новыми формами кооперации, организации производства и деятельности, с возможностями концентрации ресурсов, с культурой труда, с накопленным научно-техническим и культурным потенциалом, с целеустремленностью усилий общества и государства и т. д. Постепенно под технологией стали подразумевать сложную реальность, которая в функциональном отношении обеспечивает те или иные цивилизационные завоевания (то есть является механизмом новации и развития), а по существу представляет собой сферу целенаправленных усилий (политики, управления, модернизации, интеллектуального и ресурсного обеспечения и т. д.), существенно детерминируемых, однако, рядом социокультурных факторов.

Сегодня наметились два подхода к трактованию этих понятий. В первом, следующем традиции — технология рассматривается как «совокупность приемов и способов переработки различных сред». При этом подразумевается, что среды могут быть любыми, в том числе техническими, информационными, политическими и т.д.

В другом подходе, очевидно, больше соответствующем современному проектно-технологическому типу организационной культуры: «Под технологией понимается совокупность методов, операций, приемов и т.д., последовательное осуществление которых обеспечивает решение поставленной задачи» [16]. В этом определении важно то, что технологии направлены на решение определенной задачи.

Напомним, что задача — это цель (подцель), поставленная в конкретных условиях. Это принципиально новый подход к определению технологий. Таким образом, технология — это система условий, форм, методов и средств решения данной задачи.

**Рефлексивная фаза проекта.** Технологическая фаза проекта завершается реализацией спроектированной системы в практике. Теперь специалист практик (или коллектив) должен отрефлексировать — «обратиться назад»: осмыслить, сравнить, оценить исходные и конечные состояния:

- объекта своей продуктивной деятельности — итоговая оценка (самооценка результатов) реализации проекта;

- субъекта деятельности, то есть самого себя — самооценка и рефлексия.

Необходимо подчеркнуть, что выделение рефлексивной фазы несколько условно: в процессе деятельности человеку или коллективу постоянно приходится сопоставлять получаемые промежуточные результаты с исходными позициями, с предыдущими фазами, стадиями и этапами, анализировать и, соответственно, уточнять, корректировать все компоненты деятельности (осуществления проекта).

*Итоговая оценка.* Как известно, итоговая оценка рассматривается как сопоставление полученного результата с поставленной целью по заранее установленным критериям.

Содержание, структура, порядок оценки эффективности реализации проекта зависит, естественно, от самой системы, ее специфики, масштабов и т.д. Тем не менее можно сформулировать некоторые

общие группы вопросов, на которые необходимо ответить по итогам реализации проекта:

– достигнута ли цель проекта? Если нет, то почему? И какова тогда степень частичного достижения цели? Если результаты превзошли поставленную цель, то опять же — почему? И в какой степени?

– удалось ли реализовать все задачи, составляющие в совокупности поставленную цель? Какие задачи оказались нерешенными? Почему? Как были переструктурированы задачи в процессе реализации проекта для достижения поставленной цели (а это, как правило, неизбежно в ходе реализации проекта)? Какой опыт переструктурирования задач можно использовать в дальнейшем?

– к каким последствиям (как непосредственным, так и опосредованным) привела реализация проекта: социальным, экономическим, культурным, экологическим? В чем эти последствия положительны, а в чем — отрицательны (ведь, как известно, любое более или менее крупное действие имеет и положительные, и отрицательные последствия)? Каковы могут быть отдаленные последствия реализации проекта (также непосредственные и опосредованные)?

– как повлияла реализация проекта на внутреннюю среду системы? Внешнюю среду? Чьи интересы она затронула, деформировала?

– какова дальнейшая «судьба» реализованной системы? Подлежит ли она совершенствованию? В чем? Замене? Созданию в перспективе на ее основе новой системы? и т. д.;

– могут ли быть тиражированы (где? как?) полученные результаты?

– какой опыт приобрели участники при проектировании, реализации, оценке, рефлексии проекта? В чем он заключается? Как его можно использовать в дальнейшем? И так далее.

Основными методами оценки эффективности реализации проекта являются:

– самооценка. В случае коллективного проекта — коллективная самооценка, получаемая в результате обсуждений, дискуссий;

– экспертиза с привлечением независимых экспертов — специалистов со стороны, в том числе научных работников, представителей сторонних организаций, консалтинговых фирм и т. д.

Кроме того, существуют формальные методы оценки с использованием математического аппарата. Помимо экспертных оценок, в качестве «точек отсчета» при оценке эффективности реализации проекта могут выступать: первоначальные цели проекта, результаты реализации аналогичных проектов, нормативные (устанавливаемые нормативными документами) показатели.

Итоговые документы — отчеты и прочие по реализации проекта во многих случаях могут и не требоваться. Тем не менее даже в этих случаях лучше оформить отчет, пусть даже «для себя». Письменный документ позволяет систематизировать и мысли участников, и сами результаты. А если проект того заслуживает, то результаты его реализации целесообразно либо опубликовать в виде тезисов докладов, статей, либо сохранить в той или иной информационной системе, чтобы накопленный опыт и знания могли в дальнейшем использовать и другие.

*Рефлексия.* Важнейшим, но далеко не каждому специалисту известным и используемым компонентом в структуре профессиональной деятельности является рефлексия как познание и анализ человеком явлений собственного сознания и собственной деятельности (взгляд на собственную мысль и действия «со стороны»).

Термин «рефлексия» в отечественной литературе впервые начал использоваться в 30–40-х годах прошлого века. Анализируя различия в подходах к проблеме, следует отметить наличие двух традиций в трактовке рефлексивных процессов:

- рефлексивный анализ собственного сознания и деятельности;
- рефлексия как понимание смысла межличностного общения.

В связи с этим выделяются следующие рефлексивные процессы: самопонимание и понимание другого, самооценка и оценка другого, самоинтерпретация и интерпретация другого. Наиболее активное и многостороннее изучение рефлексии присутствует в первую очередь в работах, посвященных выявлению механизмов творческой деятельности, в частности механизмов творческого решения задач.

Вероятно, природа рефлексии связана с двойственной структурой человеческого сознания. Так, С. Л. Рубинштейн отмечал, что рефлексия обеспечивает человеку выход из полной поглощенности непосредственным процессом жизни для выработки соответствующего отно-

шения к ней, для суждения о ней [52]. К аналогичному заключению приходит Г. П. Щедровицкий, говоря, что новые средства и способы деятельности могут появиться у человека, если сама деятельность становится предметом специальной обработки, чтобы на нее направилась новая, вторичная деятельность, то есть должна появиться рефлексия по отношению к исходной деятельности [53]. При этом вторичная деятельность как бы «поглощает» исходную как материал.

Зинченко В. П. [54] предложена двухуровневая модель сознания, согласно которой сознание человека представлено двумя основными слоями: бытийным и рефлексивным. Бытийный, или операционно-технический, слой сознания обнаруживает себя в характерных проявлениях посредством стереотипов, автоматизмов, схематизмов. Он прагматичен и концентрируется в основном на действиях, образах, средствах, целях. В отличие от бытийного рефлексивный слой сознания представлен значениями и смыслами. В этом случае самосознающее «Я», выступая в качестве Наблюдателя и Деятеля, позволяет останавливать поток сознания, структурировать его, осознавать самого себя, свою деятельность, жизнь, бытие.

Нередко в публикациях рефлексия отождествляется с такой фундаментальной категорией кибернетики, как «обратная связь». Но, наверное, в отношении человека и социальных систем понятие рефлексии шире. Оно, естественно, поглощает в себя понятие обратной связи (является иерархией контуров обратной связи). То есть, если обратная связь позволяет системе, в том числе сложной системе, в том числе биологической, социальной системе, функционировать в заданном или самой ею установленном режиме, не меняя при этом своего состава, структуры и функций, то рефлексия дает возможность системе на основе предшествующего накопленного опыта порождать свои новые, ранее не имевшиеся у нее качества.

Рефлексивные отношения субъектов широко используются в военном деле, в теории игр (какие решения необходимо применять игроку с учетом того, что будет думать его противник о его возможных решениях) [55], в теории управления (рефлексивные стратегии — см., например, [55]), в экономике, где, в частности, Дж. Соросом разработана теория рефлексивности поведения финансистов [56] и т. д.

Для методологии проектной деятельности в первую очередь важны рефлексивные процессы первого рода, авторефлексия, т. е. рефлексивный анализ субъектом (индивидуальным или коллективным, социальным) собственного сознания и деятельности.

Общими психологическими механизмами рефлексии (движение в рефлексивном плане) являются: остановка, фиксация, отстранение, объективация, оборачивание (Н. Г. Алексеев, И. Н. Семенов, С. Ю. Степанов, А. А. Тюков и др.).

Остановка — прекращение содержательной деятельности, связанное с исчерпанием возможностей разрешения ситуации. Ситуация воспринимается как неразрешимая в данных условиях, так как прежний опыт не может обеспечить положительные результаты. Попытки решить проблему известными способами неэффективны, поэтому они прекращаются как бессмысленные.

Фиксация — анализ хода и результатов предшествующей работы и формирования суждений.

Отстранение — изучение «себя действующего» в отстраненной позиции. Реализуется способность видеть свои действия в зависимости от произвольно выбранной ситуации.

Объективация — анализ своих действий в системе существующих или возможных условий. Восстановление прошлого опыта и конструирование образа собственного будущего. Отслеживание причин и возможных последствий своих действий. Переконструирование образа ситуации.

Оборачивание — возвращение к начальной ситуации, но с новой позиции и с новыми возможностями.

Необходимо отметить, что движение в рефлексивном плане имеет циклический характер и проходит многократные итерации (повторения).

Для проведения рефлексивного анализа в соответствии с приведенной выше схемой движения в рефлексивном плане от специалиста-практика требуется целый комплекс умений:

- умение контролировать свои действия — как проективные, так и технологические;
- контролировать логику развертывания своей мысли (суждения);

- определять последовательность и иерархию этапов деятельности, опираясь на рефлексию над опытом своей прошлой деятельности через поиск ее оснований, причин, смысла;
- умение видеть в известном — неизвестное, в очевидном — неочевидное, в привычном — непривычное, то есть умение видеть противоречие, которое только и является причиной движения мысли;
- умение осуществлять диалектический подход к анализу ситуации, встать на позиции разных «наблюдателей»;
- преобразовывать объяснение наблюдаемого или анализируемого явления в зависимости от цели и условий.

При построении и реализации коллективных проектов широко применяется метод рефлексивных по своей природе организационно-деятельностных игр.

Рефлексивные процессы, естественно, постоянно пронизывают всю деятельность специалиста-практика и коллектива по проектированию и реализации систем.

## **Выводы**

1. Любая техническая система или технический объект может быть представлен описаниями, имеющими иерархическую соподчиненность. Это следующие уровни описаний (перечисляются в порядке роста степени детализации описания): потребность (назначение, функция) ТС, ТО; техническая функция; функциональная структура, физический принцип действия; техническое решение; проект.

2. Современное общество живет в проектно-технологическом типе организационной культуры, который состоит в том, что продуктивная деятельность человека (или организации) разбивается на отдельные завершённые циклы, называемые проектами. Проект рассматривается как целенаправленное создание или изменение некоторой системы, имеющее специфическую организацию и ограниченное во времени и ресурсах. В этом типе организационной культуры ключевыми являются понятия проект, технологии и рефлексия.

3. Общим руководством системного инженера для организации проектной деятельности является схема методологии, отражающая характеристики, логическую и временную структуры процесса

разработки радиоэлектронных средств. Логическая структура включает в себя следующие компоненты: субъект, объект, предмет, формы, средства, методы деятельности, ее результат.

4. Внешними по отношению к этой структуре являются характеристики деятельности: особенности, принципы, условия, нормы. Завершенность цикла деятельности (проекта) определяется тремя фазами:

– фазой проектирования, результатом которой является построенная модель создаваемой системы и план ее реализации;

– технологической фазой, результатом которой является реализация системы;

– рефлексивной фазой, результатом которой является оценка реализованной системы и определение необходимости либо ее дальнейшей коррекции, либо «запуска» нового проекта.

5. В виду специфики объектов и предметов проектной деятельности (большие размерность, масштаб, сложность, новизна) особым требованием к проектировщику технических систем является развитость системного мышления. Это свойство характеризует способность разработчика в полной мере охватывать все вопросы, касающиеся объекта проектирования не только на стадии разработки, но и на других стадиях жизненного цикла технической системы, учитывать факторы, влияющие на систему, и факторы влияния самой системы на окружающую среду. Проектировщикам, как и всем людям, свойственна психологическая инерция мышления, тормозящая выработку проектных решений. Поэтому большое внимание в системотехнике уделяется методам и технологиям активизации процессов мышления. К одним из наиболее действенных на сегодняшний день относятся теория решения изобретательских задач, методы системного анализа, контрольных вопросов, мозгового штурма, синектики, морфологического анализа.

## **Контрольные вопросы**

1. Какова классификация характеристик проектной деятельности?
2. Каковы особенности проектной деятельности?
3. Какие существуют подходы к проектированию?
4. Какие существуют принципы организации проектной деятельности?



5. Какими нормами деятельности должен руководствоваться системотехник?
6. Какие элементы профессионального роста системного инженера, связанные с опытом успешной практической работы, и необходимые условия профессионального развития системных инженеров вы знаете?
7. Что такое иерархия задач выбора проектно-конструкторских решений?
8. Какова структура проектирования?
9. Что такое нисходящее и восходящее проектирование?
10. Какие методы проектной деятельности вы знаете?
11. Как связаны потребность и техническая функция объекта проектирования?
12. Что такое физический принцип действия?
13. Какова классификация средств проектной деятельности?
14. Какова классификация методов проектной деятельности?
15. Почему в системотехнике большое внимание уделяют методам, совершенствующим мышление проектировщика?
16. Что такое психологическая инерция мышления?
17. Почему методы эвристического проектирования нельзя формализовать?
18. Какие из эвристических методов являются наиболее распространенными?
19. Что является результатом проектной деятельности?
20. Из каких элементов состоит временная структура проектной деятельности?
21. Чем отличаются наиболее известные алгоритмы системного анализа решения проблемы?
22. Какова цель уменьшения размерности модели системы?
23. Что такое «черный ящик»?
24. Каковы функции моделирования?
25. Каковы этапы построения математической модели?
26. Как соотносятся понятия декомпозиции и агрегирования?
27. К какой стадии относится этап декомпозиции системы?
28. Почему большое значение имеет рефлексная фаза проекта?

## Упражнения

1. Системотехник — это специалист, отвечающий за систему в целом. Интересы каких заинтересованных сторон он должен отстаивать в наибольшей степени? Очевидно, что заинтересованных сторон множество, и системный инженер должен учитывать интересы большинства, если не всех, заинтересованных сторон. Поэтому, отвечая на вопрос, вы должны расположить заинтересованные стороны в порядке важности для системного инженера: первая, вторая, третья.

2. Определите потребность (функцию) и техническую функцию (см. рисунок 13) для следующих ЭРЭС:

- мобильный телефон;
- телевизор;
- радиоприемник;
- фотоаппарат;
- видеокамера;
- радиолокатор;
- приемник GPS;
- дозиметр;
- радиомаяк;
- робопылесос;
- аудиоплеер;
- акустическая система;
- электронные весы;
- рация;
- автомобильная сигнализация;
- монитор компьютера;
- ноутбук;
- стиральная машина.

3. Подберите по два конкретных примера использования для каждого эвристического метода из таблицы 5.

4. Представьте, что вы работаете над проектом по разработке

- системы мобильной связи для географически отдаленного малонаселенного пункта;
- системы дистанционного управления луноходом;

– автоматизированной системы управления воздушным движением для одного из аэропортов мегаполиса. Опишите возможные проблемы, с которыми вам придется столкнуться при проектировании данных систем. В качестве вспомогательного средства используйте схему методологии проектной деятельности (см. рисунок 8).

5. Проведите исследование и выясните условия функционирования ЭРЭС, эксплуатирующихся на следующих технических средствах и объектах:

- межпланетная станция исследования космических объектов;
- радиолокационная станция морского базирования;
- система наземной связи арктического региона;
- луноход;
- марсоход Spirit;
- глубоководный беспилотный батискаф;
- военный беспилотный летательный аппарат Predator;
- истребитель СУ-30;
- пассажирский авиалайнер Boeing 747;
- беспилотный автомобиль Google;
- беспилотный грузовой космический корабль «Dragon» компании SpaceX;
- автоматический грузовой корабль «Прогресс»;
- большой адронный коллайдер (LHC);
- атомная электростанция.

Проведите сравнительный анализ условий эксплуатации данных технических средств.

6. Припомните недавнюю (после 2000 года) разработку сложной системы (коммерческой или военной), о которой что-то знаете. Опишите, какую потребность она была призвана удовлетворить и ее основные преимущества по сравнению с предшествующими системами. Кратко опишите новый концептуальный подход и/или примененные технические достижения.

7. Предположим, что вам как системотехнику поставили задачу: разработать проект некой технической системы, которая будет конкурировать с ведущими мировыми аналогами. У вас есть возможность создания своей проектной организации и выбора любых профессиональных позиций в ней (системотехник, схемотехник, про-

граммист, конструктор, дизайнер, технолог, тестировщик, PR-менеджер и т. д.). Проведите исследование существующих систем разделения труда проектных организаций в области электроники и радиотехники, разработайте систему общих требований к каждому элементу схемы методологии проектной деятельности (см. рисунок 8) и на этой основе сформулируйте перечень позиций, которые понадобятся вашей проектной организации для решения поставленной задачи. Для упрощения задачи вы можете взять в качестве целевого ориентира любую существующую ЭРЭС, удовлетворяющую условию задачи.

## Глава 4

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*... Человечество было сформировано не императорами, жрецами и полководцами, а теми, кто создал топор, колесо, самолет..., кто открыл железо, полупроводники, радиоволны.*

*Д. Гранин*

## 4.1 Положение электронных и радиоэлектронных средств в общей классификации систем.

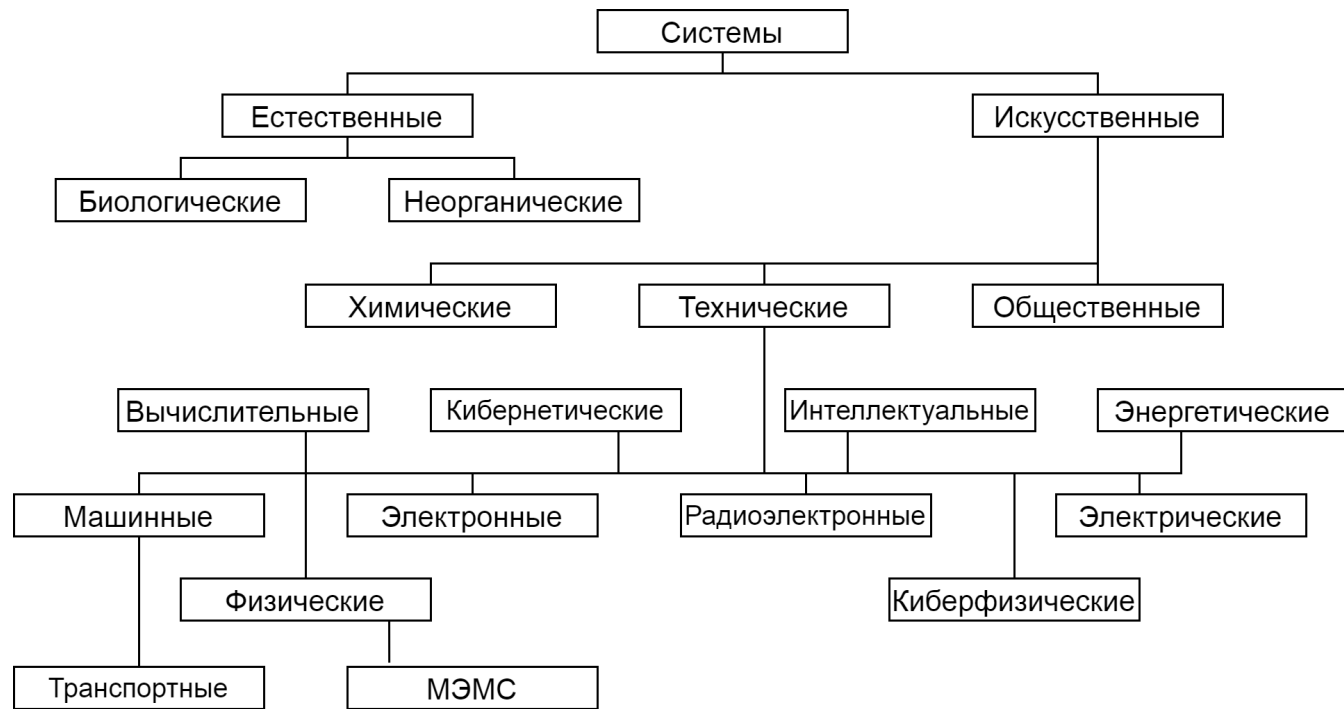
### Иерархия электронных и радиоэлектронных систем

Исходя из понятия системы, можно провести разделение систем на классы по принципу происхождения систем (рисунок 25,а) [57].

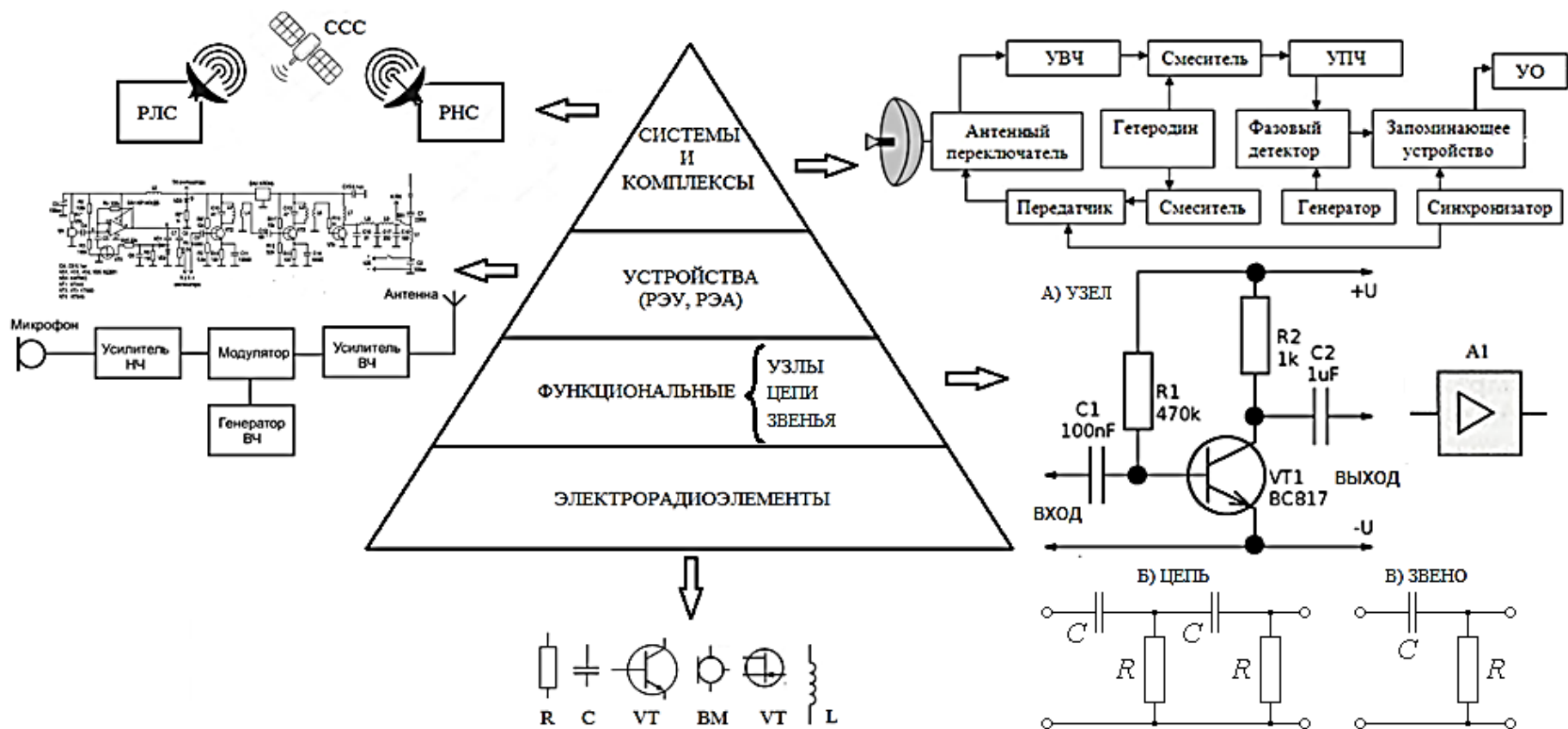
Из этой схемы понятие системы становится яснее, так как в ней отдельные элементы структуры определяются на основании общепринятой классификации областей знания.

Классы, представленные в данной схеме, соответствуют известным отраслям техники — машиностроение, электротехника, энергетика, строительство, транспорт, кибернетика и т. д. Однако такой подход не дает точного определения понятия «техническое средство», так как в соответствии со схемой его можно трактовать и как объект машиностроения, и как объект электротехники и т. д. Упорядочение систем в соответствии с принципами их действия — механическим, электрическим, гидравлическим и т. п. — также не позволяет унифицировать свойства и однозначно определить классы элементов систем, так как в настоящее время уже существуют гибридные системы. К примеру, на более высоком системном уровне существуют биотехнические (в частности, человеко-машинные) сложные системы.

ЭС и РЭС принадлежат к классу технических систем, работа которых основана на принципах электроники и радиотехники. При этом, как было сказано выше, границы классов могут пересекаться, т. к. в настоящее время ЭС и РЭС нашли широкое распространение во многих отраслях и сферах деятельности человека.



*a*



б

Рисунок 25 — Разделение систем по их происхождению (а) и иерархия электронных и радиоэлектронных систем (б)

На рисунке 25,б приведена иерархия электронных и радиоэлектронных систем, а также примеры принципиальных и структурных электрических схем средств различного уровня. Согласно системному подходу элемент каждого уровня иерархии с позиции той или иной науки можно рассматривать как систему.

*Например, такие средства, как радиолокатор, спутниковая система связи и навигации, радиопередающее и радиоприемное устройства являются системами разной степени сложности с точки зрения системотехники ЭРЭС. Функциональные узлы (усилители, генераторы, фильтры, модуляторы, детекторы, смесители, умножители, аттенюаторы и т.д.) являются системами с позиций схемотехники ЭРЭС. В свою очередь электрорадиоэлементы (транзисторы, резисторы, конденсаторы, диоды, катушки индуктивности и т.д.) как объекты, на материальном уровне реализующие физические и физико-технические принципы, эффекты и законы природы, являются системами с точки зрения таких наук, как физика, химия и материаловедение.*

Из электрорадиоэлементов на принципиальном уровне слагаются функциональные узлы, назначение которых заключается в преобразовании величин параметров технического процесса. Связанные друг с другом по определенным правилам разные функциональные узлы образуют электронные и радиоэлектронные устройства, а они — электронные/радиоэлектронные комплексы и системы. Эту иерархию можно продолжать и далее. Так, объединение функционально связанных систем уже будет называться мегасистемой или, как принято в системной инженерии, системой систем [7, 62]. Таким образом складывается иерархия электронных и радиоэлектронных систем.

## **4.2 Жизненный цикл технической системы**

**Жизненный цикл технической системы** — это последовательность стадий и этапов существования объектов искусственного происхождения от начала их создания до момента исчезновения (рисунок 26) [58].

Наиболее типичный состав стадий:

- 1) исследование и проектирование;
- 2) изготовление;



- 3) обращение;
- 4) эксплуатация;
- 5) утилизация.

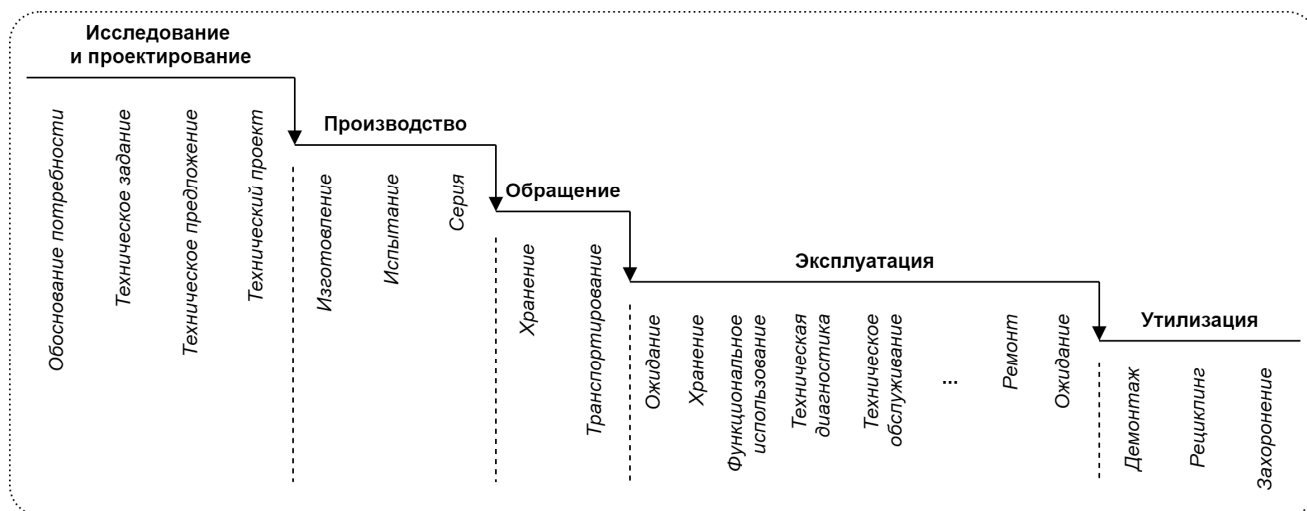


Рисунок 26 — Стадии жизненного цикла технической системы

Стадии состоят из этапов. На каждом этапе объект имеет относительно стабильный набор характеристик. Наиболее типичный состав этапов:

- 1) определение функциональных и потребительских качеств ТС, что соответствует составлению технического задания;
- 2) выбор функциональной структуры, принципа действия и технического решения, что соответствует разработке технического предложения или (и) технического проекта;
- 3) рабочее проектирование, связанное с расчетом и оптимизацией параметров ТС, выбором и разработкой технологии изготовления, составлением проектной документации;
- 4) изготовление, контроль и испытание ТС;
- 5) транспортировка и хранение ТС;
- 6) функциональное использование (использование по назначению), диагностика неисправностей и ремонт ТС;
- 7) утилизация ТС как результат ее физического или морального устаревания.

Наибольшее число задач технического творчества возникает на 1-й и 2-й стадиях; характерны такие задачи и для 4, 6, 7-й стадий.

Разные классы ТС могут иметь несколько различающиеся наборы стадий и этапов жизненного цикла.

**Вопросы участников жизненного цикла ТС.** При разработке новых ТС проектировщику необходимо учитывать информацию об этих системах от заинтересованных сторон. Для ее выявления разработчику нужно занять позицию определенной заинтересованной стороны и задать соответствующие ключевые вопросы общего характера. В случае идеальной коммуникации каждый специалист должен выдвинуть свои требования к каждому из остальных специалистов, участвующих в жизненном цикле ТС. В качестве примера приведем главные вопросы ключевых позиций.

*Позиция исследователя:*

– использование каких существующих физических принципов действия может улучшить показатели ТС?

– перспективы развития каких наук и отраслей техники помогут усовершенствовать существующую систему?

*Позиция системотехника:*

– какую систему нужно проектировать?

– нужно ли вообще проектировать данную ТС?

– какова величина спроса на ТС?

– как много экземпляров изделий ТС нужно сделать?

– окупится ли производство ТС серии заданного объема?

– существуют ли аналоги разрабатываемой системы? Если «да», то в какой форме (идея, патент, рабочий прототип, ноу-хау, серийно выпускаемый и продаваемый образец и т. д.)?

– какова должна быть максимальная себестоимость ТС?

– каким образом ТС будет влиять на окружающие объекты, пользователей и общество?

– как долго будет востребована функция данной ТС ее потребителями?

– какие дополнительные функции должна выполнять ТС? В каких случаях использования эти функции будут наиболее востребованы?

– как упростить схему электрическую структурную ТС?

*Позиция схемотехника:*

– какие существуют замечания к схеме электрической структурной?

– какие принципиальные схемотехнические решения функциональных узлов структурной электрической схемы существуют на сегодняшний день? Какие из них могут подойти для данной проектной ситуации?

– в каких условиях будет эксплуатироваться ТС?

– какие схемотехнические решения могут обеспечить требования электромагнитной совместимости электрической схемы?

– на какой элементной базе нужно реализовать ТС, чтобы обеспечить баланс между противоречивыми требованиями к себестоимости ее изготовления, массогабаритным показателям печатного узла, его надежности, технологичности и т. п.?

*Позиция программиста:*

– какие вычислительные алгоритмы и программные решения нужно использовать для обеспечения работы ТС в режиме реального времени?

– насколько эргономичным должен быть пользовательский интерфейс?

– какие могут быть замечания к выбору микропроцессоров и микроконтроллеров?

– насколько типовыми должны быть интерфейсы ТС?

– что экономически целесообразнее: использовать готовое ПО или разработать собственное?

– какие действия по поддержке программного продукта могут потребоваться на стадии эксплуатации ТС?

*Позиция конструктора:*

– насколько надежной должна быть ТС?

– насколько конструкция ТС должна быть эстетична и эргономична?

– каковы должны быть массогабаритные показатели ТС?

– как обеспечить технологичность конструкции?

– как обеспечить серийность ТС?

– какие материалы следует использовать?

– в каких условиях будет эксплуатироваться ТС?

– насколько типовой (унифицированной) должна быть конструкция ТС?

– какие могут быть замечания к схеме электрической принципиальной?

*Позиция технолога:*

– как свести время и затраты изготовления ТС к минимуму?

– как в максимальной степени автоматизировать процесс изготовления ТС?

– какие могут быть замечания к конструкции ТС?

– какие могут быть замечания к электронной компонентной базе ТС?

*Позиция специалиста по сбыту:*

– как долго ТС может храниться?

– как ТС должна транспортироваться?

– какие могут быть замечания к конструкции ТС?

*Позиция специалиста по эксплуатации:*

– требуется ли ТС обслуживание, диагностика, ремонт?

– как свести время простоя ТС в неработоспособном состоянии, время технического обслуживания и ремонта к минимуму?

– как улучшить удобство эксплуатации, технической диагностики, технического обслуживания и ремонта ТС?

– как свести к минимуму амортизационные расходы по эксплуатации ТС?

– как увеличить срок использования ТС?

– как увеличить срок активного использования ТС до первого отказа?

– какие могут быть замечания к структурной и принципиальной электрическим схемам?

– какие могут быть замечания к конструкции ТС? Что может показать опыт эксплуатации данной ТС?

*Позиция специалиста по утилизации:*

– насколько ценны компоненты, материалы и вещества, входящие в состав ТС?

– насколько опасны для окружающей среды компоненты, материалы и вещества, входящие в состав ТС?

– как в максимальной степени автоматизировать процесс утилизации ТС?

– можно ли использовать компоненты, материалы и вещества, входящие в состав ТС, повторно в производстве других технических объектов?

– как повысить долю добываемых в процессе утилизации полезных компонентов, материалов и веществ?

– как осуществить процесс доставки ТС до пункта утилизации?

– как повысить долю ТС, возвращаемых пользователями в пункт утилизации?

– как минимизировать долю ТС, невозвращаемых пользователями в пункт утилизации?

– как свести время стадии утилизации к минимуму?

– как долго будут разлагаться материалы и вещества, входящие в состав ТС и попавшие в природу? К чему это может привести с позиции окружающей среды?

– какие могут быть замечания к структурной и принципиальной электрическим схемам?

– какие могут быть замечания к конструкции ТС? Что может показать опыт утилизации данной ТС?

Кроме рассмотренного существуют и другие определения жизненного цикла ТС.

*Жизненный цикл* — это не временной период существования, а процесс последовательного изменения состояния, обусловленный видом производимых воздействий [59].

*Жизненный цикл системы* — это стадии процесса, охватывающие различные состояния системы, начиная с момента возникновения необходимости в такой системе и заканчивая ее полным выводом из эксплуатации [60]; конечный набор общих фаз и этапов, через которые система может проходить в течение своей истории жизни [61]; эволюция новой системы в виде нескольких ступеней, включающих такие важные стадии, как концепция, разработка, производство, эксплуатация и окончательное выведение из эксплуатации [62].

В стандартах системной инженерии описаны четыре основных принципа моделирования жизненного цикла, а именно:

– в течение своей жизни система развивается, проходя через определенные стадии;

– на каждой стадии жизненного цикла должны быть доступны подходящие обеспечивающие системы (англ. *enabling systems*), только в этом случае могут быть достигнуты результаты, запланированные для этой стадии;

– на определенных стадиях жизненного цикла такие атрибуты, как технологичность, удобство использования, пригодность к обслуживанию и возможность удаления отходов, должны быть специфицированы и практически реализованы;

– переход к следующей стадии возможен только при условии полного достижения результатов, запланированных для текущей стадии.

В полном жизненном цикле любой системы всегда присутствуют типовые стадии, каждая из которых имеет характерные только для нее цели и вносит свой вклад в полный жизненный цикл [63].

Модели жизненного цикла системы получили значительное распространение в последние два десятилетия. Некоторые модели развивались как дополнительные уникальные и пользовательские приложения в исследованиях. Кроме того, разработка программного обеспечения повлекла за собой формирование новых моделей разработки, которые впоследствии были приняты системным сообществом [62].

Не существует единой модели жизненного цикла, удовлетворяющей требованиям любой возможной задачи. Различные организации по стандартизации, правительственные учреждения и инженерные сообщества публикуют свои собственные модели и технологии, которые могут быть использованы для конструирования модели. Таким образом, нецелесообразно утверждать о существовании единственно возможного алгоритма построения модели жизненного цикла (таблица 8).

Таблица 8 — Типовые модели жизненного цикла технической системы

Название типовой модели	Стадии жизненного цикла ТС	Примечание
Типовая модель жизненного цикла по стандарту ISO/IEC 15288	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Замысел.</li> <li>2. Разработка.</li> <li>3. Производство.</li> <li>4. Применение.</li> <li>5. Поддержка применения.</li> <li>6. Прекращение применения и списание</li> </ol>	<p>В 2002 году Международная организация по стандартизации и Международная электротехническая комиссия выпустили результат многолетней работы — стандарт ISO/IEC 15288:2002 (см. русскоязычный аналог ГОСТ Р ИСО МЭК 15288-2005). Согласно стандарту процессы и действия жизненного цикла определяются, соответствующим образом настраиваются и используются в течение стадии жизненного цикла для полного удовлетворения целей и результатов на этой стадии. В различных стадиях жизненного цикла могут принимать участие разные организации. Не существует единой универсальной модели жизненных циклов систем. Те или иные стадии жизненного цикла могут отсутствовать или присутствовать в зависимости от каждого конкретного случая разработки системы</p>
Типовая модель жизненного цикла по версии Мини- стерства обороны (МО) США	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ.</li> <li>2. Разработка технологии.</li> <li>3. Инженерная и производственная разработка.</li> <li>4. Производство и развертывание.</li> <li>5. Функционирование и поддержка</li> </ol>	<p>Для управления рисками в области применения передовых технологий и сведения к минимуму дорогостоящих технических или управленческих ошибок МО США разработало руководство, содержащее все необходимые принципы разработки систем. Эти принципы вошли в специальный перечень директив — DoD 5000</p>
Типовая модель жизненного цикла системы Националь- ного общества	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Концепция.</li> <li>2. Техническая реализация.</li> <li>3. Разработка.</li> </ol>	<p>Данная модель адаптирована для развития коммерческих систем и в основном направлена на развитие новых продуктов, обычно являющихся результатом технического прогресса. Модель NSPE представляет собой альтернативный взгляд на модель</p>

<p>профессиональных инженеров (NSPE)</p>	<p>4. Коммерческая валидация и подготовка производства. 5. Полномасштабное производство. 6. Поддержка конечного продукта</p>	<p>версии МО США. Жизненный цикл по модели NSPE разбивается на шесть стадий</p>
<p>Типовая модель жизненного цикла продукции согласно руководящему документу Р 50-605-80-93</p>	<p>Для промышленной продукции <i>гражданского назначения</i> предложены следующие стадии: 1. Исследование и проектирование. 2. Изготовление. 3. Обращение и реализация. 4. Эксплуатация или потребление</p>	<p>В руководящем документе Р 50-605-80-93 тщательно проработан жизненный цикл промышленного изделия, в том числе военной техники. В рамках жизненного цикла промышленной продукции гражданского назначения предложено рассматривать 73 вида работ и 23 типа стейкхолдеров («участников работ» по терминологии документа)</p>
	<p>Для промышленной продукции <i>военного назначения</i> предложены следующие стадии: 1. Исследование и обоснование разработки. 2. Разработка. 3. Производство. 4. Эксплуатация. 5. Капитальный ремонт</p>	<p>В рамках жизненного цикла промышленной продукции военного назначения предложено рассматривать 25 видов работ и 7 типов стейкхолдеров (участников работ)</p>



**Автоматизация жизненного цикла технических систем.** Реализация процессов проектирования и производства современных ЭРЭС невозможна без использования информационных технологий, а сами процессы не могут рассматриваться отдельно друг от друга и других этапов ЖЦ продукции: маркетинга, планирования, проектирования, производства, а также при реализации, эксплуатации и утилизации РЭС. Только широкое использование информационных технологий и реализующих их информационных систем, которое называется CALS-технологии, позволяет предприятиям выйти на качественно новый уровень управления и производства (рисунок 27) [13].

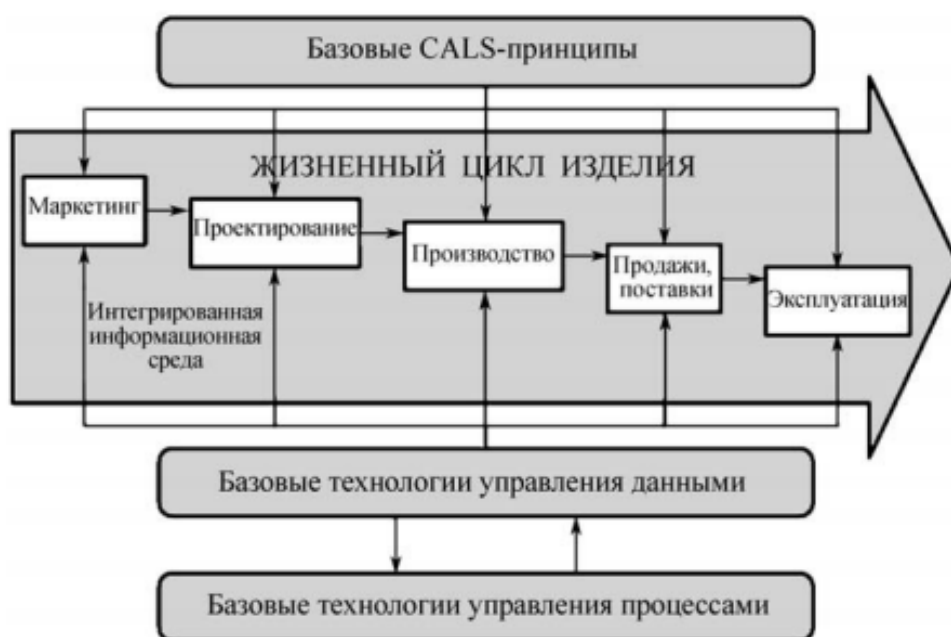


Рисунок 27 — Концептуальная модель CALS

CALS-технологии (Continuous Acquisition and Lifecycle Support — непрерывная поддержка производства и жизненного цикла) призваны служить средством, интегрирующим промышленные автоматизированные системы в единую многофункциональную систему. Цель интеграции автоматизированных систем проектирования и управления заключается в повышении эффективности создания и использования сложной техники и выражается в следующем [8]:

1) улучшается качество изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений;

2) сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление изделий;

3) значительно снижаются затраты на эксплуатацию благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки, облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т.п.

Основные стадии ЖЦ промышленных изделий представлены на рисунке 28, взятом из [64]. На рисунке указаны основные типы автоматизированных систем, используемых в ЖЦ изделий:

CAE — Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ);

CAD — Computer Aided Design (автоматизированное конструкторское проектирование);

CAM — Computer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства);

PDM — Product Data Management (управление проектными данными);

EKP — Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);

MRP-2 — Manufacturing Requirement Planning (планирование производства);

MES — Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);

SCM — Supply Channel Management (управление последовательностью поставок);

CRM — Customer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками);

SCADA — Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);

CNC — Computer Numerical Control (компьютерное числовое управление);

S&SM — Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием);

CPC — Collaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес).

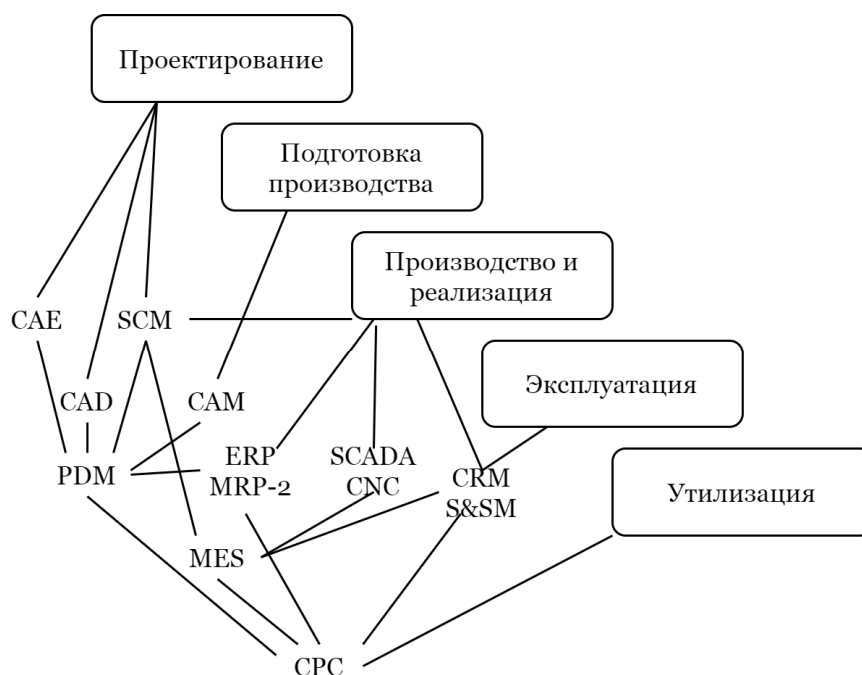


Рисунок 28 — Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

Итак, CALS-технологии — это технологии комплексной компьютеризации сфер промышленного производства, причем комплектность обеспечивается унификацией и стандартизацией описания состава (спецификаций) промышленных изделий на всех этапах их ЖЦ. Основные спецификации представлены проектной, технологической, производственной, маркетинговой, эксплуатационной документацией. В CALS-системах предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте.

В 1990-х годах разработан и к настоящему времени принят ряд серий международных стандартов, представляющих CALS-технологии, среди которых наиболее значимы стандарты ISO 10303 STEP (Standart of Exchange of Product data). В контрактах, заключаемых на поставку зарубежным заказчикам военной техники, требования к изделиям и документации на них, как правило, формулируются с позиций международных CALS-стандартов и военных стандартов DoD (с префиксом MIL). Успех на рынках сложной технической продукции немислим вне CALS-технологий. В связи с возникшими практическими потребностями рядом комиссий и комитетов в рамках международных организаций были начаты работы по созданию информационных технологий

взаимодействия предприятий и выражающих их международных стандартов. Например, в Международной организации стандартизации (International Standard Organisation — ISO) этими вопросами занимается подкомитет SC4 комитета TC184. В SC4 имеется несколько рабочих групп, занимающихся конкретными сериями стандартов. В настоящее время в ведущих индустриальных странах мира созданы национальные органы, координирующие работу в области CALS-технологий. В России в рамках Госстандарта создан технический комитет № 431 «CALS-технологии».

Главная задача создания и внедрения CALS-технологий — обеспечение единообразных описания и интерпретации данных независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. Поэтому развитие CALS-технологий стимулирует образование виртуальных производств, при которых процесс создания документации с информацией для программно-управляемого технологического оборудования, достаточной для изготовления изделия, может быть распределен во времени и пространстве между многими организационно-автономными проектными организациями. Кроме того, одна и та же конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства.

CALS-технологии не отвергают существующие автоматизированные системы проектирования и управления, а являются средством их эффективного взаимодействия. Поэтому интеграция автоматизированных систем на современных предприятиях должна быть основана на CALS-технологиях. Их внедрение требует модернизации существующих технологий под CALS-стандарты, решения концептуальных проблем управления сложностью проектов и интеграции программного обеспечения, включая вопросы декомпозиции проектов, распараллеливания проектных работ, целостности данных, межпрограммных интерфейсов и т. д.

## **Жизненный цикл технической системы и креативные методы проектировщика.**

Креативные методы — это эвристические творческие методы, облегчающие поиск оригинальных решений проектных задач.

Креативные методы предназначены для активизации творческого, инновационного мышления проектировщика и устранения психологических барьеров, возникающих у него в процессе разработки новых или модернизации существующих ТС.

Креативные методы условно можно разделить на две большие группы:

- 1) дивергентные и конвергентные;
- 2) индивидуальные и групповые.

Дивергентные методы помогают вырабатывать множество оригинальных решений, для которых характерны: *беглость* — генерирование множества ответов или идей, *гибкость* — изменение формы предоставления информации или изменение самой информации, смещение точек зрения, *оригинальность* — создание необычных или новых идей, и *проработка, нюансировка* — детализация идей. Конвергентные творческие методы качественно отличаются от дивергентных методов тем, что с их помощью проектировщик пытается определить одно или несколько оптимальных решений из более широкого набора доступных для данной проблемы. Для второй группы некоторые творческие методы в первую очередь подходят для отдельных лиц, тогда как другие творческие методы в первую очередь подходят для проектных групп и команд. Кроме того, существуют дополнительные методы, которые традиционно не относятся к категории творческих, однако они являются весьма важными инструментами мышления в арсенале проектировщика. Поэтому они вынесены в отдельную группу (таблица 9).

Рекомендации по использованию креативных методов в анализе процессов жизненного цикла ТС приведены в таблице 10.

Таблица 9 — Креативные методы мышления проектировщика [65]

Креативные методы	Индивидуальные	Групповые
Дивергентные (генерация множества альтернатив)	Латеральное мышление (Де Боно) Разрешение противоречий (ТРИЗ, Г. Альтшуллер) Биомимикрия Визуальные (концептуальная карта (Д. Новак); концептуальный «вентилятор» (Де Боно); интеллект-карта, ментальная карта (Т. Бьюзан))	Мозговой штурм (А. Осборн) Шесть шляп мышления (Де Боно) SWOT-анализ (А. Хамфри) SCAMPER-анализ (А. Осборн) Фокус-группы (Р. Мертон)
Конвергентные (выбор альтернатив и принятие решений)	PMI-анализ (Де Боно) Морфологический анализ (Ф. Цвики) Анализ дерева решений (Д. Маги) Анализ ценностей / Инженерия ценностей (Л. Майлз) Парето-анализ (В. Парето)	Метод Дельфи (Н. Далки и О. Хелмер из Rand Corporation) SAST-анализ (Ч. Черчмен, Р. Мейсон, И. Митрофф) Диаграмма причин и следствий (К. Исикава) Анализ модели Кано (Н. Кано) Групповые решения – теоретический контекст Групповые решения – практические методы (неформальный, формальный и количественный (многокритериальное принятие решений) подходы)
Другие	Карта процессов Девять экранов (Г. Альтшуллер) Технологическое прогнозирование / технофорсайт (с использованием ТРИЗ-методологии) Матричный анализ структуры проекта Анализ последствий режима отказа (Failure Mode Effect Analysis, FMEA) Анализ корневой причины (Root cause analysis, RCA) Диверсионный анализ (Упреждающее определение отказов, Г. Альтшуллер) Анализ и разрешение конфликтов	

Таблица 10 — Использование креативных методов в анализе процессов ЖЦ ТС [65]

Процессы жизненного цикла	Рекомендуемые креативные методы																												
	Латеральное мышление	Разрешение противоречий	Биомимикрия	Концептуальная карта	Концептуальный вентилятор	Интеллект-карта	Мозговой штурм	Шесть шляп мышления	SWOT-анализ	SCAMPER-анализ	Фокус-группы	PMI-анализ	Морфологический анализ	Дерево решений	Анализ / инженерия ценностей	Парето-анализ	Метод Дельфи	SAST-анализ	Анализ причин и следствий	Анализ модели Кано	Групповые решения: теория	Групповые решения: практика	Карта процессов	Девятнадцать экранов	Технологическое прогнозирование	Матричный анализ структуры проекта	FMEA-анализ	Диверсионный анализ	Анализ и разрешение конфликтов
Приобретение изделия		X		X	X		X			X																			
Поставка изделия		X		X	X		X			X																			
Управление моделью жизненного цикла изделия						X	X							X		X						X		X					
Управление инфраструктурой						X	X			X								X								X			
Управление портфолио	X					X	X								X	X		X							X				X
Управление человеческими ресурсами					X								X	X										X					X
Управление качеством			X			X			X									X					X						
Управление знаниями	X				X			X	X					X												X			
Планирование проекта				X								X		X			X								X		X		
Оценка проекта и управление проектом		X									X					X			X	X									X
Управление принятием решений								X	X			X							X			X							





### 4.3 Уровни готовности технологии

Уровни готовности технологий (technology readiness levels (TRL)) — это западноевропейский метод классификации степени зрелости инновационной концепции или системы в процессе ее разработки и приобретения. Метод базируется на оценочной шкале от 1 до 9: первый уровень означает зарождающуюся технологию, девятый уровень — самую зрелую.

TRL был впервые разработан в 1970-х годах Стэном Сэдиным из NASA. Сегодня метод TRL широко используется международным инженерным сообществом.

Главной целью использования TRL является помощь в управлении принятием решений, касающихся разработки и передачи технологий. Метод следует рассматривать как один из нескольких инструментов, необходимых для управления процессами исследования и разработки внутри проектной организации (таблица 11) [65].

Главные достоинства метода:

- обеспечение общего понимания технологического статуса разработки;
- управление рисками;
- помощь в принятии решений о финансировании разработки технологии;
- помощь в принятии решений о трансфере технологии.

Ограничения применимости метода:

- готовность не обязательно соответствует целесообразности или технологической зрелости;
- необходимо учитывать множество факторов, в том числе актуальность операционной среды продуктов для имеющейся системы, а также несоответствие архитектуры продукта и системы.

Таблица 11 — Определение уровней технологической готовности

TRL	Определение	Описание системы на физическом уровне	Описание системы на программном уровне	Описание результата
1	Открыты фундаментальные принципы	Получены научные знания, лежащие в основе концепций (приложений) аппаратных технологий	Научные знания обеспечивают фундаментальные свойства архитектуры программного обеспечения и математического формализма	Рецензируемая публикация исследования, лежащая в основе предлагаемой концепции (приложения)
2	Разработаны концепция технологии и (или) область ее использования	Начинается процесс изобретения, определено практическое применение, но на уровне гипотезы. Отсутствуют подтверждающие гипотезу экспериментальные доказательства или подробный системный анализ	Определено практическое применение, но оно является предположительным, нет экспериментальных доказательств или подробного анализа, подтверждающего это предположение. Определены основные свойства алгоритмов, представлений и концепций. Формализованы основные принципы. Проведен вычислительный или имитационный эксперимент	Документированное описание концепции, касающееся ее осуществимости и потенциальных преимуществ
3	Аналитическое и экспериментальное подтверждение концепции	Аналитические исследования помещают технологию в соответствующий контекст, а лабораторные демонстрации, моделирование и симуляция подтверждают аналитические прогнозы	Разработка ограниченной функциональности для проверки критических свойств и прогнозов с использованием неинтегрированных программных компонентов	Документированные аналитические и экспериментальные результаты, подтверждающие прогнозы основных параметров

TRL	Определение	Описание системы на физическом уровне	Описание системы на программном уровне	Описание результата
4	Проверка компонентов и (или) макетов в лабораторных условиях	Макет системы (компонентов) с низким уровнем точности создается и используется для демонстрации основных функций и оценки влияния среды, а связанные с этим прогнозы производительности определяются относительно конечных условий эксплуатации	Ключевые, функционально важные программные компоненты интегрированы и функционально проверены с целью установки функциональной совместимости и запуска разработки архитектуры. Определены соответствующие условия эксплуатации и прогнозируется производительность системы в этих условиях	Задokumentированные результаты испытаний, демонстрирующие согласие с аналитическими прогнозами. Задokumentированное определение соответствующих условий эксплуатации
5	Проверка действия компонентов и (или) макетов в соответствующих условиях	Создана система (компоненты) средней точности и эксплуатируется для демонстрации общей производительности в смоделированных условиях эксплуатации с реалистичными элементами, которые демонстрируют общую производительность в критических областях. Прогнозы производительности сделаны для последующих этапов разработки	Внедрение сквозных программных элементов и сопряжение с существующими системами (симуляциями) в соответствии с целевыми условиями эксплуатации. Комплексная программная система, протестированная в определенной среде, соответствует прогнозируемой производительности. Спрогнозированы характеристики условий эксплуатации. Разработаны реальные прототипы	Задokumentированные результаты испытаний, демонстрирующие согласие с аналитическими прогнозами. Документированное определение разномасштабных требований

TRL	Определение	Описание системы на физическом уровне	Описание системы на программном уровне	Описание результата
6	Модель системы (подсистем) или демонстрация прототипа в условиях эксплуатации	Высокоточный прототип системы (компонентов), который адекватно решает все критические задачи, построен и испытан в соответствующей среде для демонстрации работы в критических условиях эксплуатации	Прототипные реализации программного обеспечения продемонстрированы в решении натуральных реалистичных задач. Частичная интеграция с существующими аппаратными (программными) системами. Доступна ограниченная документация. Полностью продемонстрирована техническая осуществимость	Задokumentированные результаты испытаний, демонстрирующие согласие с аналитическими прогнозами
7	Демонстрация прототипа системы в условиях эксплуатации	Инженерная разработка высокой точности, которая адекватно решает все критические проблемы масштабирования, создается и работает в соответствующей среде, чтобы продемонстрировать производительность в реальной операционной среде и на определенной платформе (наземная, бортовая или космическая)	Существует прототип программного обеспечения, в котором все ключевые функции доступны для демонстрации и тестирования. Хорошо интегрирован с действующими аппаратными (программными системами). Демонстрирует операционную осуществимость. Большинство программных ошибок устранено. Доступна ограниченная документация	Задokumentированные результаты испытаний, демонстрирующие согласие с аналитическими прогнозами

TRL	Определение	Описание системы на физическом уровне	Описание системы на программном уровне	Описание результата
8	Реальная система завершена и прошла демонстрационные испытания	Конечный продукт в его окончательной конфигурации успешно демонстрируется посредством испытаний и анализа для предполагаемых условий эксплуатации и платформы (наземной, воздушной или космической)	Все программное обеспечение было тщательно отлажено и полностью интегрировано со всеми действующими аппаратными и программными системами. Подготовлена вся пользовательская документация, учебная документация и документация по техническому обслуживанию. Вся функциональность успешно продемонстрирована в смоделированных сценариях эксплуатации. Верификация и валидация системы завершены	Задokumentированные результаты испытаний, подтверждающие аналитические прогнозы
9	Функционирование реальной системы подтверждено успешным выполнением миссии	Конечный продукт успешно эксплуатируется в реальной миссии	Все программное обеспечение тщательно отлажено и полностью интегрировано со всеми действующими аппаратными (программными) системами. Разработан полный комплект проектной документации. Имеется постоянная инженерная поддержка программного обеспечения. Система успешно эксплуатируется в операционной среде	Документированные результаты работы системы

## 4.4 Законы и закономерности развития техники

Если мы сравним телефон тридцатилетней давности с современными мобильными телефонами, то придем к выводу, что последние — это уже не просто телефоны, т. к. в них на сегодняшний день в среднем объединяются функции более тридцати (!) других разнородных технических средств: телефона, фотоаппарата, радио, видеокамеры, телевизора, компьютера, будильника, электронной книги, часов, таймера, секундомера, фонарика, проектора, музыкального плеера, диктофона, интернет-маршрутизатора или роутера, электронного блокнота, электронного планировщика событий, ежедневника, игровой приставки, зарядного устройства или аккумулятора и т. д. и т. п. В свою очередь принтер объединился со сканером и ксероксом в многофункциональное устройство (МФУ) [46]. Измеритель пульса, шагомер, аудиоплеер и смартфон объединились с наручными часами и превратились в smart watch и т. д.

Все шире во всех областях человеческой деятельности используются лазерные инструменты вместо инструментов механических: лазерные скальпели, лазерные измерительные инструменты, лазерные принтеры, лазерные 3D-сканеры, лазерные прицелы, лазерные указки и т. д. Механические кнопки в сотовых телефонах заменяются на сенсорные. Механические компьютерные мыши практически исчезли, остались только оптические, причем все чаще используются беспроводные. Странно, что в системных блоках компьютеров все еще используются механические вентиляторы для охлаждения и винчестеры с вращающимися дисками. Но уже наметилась тенденция и к их устранению. Вероятно, должны получить широкое распространение клавиатуры без механических клавиш, компьютерные мышки без механических кнопок. Уже созданы работающие виртуальные клавиатуры, в которых вообще нет никаких деталей. С помощью небольшого проектора изображение клавиш проецируется на поверхность стола.

Характеристики многих ТС, таких как компьютер, возрастают с огромной скоростью. Это происходит благодаря сокращению времени разработки, сокращению эксплуатационного периода ТС и повышению требований к свойствам систем. Значительно медленнее развиваются автомобильный транспорт, авиация. В то же время существуют

ТС, которые остаются неизменными в течение многих десятков и сотен лет. Практически не совершенствуются многие простые объекты, такие как нож, вилка, ложка, стакан, пила, молоток и так далее.

Почему так различаются темпы развития различных технических систем? Почему в нашей жизни появляются именно такие технические средства? Можно ли предсказать их появление? Где пределы развития ЭРЭС? Сейчас важно понимать процессы, происходящие в мире техники, а также роль человека в этих процессах. Насколько закономерно развитие техники, в какой степени личность изобретателя может повлиять на ход развития (рисунок 29)? Прежде всего ответы на эти вопросы необходимы инженерам, занимающимся созданием новых технических объектов и систем.

Строение и развитие каждого ТО и техники в целом подчиняются определенным законам и закономерностям, которые указывают на устойчивые качественные и количественные причинно-следственные связи и отношения, имеющие место у класса ТО и техники в целом, а также на изменение во времени этих связей и отношений. Законы и закономерности по характеру и определенности описания объектов и явлений техники близки к законам и закономерностям, известным в биологии, физике и химии. Таким образом, можно утверждать, что законы техники формулируются на уровне законов природы [23].

Закономерности строения и развития техники имеют отношения к ТО с одинаковой или близкими функциями, тогда как законы техники имеют отношение к любому ТО или ко многим классам ТО, имеющим различные (сильно отличающиеся) функции.

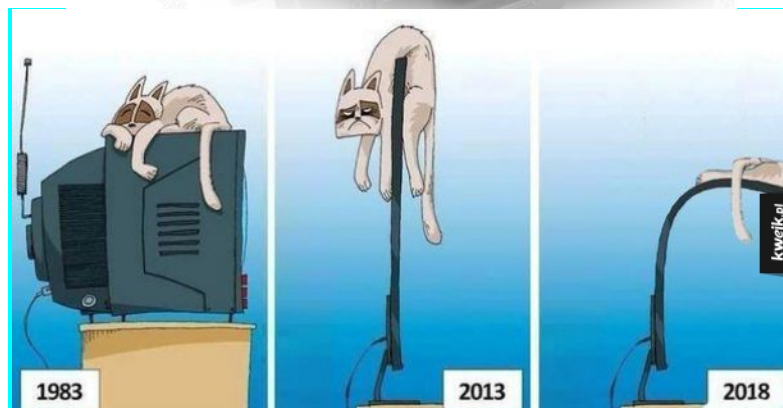
К законам и закономерностям строения ТО будем относить устойчивые признаки в конструктивной и потоковой функциональной структуре, в физической структуре (ФПД) и технических решениях, которые существуют и остаются неизменными на протяжении многих поколений в историческом развитии ТО.

К законам и закономерностям развития техники будем относить определенные устойчивые изменения какого-либо критерия развития (показателя качества) или какого-либо количественно выражаемого конструктивного признака на протяжении многих поколений ТО. Кроме того, должны иметь место законы развития, которые для многих классов ТО с различными функциями отражают одинаковые

(аналогичные) изменения в конструктивной и потоковой функциональной структурах, в физической структуре и техническом решении.



*a*



*б*

Рисунок 29 — Генеалогические линии развития ЭРЭС:  
*a* — эволюция мобильных телефонов; *б* — эволюция телевизоров



Техника развивается в тесном взаимодействии с общественным развитием и экосферой, вследствие чего наблюдаются значительное взаимопроникновение и взаимовлияние законов развития общества, природы и техники. Развитие последней во многом зависит от потребностей общества и влияет на состояние природы [66].

В общем виде система законов техники имеет уровни потребностей, функций и систем (таблица 12).

Таблица 12 — Законы развития систем

Уровни законов	Законы развития систем
Потребности	Законы развития (эволюции) потребностей
Функции	Законы изменения функций
Системы	Законы развития систем

*Эволюция потребностей* определяется законами непрерывного возрастания потребностей людей и законом лени (минимизации усилий).

*Закон непрерывного возрастания потребностей людей и неугасимого любопытства*, который выражается в том, что после удовлетворения очередной потребности у каждого человека появляется новое желание, причем получить не только больше, но и лучше. Желание не дает довольствоваться уже достигнутым и заставляет совершенствовать окружающие нас объекты и, как следствие, совершенствоваться нам самим (больше трудиться, обучаться чему-то новому, размышлять). Стоит отметить, что тенденция в развитии потребностей указывает на переход от удовлетворения физиологических потребностей к эмоционально-психологическим, которым и следует уделять больше внимания при создании объектов с высокими потребительскими свойствами.

Закон действует в условиях, когда физические и иные возможности человека (но не интеллектуальные) ограничены, и чем сложнее обстоятельства, тем эффективнее результат.

*Закон лени (минимизации усилий)*. Человек всегда стремился к минимизации усилий на обслуживание своих потребностей (физических усилий, работы органов чувств, мыслительной деятельности и т. д.). Эта своеобразная «лень» так стимулирует человека, что

заставляет его напрягать все свои усилия и прежде всего интеллектуальные для создания устройств, облегчающих, а в идеале и исключаящих его собственный труд. Поэтому, как только у человека возникает какая-либо потребность, он будет искать пути ее удовлетворения наиболее простым способом, а связанные с этой потребностью устройства будут совершенствоваться до их полной автоматизации либо максимально простого обслуживания (обычно стадийно, в соответствии с законом стадийного развития).

Закономерности развития функций связаны с закономерностями развития потребностей, но имеют свою специфику. Например, переход систем к многофункциональности (универсальности) или, наоборот, к однофункциональности (специализации).

Законы развития ТС можно разделить на две группы (рисунок 30): законы организации систем, определяющие жизнеспособность системы, и законы эволюции систем, определяющие развитие ТС.



Рисунок 30 — Законы развития систем

Проектирование как деятельность, направленная на создание реальных предметов, основывается на объективных законах природы. И качество создаваемых объектов зависит от степени познания и следования этим законам. С другой стороны участие в проектировании человека вызывает потребность в знании законов наук, изучающих мышление человека, принципы его деятельности.

Уже с давних времен обращали внимание на непредсказуемость и индивидуальность результатов творческого труда, возможность появления как выдающихся изделий, так и явно неудачных. Это есть следствие неспособности человека охватить всю решаемую задачу целиком, во всех ее подробностях, учесть все параметры, внутренние

и внешние связи. Велика роль и субъективных факторов, таких как личный опыт, знания, настроение, особенности характера [35].

По этим причинам всегда представлял большой интерес поиск закономерностей, которые управляют процессом проектирования, и стремление максимально формализовать его (однако познание алгоритмов творческого труда превратит деятельность человека в нетворческую, что обеднит его как личность или, что опаснее, приведет к интеллектуальной деградации). В работах Г. С. Альтшуллера и А. И. Половинкина приведены результаты исследований и поисков в этом направлении.

В настоящее время известен 21 закон развития ТС [11, 23, 35, 45–47, 65].

Остановимся на основных законах.

1. *Закон энергетической проводимости ТС*: необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является сквозной проход энергии и информации по всем ее частям. Следствием из закона является следующее утверждение: чтобы часть ТС была управляемой, необходимо обеспечить энергетическую проводимость между этой частью и органами управления.

2. *Закон увеличения степени идеальности ТС*: развитие ТС идет в направлении увеличения степени ее идеальности. В ТРИЗ этот закон выражается в формулировке идеального конечного результата (ИКР), когда ТС отсутствует, а ее функция выполняется. Другими словами, идеальной ТС называется такая система, у которой массогабаритные и энергетические характеристики равны нулю (т.е. система не существует), а ее функция выполняется.

3. *Закон стадийного развития ТС*, который говорит о том, что совершенствование ТС идет в направлении их полной автоматизации и независимости от человека. Применительно к ЭРЭС их развитие одновременно с уменьшением энергопотребления и увеличением энергетической эффективности включает рост энергонезависимости, энергоавтономности, когда ЭРЭС начинают аккумулировать электрическую энергию из окружающей среды. Кроме того, в ЭРЭС вводятся функции автоматического управления, т.е. изменения режимов работы, и саморегулирования в пределах, заданных программой. Дополнительное выполнение ТС функций планирования, т. е. саморегулирования в

непредвиденных условиях, анализа ситуации и выбора режима функционирования. В настоящее время, когда начинается четвертая промышленная революция, этот закон начинает обретать массовый характер, когда, как говорилось выше, практически все ТС, функционирующие на принципах электроники и радиоэлектроники, становятся «умными».

4. *Закон корреляции параметров однородного ряда ТО.* К однородному ряду относятся такие ТО, которые имеют одинаковые функцию, структуру, условия работы (в смысле взаимодействия с окружающей средой) и отличаются только значениями главного параметра. Главным параметром в ТО называют такой параметр, который характеризует его главный функциональный элемент и от которого зависят значения остальных параметров.

5. *Закон гомологических рядов:* гипотеза о законе гомологических рядов в технике была сформулирована по аналогии с законом гомологических рядов И.И. Вавилова, относящихся к живой природе. Суть биологического закона заключается в том, что у близких видов, принадлежащих одному роду, имеет место удивительный параллелизм одинаковых признаков. Вавилов дал следующую формулировку закона: «Виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных форм и для других видов и родов. Чем ближе генетически расположены в общей системе роды и виды, тем полнее сходство в рядах их изменчивости. Целые семейства характеризуются определенным циклом изменчивости, проходящей через все роды и виды, составляющие семейство».

Для перенесения закона гомологических рядов в технику необходимо было определить факторы, которые играют роль генотипа, т. е. как генотип в живой природе определяет видовые, родовые и другие признаки, так и в технике необходимо выделить факторы, обуславливающие характерные признаки ТО. К таким факторам относятся компоненты описания функции, принципа действия и условий работы технического объекта, каждая из которых оказывает существенное влияние на техническое решение (структуру) ТО.

Гипотеза о законе гомологических рядов ТО имеет следующую формулировку: *ТО с близкими функциями, принципами действия и характеристиками условий работы имеют частично совпадающие наборы варьируемых конструктивных признаков  $P_1, \dots, P_k$ , принимающих одинаковые значения  $a_1, a_2, \dots, a_j$ , где  $j=1, \dots, k$ .*

Число совпадающих наборов признаков  $k$  будет тем больше, чем больше совпадающих компонентов описания функций, принципов действия и условий работы. При этом имеют место корреляционные связи между определенными компонентами и признаками.

6. *Закон расширения множества потребностей-функций.* Этот закон имеет отношение к развитию техники в целом, а не отдельной фирме, отрасли или стране. Уже давно известен закон возвышения потребностей, который сформулирован на качественном уровне. Предлагаемая формулировка закона основывается на предшествующих работах и относится только к потребностям, реализуемым с помощью ТО.

При наличии необходимого потенциала и социально-экономической целесообразности возникшая новая потребность удовлетворяется с помощью впервые созданных технических средств (технических объектов); при этом возникает новая функция, которая затем существует как угодно долго, пока ее реализация будет обеспечивать сохранение и улучшение жизни людей. Число таких качественно и количественно различающихся потребностей-функций, относящихся к техносфере, со временем монотонно и ускоренно возрастает по экспоненциальному закону

$$P_i = P_0 e^{at},$$

где  $P_0$  — число потребностей-функций до момента  $t = 0$ ;  $a$  — эмпирический коэффициент;  $t$  — время в годах.

Важной величиной, которая также сильно изменяется со временем, является эволюция спроса на техническую систему. Для простоты анализа будем полагать, что производство технической системы всегда соответствует спросу на нее. Упрощенная сглаженная кривая увеличения и уменьшения спроса с течением времени показана на рисунке 31.

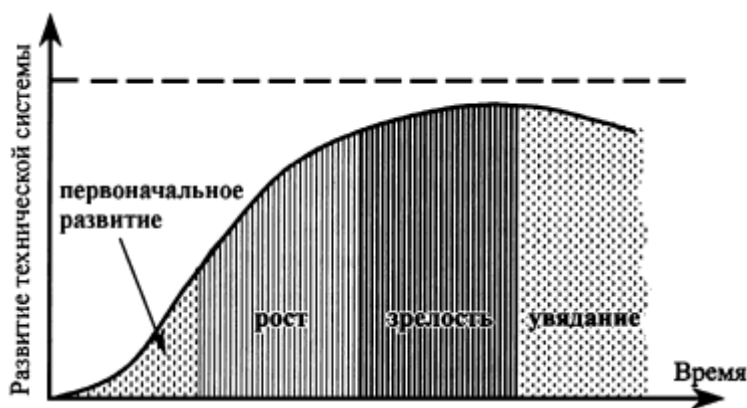


Рисунок 31 — Кривая развития ТС

Спрос на ТС, даже после разработки новых более эффективных систем, не всегда падает до нуля, о чем свидетельствует ниспадающий участок кривой (увядание) (см. рисунок 31). Морально устаревшее оборудование будет использоваться некоторое время и в дальнейшем, хотя в сокращающемся масштабе.

7. *Закон прогрессивной эволюции техники.* Действие закона прогрессивной эволюции в мире техники аналогично действию закона естественного отбора Ч. Дарвина в живой природе. Он отвечает на вопросы, почему происходит переход от предшествующего поколения ТО к следующему улучшенному поколению; при каких условиях, когда и какие структурные изменения происходят при переходе от поколения к поколению. Закон прогрессивной эволюции техники имеет следующую формулировку:

*в техническом объекте с одинаковой функцией переход от поколения к поколению вызван устранением выявленного главного дефекта (дефектов), связанного, как правило, с улучшением критериев развития, и происходит при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности следующими наиболее вероятными путями иерархического исчерпания возможностей конструкции:*

*а) при неизменном физическом принципе действия и техническом решении улучшаются параметры ТО до приближения к глобальному экстремуму по значениям параметров;*

*б) после исчерпания возможностей цикла (а) происходит переход к более рациональному техническому решению (структуре) (б), после чего развитие опять идет по циклу (а). Циклы (а) и (б) повторяются*

до приближения к глобальному экстремуму по структуре для данного принципа действия. При этом значения критериев развития  $K$ , как правило, изменяются в соответствии с функцией вида

$$K = \frac{L}{a + e^{be^{-\beta t}}};$$

в) после исчерпания возможностей циклов (а) и (б) происходит переход к более рациональному физическому принципу действия (в), после чего развитие опять идет по циклам (а) и (б). Циклы (а)–(в) повторяются до приближения к глобальному экстремуму по принципу действия для множества известных физических эффектов.

При этом в каждом случае перехода от поколения к поколению в соответствии с частными закономерностями происходят изменения конструкции, корреляционно связанные с характером дефекта у предшествующего поколения, а из всех возможных изменений конструкции реализуется в первую очередь то, которое дает необходимое или существенное устранение дефекта при минимальных интеллектуальных и производственных затратах.

В формуле для  $K$  приняты следующие обозначения:  $L$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $\beta$  — коэффициенты, определяемые по статистическим данным;  $t$  — время. График функции  $K$ , называемой  $S$ -функцией, показан на рисунке 32.

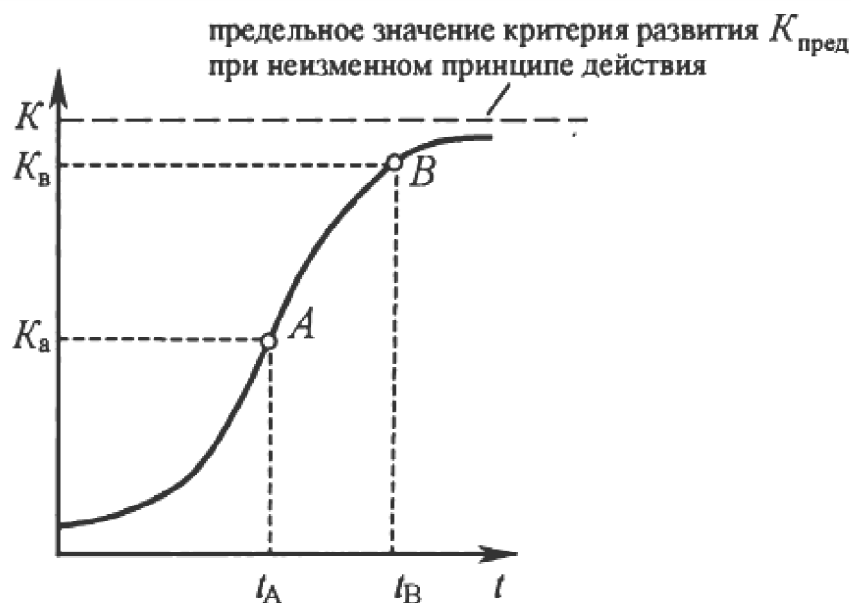


Рисунок 32 — Кривая  $S$ -функции

Используемое в формулировке закона понятие «научно-технический уровень» имеет отношение к стране или региону и определенному моменту времени. Понятие включает используемые ТО, технологии, источники энергии, материалы и вещества, информацию об используемых в прошлые времена, а также о новых (пока не реализованных) ТО, технологиях, источниках энергии, материалах и веществах; информацию о физико-технических эффектах, которые используются или могут быть использованы в технике и т. п.

Социально-экономическая целесообразность создания и использования технических объектов указывает на то, что, во-первых, их изготовление и практическое использование экономически возможно и выгодно, во-вторых, не ухудшает антропологических критериев развития техники.

Таким образом, суть закона состоит в том, что в ТО с одинаковой функцией каждый переход от поколения к поколению вызван устранением возникшего главного дефекта (дефектов), связанного с улучшением какого-либо критерия (показателя) развития при наличии определенных технико-экономических условий. Если же рассматривать все переходы от поколения к поколению, т.е. всю историю конструктивной эволюции определенного класса техники, то можно наблюдать следующие закономерности иерархического исчерпания возможностей конструкторско-технологических решений на трех уровнях (рисунок 33).

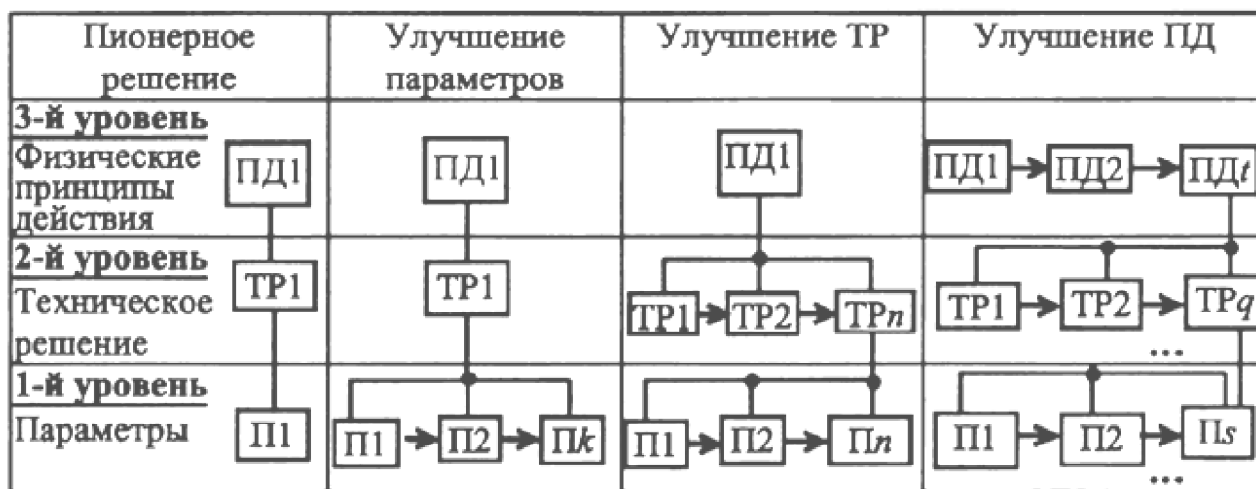


Рисунок 33 — Иерархическое исчерпание возможностей конструкторско-технологических решений



Сначала на 1-м уровне улучшаются параметры используемого технического решения (ТР). Когда изменение параметров мало что дает, изменения осуществляют на 2-м уровне путем перехода к более эффективному техническому решению без изменения физического принципа действия (ПД). Затем, при исчерпании параметров, переходят на новое, более прогрессивное ТР. Указанные циклы на 1-м–2-м уровнях происходят до тех пор, пока в рамках используемого ПД уже не находят новых ТР, обеспечивающих улучшение интересующих показателей. После этого наступает революционное изменение на 3-м уровне — переход на новый, более прогрессивный принцип действия и т. д. При этом в каждом случае перехода от поколения к поколению действуют весьма определенные частные закономерности изменения конструкций, которые с большой вероятностью конкретизируют направление и характер изменения ТО в следующем поколении.

Надо иметь в виду, что в законе прогрессивной эволюции иерархическое исчерпание конструкции не действует формально: «Пока не будут достигнуты глобально оптимальные параметры, не может произойти переход к новому ТР, или пока не будут исчерпаны возможности наилучшего ТО (в рамках определенного ПД), не может произойти переход к новому принципу действия». Закономерность иерархического исчерпания конструкции действует при соблюдении следующего условия: если при наличии необходимого научно-технического потенциала переход к новому техническому решению или принципу действия обеспечивает получение дополнительной эффективности, существенно превышающей дополнительные интеллектуальные и производственные затраты на его реализацию, *то может произойти скачок к новому техническому решению или принципу действия без исчерпания возможностей предыдущего технического решения или принципа действия.*

Для некоторых классов ТО в будущем, по-видимому, станут более частыми случаи указанных скачков к новым техническим решениям или принципу действия без исчерпания возможностей предыдущих. Этому способствует создание мощных САПР, включающих подсистемы поискового конструирования с выбором глобально оптимальных решений. При этом циклы  $(a)$ ;  $(a)-(b)$ ;  $(a)-(b)-(v)$  будут происходить в основном с использованием компьютерных технологий,

а автоматизированные системы научных исследований и гибкие автоматизированные производства позволяют без чрезмерных затрат производить доводку и изготовление нового поколения ТО, значительно отличающегося от предыдущего. В этих случаях, можно сказать, закон будет использоваться для ускорения развития техники.

Прогнозирование с помощью  $S$ -функции позволяет установить, насколько недоиспользованы возможности применяемого принципа действия. Если эти возможности имеют значительные резервы (точка А на рисунке 32), то на основе прогнозирования можно сформулировать реальное задание на улучшение интересующих главных показателей. Если же прогноз покажет, что возможности принципа действия практически исчерпаны (точка В на рисунке 32), то будет сделан обоснованный вывод о необходимости перехода на новый физический принцип действия. В связи с этим возникает задание на поиск и разработку более перспективного принципа действия.

Закон прогрессивной эволюции представляется полезным использовать на начальных стадиях проектирования новых поколений ТО при выполнении работ по анализу и осмысливанию истории техники, прогнозированию развития техники.

8. *Закон соответствия между функцией и структурой.* Суть закона заключается в том, что в правильно спроектированном ТО каждый компонент от сложных узлов до простых элементов, каждый его конструктивный признак имеют вполне определенную функцию (назначение) по обеспечению работы ТО. И если лишить такой ТО какого-либо элемента или признака, то он либо перестанет работать (выполнять свою функцию), либо ухудшит показатели своей работы. В связи с этим у правильно спроектированных ТО нет «лишних деталей».

Эта суть соответствия между функцией и структурой лежит в основе всей познавательной деятельности, связанной с анализом и изучением существующих ТО и всей проектно-конструкторской деятельности по созданию новых ТО. Закон соответствия между функцией и структурой ТО имеет следующую формулировку: *каждый элемент технического объекта или его конструктивный признак имеют хотя бы одну функцию по обеспечению реализации функции ТО, т.е. исклю-*

*чение элемента или признака приводит к ухудшению какого-либо показателя ТО или прекращению выполнения им своей функции.*

Жизнеспособными оказываются те конструктивные решения, у которых форма технического объекта подчинена его внутреннему содержанию и содействует реализации предъявляемых к нему требований.

Совокупность всех таких соответствий в ТО представляет собой функциональную структуру в виде ориентированного графа, который отражает системную целостность ТО и соответствие между его функцией и структурой (конструкцией). Выражение закона соответствия между функцией и структурой в количественной форме обеспечивает, во-первых, формализованное описание функций элементов через компоненты  $D$  (действие, производимое рассматриваемым ТО и приводящее к желаемому результату, т. е. к удовлетворению интересующей потребности),  $G$  (указание объекта, на который направлено действие  $D$ ),  $H$  (указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие  $D$ ), которые могут иметь также количественные характеристики, во-вторых, представление функциональной структуры ТО в виде ориентированного графа, у которого вершинами являются элементы ТО, а ребрами могут быть функции элементов по обеспечению работы других элементов или (и) потоки вещества, энергии или информации, передаваемые между элементами [23].

На основе закона соответствия между функцией и структурой разработаны методики построения функциональных структур конкретных ТО. Эти методики используются в различных подходах и методах проектирования. Данный закон имеет несколько практически важных следствий — закономерностей, отражающих обобщенные функциональные структуры широких классов ТО.

На основе данного закона выделяют закономерность *многозначного соответствия между функцией и структурой*, которую можно назвать свойством функционально-структурной инвариантности ТС, когда *любая функция и соответственно функциональная структура могут иметь множество структур (конструкций), реализующих эту функцию. И, наоборот, у многих ТС и их элементов могут быть выбраны такие структуры, которые будут выполнять более одной функции.*

Если в первом случае многообразие конструкторско-технологических решений представляется одной функциональной структурой, то во втором случае это многообразие представлено множеством функциональных структур. Эта важная закономерность лежит в основе многих методов и подходов поиска новых конструкторско-технологических решений на основе закона соответствия между функцией и структурой.

**Тенденции технического развития.** Для определения тенденций развития техники следует исходить из того, какие цели стремится достичь общество.

Философия и социология, которые занимаются изучением проблем развития общества, обычно абстрактны для людей, связанных с созданием техники. Однако в настоящее время ответственность инженеров за развитие общества подобна ответственности врачей за здоровье людей, так что решение общественных проблем нельзя больше предоставлять только политикам, философам и социологам. Существует ряд неоспоримых целей общества, очевидных большинству людей. Не рассматривая вопрос о приоритетности этих целей, приведем наиболее значительные из них [57]:

- а) исключение голода;
- б) исключение войн;
- в) избавление от болезней и увеличение продолжительности активной жизни людей;
- г) борьба с преступностью;
- д) повышение благосостояния людей;
- е) повышение уровня образования;
- ж) сокращение доли физического труда;
- з) сокращение рабочего времени;
- и) повышение комфорта в жизнедеятельности людей.

Вопрос состоит в том, насколько эти целевые установки могут содействовать счастью и удовлетворенности людей. Некоторые предлагают полностью отказаться от техники, другие выступают за ее бесконтрольное развитие. Независимо от высказываемых крайних мнений наука и техника будут развиваться. Важно, чтобы они развивались на благо людей. Для того чтобы люди могли правильно управлять развитием техники, необходимо знать, в каком направлении оно должно

происходить и каким образом оно должно регулироваться. Каждый инженер (разработчик, проектировщик, системотехник) должен понимать значение своей деятельности и всегда сопоставлять свою задачу с интересами общества.

Тенденции развития техники часто формулируются на уровне определенных свойств ТО. Признанными тенденциями развития являются снижение материало- и энергоемкости изготовления и эксплуатации ТО, автоматизация, компьютеризация, цифровизация, интеллектуализация, использование новых принципов работы и прогрессивных способов производства.

Автоматизация — это передача функций управления и контроля от человека машине. Интеллектуализация, цифровизация и компьютеризация означает расширение использования средств искусственного интеллекта для решения технических задач. Анализ этих тенденций показывает, что они непосредственно влияют на снижение доли физического и умственного труда, а также сокращение рабочего времени; связь с другими целями общества проявляется косвенно.

Связь тенденций развития техники с целями общества станет яснее, если обозначить важнейшие отрасли техники, которые определяют технический уровень развития:

- а) информатика, электроника и вычислительная техника;
- б) ракетно-космическая техника;
- в) атомная энергетика;
- г) транспорт и связь;
- д) охрана окружающей среды;
- е) медицинская техника;
- ж) исследования новых пространств (включая космические, морские, океанические).

Достижения в этих областях должны повышать благосостояние людей и охранять их здоровье, удовлетворять их потребности и делать жизнь более полной.

## 4.4 Программные системы

Развитие информационных технологий (ИТ) — основной элемент явления, которое многие называют «информационной революцией» и которое до неузнаваемости меняет облик современной промышленности, торговли, финансов, образования, развлечений — в общем, самого образа жизни. В основе этих выдающихся достижений лежит возможность использования информационных технологий для автоматизации решения задач, раньше выполнявшихся людьми, а также для осуществления более сложных операций, чем было возможно до этого, — и притом быстрее и намного точнее. Мало того что эти возможности вызвали к жизни целое семейство новых сложных программно-управляемых систем, они еще и встраиваются во все виды транспортных средств, бытовых приборов и даже в детские игрушки.

Термины «программная инженерия» и «инженерия программных систем» — не синонимы. Первый относится к разработке и поставке программных продуктов, автономных или встроенных, а второй — к использованию определенных принципов применительно к программной инженерии как отрасли знания.

Необходимо рассмотреть, как программная инженерия соотносится с системами, т.е. как программное обеспечение используется для реализации требований, функциональных возможностей и поведения более крупной системы.

В программном обеспечении выделяют три основных компонента [7, 62]:

- *команды*: «компьютерная программа», или просто «код», состоит из списка команд, выполняемых различными аппаратными платформами для предоставления полезных функций и операций. Команды различаются по уровню детальности, синтаксису и языку;

- *структуры данных*: наряду с набором команд имеются определения структур данных, которые должны содержать информацию, подлежащую обработке и преобразованию посредством команд;

- *документация*: программное обеспечение включает обязательную документацию, в которой описывается, как оно работает и как им пользоваться.

В совокупности три этих компонента и называются «программным обеспечением» (ПО). Программная система — это программное обеспечение (в определенном выше смысле), которое к тому же удовлетворяет определению системы.

**Преодоление сложности и абстрактности.** Одно из наиболее существенных различий между разработкой ПО и разработкой оборудования заключается в абстрактной природе ПО. Поскольку выполнение многих критических функций в современных ТС зависит от ПО, будет уместно уделить внимание уникальным проблемам разработки программных компонентов сложных систем [7].

Один из возможных взглядов на программную инженерию состоит в том, что программный инженер — это просто еще один инженер-проектировщик, отвечающий за часть функциональных возможностей системы. После того как произведена привязка функций к ПО, программному инженеру поручают реализовать функции и поведение посредством программного кода. Играя такую роль, программный инженер работает вместе со своими коллегами в инженерных подразделениях и занимается разработкой подсистем и компонентов, только его инструментом является программный код, а не физические устройства и детали. На рисунке 34 показана принятая IEEE<sup>4</sup>-сообществом схема процесса инженерии программных систем, на которой этот взгляд представлен в виде традиционной V-образной диаграммы.

После того как выделена подсистема, которую предполагается реализовывать программно (или программно-аппаратно), начинается подпроцесс формирования требований к ПО, архитектурного и детального проектирования. Прежде чем программные компоненты будут включены в систему, должны быть выполнены действия, относящиеся к программной и системной инженерии.

К сожалению, такой взгляд поощряет «независимость» групп разработки системы и ПО. Складывается впечатление, будто после завершения проектирования инженеры по оборудованию и по программному обеспечению приступают к своим собственным частям

---

<sup>4</sup> IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers (Институт инженеров электротехники и электроники).

разработки. Однако природа ПО такова, что стратегию его разработки необходимо определить на ранних стадиях, а именно на этапе формирования общесистемных решений, который на V-образной диаграмме является вторым из крупных шагов. Если на этом этапе (то есть тогда, когда функциональные возможности и компоненты подсистем привязываются к аппаратной или программной реализации) или в его конце оборудование и ПО «расщеплены», то различия в процессах разработки и реализации этих компонентов приведут к тому, что завершение разработки различных частей систем не состыкуется по времени.



Рисунок 34 — Процесс инженерии программных систем согласно IEEE

Поэтому разработку ПО необходимо интегрировать раньше, чем было принято по традиции, а именно на этапе анализа системы. Хотя на рисунке это и не показано, построение архитектуры системы теперь становится важной частью того, что этот процесс вносит в существо *анализа системы*. Именно в рамках построения архитектуры системы следует рассматривать инженерии программных систем.



**Роль программного обеспечения в ТС.** Разработка программного обеспечения (вторая половина XX века) совпала по времени с развитием технологии цифровых вычислений, на которую в свою очередь оказал влияние прогресс в полупроводниковых технологиях. ПО — это управляющий и обрабатывающий элемент в системах сбора и обработки данных. Это именно то средство, с помощью которого компьютеру сообщается, как поступить с источником данных, чтобы преобразовать данные в полезную информацию или действие. На заре развития компьютеров программы применялись для расчета артиллерийских таблиц на очень примитивных машинах, результаты этих расчетов использовались при проведении боевых действий во время Второй мировой войны. В наши дни ПО применяется для управления самыми разными компьютерами (от одиночных систем на кристалле до невообразимо мощных суперкомпьютеров), выполняющими бесконечно разнообразные задачи. Такая гибкость и потенциальная мощь делает ПО незаменимой составной частью современных ТС — как простых, так и сложных.

Хотя ПО и оборудование компьютера неразрывно связаны, пути их развития сильно различаются. Компьютеры, состоящие преимущественно из полупроводниковых интегральных схем, обычно стандартизированы в плане конструкции и функционирования. А все требования конкретных приложений к обработке включены в ПО. Благодаря такому разделению функций стало возможно направить огромные ресурсы на повышение быстродействия и функциональных возможностей компьютеров, не отказываясь от стандартизации и сохраняя стоимость компьютеров низкой за счет массового производства и продажи. Тем временем для удовлетворения возрастающих потребностей росли размеры и сложность ПО, которое постепенно становится преобладающей частью большинства сложных систем.

Традиционный взгляд на роль ПО в компьютерной системе представлен на рисунке 35. Здесь показано разбиение ПО на уровни и его связи с пользователем и машиной, на которой оно выполняется. В роли пользователя может выступать как человек-оператор, так и другой компьютер. Видно, что пользователь взаимодействует со всеми уровнями через различные интерфейсы. На рисунке показано, что пользовательский интерфейс охватывает все уровни ПО и в минимальной

степени позволяет взаимодействовать напрямую с оборудованием. ПО на прикладном уровне составляет существо компьютерной системы, это именно то приложение, которое поддерживается остальными уровнями.

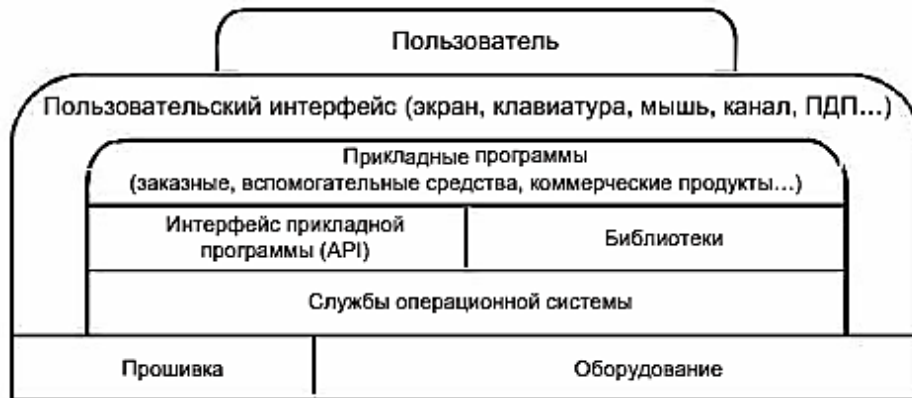


Рисунок 35 — Иерархия программного обеспечения

Современные программные системы редко размещаются на одиночном автономном компьютере, как это показано на рисунке. В наши дни ПО распределено по сложноустроенной сети, состоящей из маршрутизаторов, серверов и клиентов, образуя многоуровневую архитектуру систем. На рисунке 36 изображена упрощенная трехуровневая архитектура, в которой клиенты венчают последовательность сетей. Внутри каждого компонента этой архитектуры мы увидим иерархию, подобную показанной на рисунке 35.

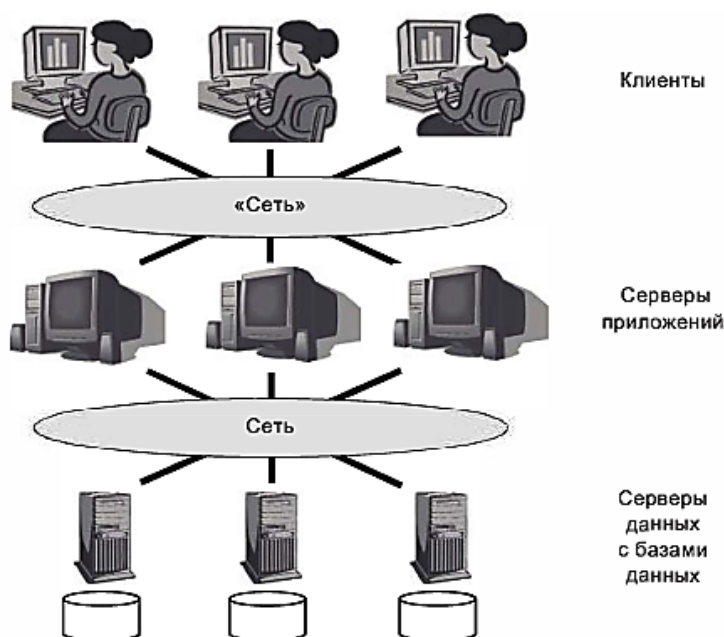


Рисунок 36 — Примерная трехуровневая архитектура

Как нетрудно понять, сложность компьютерных систем (которые не следует называть вычислительными сетями) существенно возросла. ПО больше не привязано к какой-либо одной платформе или даже к одному типу платформ, а должно работать в гетерогенной среде, включающей различные аппаратные платформы. Более того, программы управляют сложными сетями, а не только отдельными платформами.

Из-за растущей сложности ПО и все более важной роли, которую оно играет в сложных системах, разработка ПО превратилась в неотъемлемую и полноценную часть разработки ТС. Поэтому системная инженерия включает программную инженерию как самостоятельную дисциплину, а не просто как еще одну инженерную деятельность с целью реализации каких-то функциональных возможностей.

**Типы программного обеспечения.** За последние несколько десятилетий было много попыток предложить классификацию ПО, но согласно [7] почти все категории можно отнести к одному из трех общих типов:

– *системное ПО*: эта категория ПО предоставляет службы (услуги) другим программам и не предназначена для автономного использования. Классический пример — операционная система. Операционная система компьютера или сервера предоставляет различные службы данных, файлов, связи и интерфейсов (и это лишь малая часть) другим программам, работающим на том же компьютере;

– *встроенное ПО*: эта категория ПО предоставляет конкретные службы (услуги), функции и компоненты в составе более крупной системы. Данный тип ПО наиболее близок системной инженерии, потому что в соответствии с базовым принципом функциональные возможности привязываются к конкретным подсистемам, в том числе реализованным программно. Примеры легко встретить в таких системах, как спутники, системы оборонного назначения, системы национальной безопасности и энергетические системы;

– *прикладное ПО*: эта категория ПО предоставляет службы (услуги) для удовлетворения конкретной потребности и рассматривается как «автономное». Обычно приложения взаимодействуют с системным и встроенным ПО, являясь потребителями их услуг. В качестве примеров можно назвать популярные офисные пакеты программ —

текстовые процессоры, электронные таблицы и программы для подготовки презентаций.

Хотя эти три категории покрывают широкое разнообразие существующего сегодня ПО, они не дают представления о многочисленных частных случаях. В таблице 13 показана дополнительная классификация. Для сравнения приведены как три основные категории, так и еще четыре категории ПО: научно-инженерное, линейка продуктов, веб-приложения и искусственный интеллект. Все они попадают в одну или несколько из трех основных категорий, однако у каждой есть и своя узкая ниша, признаваемая программным сообществом.

Таблица 13 — Типы программного обеспечения

Тип ПО	Краткое описание	Примеры
Системное	Предоставляет службы (услуги) другим программам	Операционная система, диспетчер сети
Встроенное	Является частью более крупной системы и реализует конкретные функции или задачи	Графический интерфейс пользователя, навигационное ПО
Прикладное	Автономная программа, удовлетворяющая конкретную потребность	ПО для бизнеса, средства обработки данных, средства управления процессами
Научно-инженерное	Использует сложные алгоритмы для решения трудных научных и инженерных задач	Имитационное моделирование, автоматизированное проектирование
Линейка продуктов	Предназначено для использования различными категориями пользователей в разных средах	Обработка текстов, электронные таблицы, мультимедиа
Веб-приложения	Предназначено специально для использования в глобальных сетях	Интернет-браузеры, ПО для создания веб-сайтов
Искусственный интеллект	Отличительной чертой является применение нечисленных алгоритмов для решения трудных задач	Робототехника, экспертные системы, распознавание образов, игры

**Типы программных систем.** Хотя ПО стало важным элементом практически всех современных сложных систем, задача построения новой ТС может выглядеть существенно по-разному в зависимости от природы функций, выполняемых программными элементами. Несмотря на то, что общепринятая классификация типов систем отсутствует, полезно различать три типа программных систем, которые называются

встроенными программными средствами (software-embedded systems), программно насыщенными системами (software-intensive systems) и вычислительно-ориентированными системами (computing-intensive systems). Термин «преимущественно программная система» (software-dominated system) употребляется для обозначения программных систем в целом.

Характеристики всех трех категорий преимущественно программных систем и известные примеры приведены в таблице 14.

Таблица 14 — Категории преимущественно программных систем

Характеристика	Встроенные программные системы	Программно насыщенные системы	Вычислительно-ориентированные системы
Цель	Автоматизация сложных подсистем для достижения более высокого быстродействия и точности	Манипуляции большими массивами информации для поддержки решений или приобретения знаний	Решение трудных задач, моделирование сложных систем путем расчетов и имитации
Функции	Алгоритмические, логические	Транзакционные	Вычислительные
Входы	Данные от датчиков, регуляторов	Информация, объекты	Численные данные
Обработка	Вычисления в реальном масштабе времени	Манипуляция, графический интерфейс пользователя, обмен данными по сети	Вычисления не в реальном масштабе времени
Выходы	Действия, продукция	Информация, объекты	Информация
Временные характеристики	Реальное время, непрерывно	Нерегулярно	По расписанию
Примеры	Управление воздушным движением, системы вооружений, аэронавигация и управление летательным аппаратом	Банковские сети, системы резервирования авиабилетов, веб-приложения	Прогноз погоды, прогноз поражающего действия ядерного оружия, математическое и имитационное моделирование

Характеристика	Встроенные программные системы	Программно насыщенные системы	Вычислительно-ориентированные системы
Оборудование	Мини- и микропроцессоры	N-уровневые архитектуры	Суперкомпьютеры
Типичные пользователи	Операторы	Руководители различных уровней	Научные работники, аналитики

*Встроенные программные системы*, которые еще называют системами реального времени, представляют собой комбинацию оборудования, ПО и людей. Основные действия в системах такого типа выполняются оборудованием, но ПО играет важную обеспечительную роль.

*Примерами* могут служить транспортные средства, радиолокационные системы, станки с автоматическим управлением и т. д.

На ПО обычно возлагаются критические управляющие функции, дополняющие работу оператора-человека и исполнительных аппаратных компонентов.

Встроенные программные системы обычно работают непрерывно, как правило, на встроенных микропроцессорах (отсюда и название), поэтому должны функционировать в режиме реального времени. В таких системах ПО чаще всего предстает в виде компонентов, спроектированных в соответствии с требованиями, заданными на уровне системы в целом и подсистем. Требования могут относиться как к отдельным программным компонентам, так и к их группам, функционирующим как подсистема. Роль ПО в подобных системах может изменяться в широких пределах: от функций управления в бытовых приборах до в высшей степени сложных функций автоматизации в системах вооружений.

*Программно насыщенные системы*, к которым относятся и все информационные системы, состоят, главным образом, из компьютеров и пользователей, причем компьютеры и ПО реализуют практически все функциональные возможности системы, обычно поддерживая действия оператора-человека.

*В качестве примеров* можно назвать системы автоматизированной обработки информации, в том числе систему резервирования авиабилетов, системы распределенной торговли, системы управления финансовой деятельностью и т. д.

Как правило, программно насыщенные системы работают нерегулярно, в ответ на запросы пользователей, и не характеризуются такими жесткими требованиями ко времени реакции, как в системах реального времени. С другой стороны, требования к ПО таких систем должно соответствовать требованиям, предъявляемым на уровне системы в целом, непосредственно восходящим к потребностям пользователей. Такие системы могут быть очень крупными, распределенными по сетям, охватывающим большую территорию. Всемирная паутина — предельный случай программно насыщенной системы.

В программно насыщенных системах ПО выполняет важнейшие функции на всех уровнях, включая управление самой системой. Поэтому они должны с самого начала строиться с учетом принципов системной инженерии. Большую часть таких систем можно считать «транзакционными» (управление финансами, резервирование авиабилетов, командные и управляющие системы). В общем случае в их основе лежат базы данных, содержащие информацию об объектах предметной области, к которым нужно обращаться для выполнения требуемой операции.

*Вычислительно-ориентированные системы* существенно отличаются от рассмотренных выше и включают крупномасштабные вычислительные ресурсы для решения сложных вычислительных задач.

*К примерам* можно отнести гидрометеорологические центры, системы прогнозирования поражающего действия ядерного оружия, усовершенствованные системы дешифрования информации и другие операции, подразумевающие большой объем вычислений.

Эти системы обычно строятся как вычислительные центры, в которых вычисления производятся на суперкомпьютерах или кластерах, собранных из быстродействующих процессоров. В некоторых случаях обработка выполняется группой параллельных процессоров, а программа специально проектируется для параллельной работы.

К разработке вычислительно-ориентированных систем применяется такой же системный подход, как и к другим системам. Но подобные системы, как правило, уникальны и нуждаются в узкоспециализированных технических решениях.

**Различия между оборудованием и программным обеспечением.** Между оборудованием и ПО существует ряд фундаментальных различий, которые имеют глубокие последствия для системной инженерии преимущественно программных систем. Каждый системотехник должен ясно понимать эти различия и их внутренний смысл. В таблице 15 приведены описания программных систем и их существенных отличий от оборудования.

Таблица 15 — Различия между оборудованием и программным обеспечением

Характеристика	Оборудование	Программное обеспечение	Сложности в плане программной инженерии
Структурные блоки	Физические детали, компоненты	Объекты, модули	Мало стандартных составных частей, компоненты редко допускают повторное использование
Интерфейсы	Видны на границах компонентов	Хуже видны, глубоко проникают, многочисленны	Затруднено управление интерфейсами, отсутствует модульность
Функциональные возможности	Ограничены мощностью, точностью	Не существует внутренних ограничений (ограничены только возможностями оборудования)	Очень сложные программы, трудные для сопровождения
Размер	Ограничен пространством, весом	Не существует внутренних ограничений	Очень большие модули, которыми трудно управлять
Изменяемость	Требуется усилий	Обманчиво просто, но рискованно	Затруднено управление конфигурацией
Характер отказа	Отказу предшествует неустойчивая работа	Отказывает неожиданно	Последствия отказов серьезнее
Абстракция	Состоит из физических элементов	Текстовая и символическая	Более трудна для понимания



*Структурные блоки.* Аппаратные компоненты, как правило, состоят из стандартных физических деталей: индикаторов, транзисторов, моторов, реле и т.д. Подавляющее их большинство служит для реализации общеупотребительных функций, например «обработка данных» или «генерация крутящего момента». Напротив, программные структурные блоки можно комбинировать бесчисленными способами, образуя конструкции, которые определяют функции, выполняемые программой. Здесь не существует конечного множества стандартных функциональных составных частей, из которых собираются аппаратные подсистемы и компоненты. Заметными исключениями являются общие библиотечные функции (например, тригонометрические), присутствующие в некоторых средах программирования, а также коммерческие программные «компоненты», относящиеся по большей части к функциям графического интерфейса пользователя.

*Интерфейсы.* Из-за отсутствия четко определенных физических компонентов программные системы обычно имеют гораздо больше интерфейсов, а взаимосвязи между отдельными частями системы глубже и не так хорошо видны, как в аппаратных системах. Вследствие этой особенности оказывается труднее добиться хорошей модульности и контролировать последствия локальных изменений.

*Функциональные возможности.* В отличие от оборудования, ограничения на возможности которого обусловлены физическими законами, для программного обеспечения не существует ограничений, обусловленных именно его природой. Поэтому большинство критических, сложных и нестандартных операций системы обычно привязываются к программным компонентам.

*Размер.* Если размер аппаратных компонентов ограничен объемом, весом и другими параметрами, то размер компьютерной программы присущими ПО ограничениями не лимитируется, особенно при современных технологиях организации памяти. Большой размер многих программных систем представляет серьезную проблему для системной инженерии, потому что в них может быть скрыта невероятная сложность (сотни миллионов строк кода). Эта проблема особенно характерна для заказных, клиенто-ориентированных систем.

*Изменяемость.* По сравнению с усилиями, которые нужно приложить для изменения аппаратного элемента, внесение изменений

в программу кажется совсем простым — «всего-то» и нужно изменить несколько строк кода, но это впечатление часто обманчиво. Результат изменения программ труднее предсказать или определить из-за проблем, связанных со сложностью и неочевидностью интерфейсов. «Простенькое» изменение программы может потребовать повторного тестирования всей системы.

*Характер отказа.* Оборудование по своей конструкции и способу работы непрерывно, тогда как ПО является цифровым и дискретным. Оборудование обычно сначала подает признаки неисправности и только потом выходит из строя, причем область отказа ограничена. Программа отказывает неожиданно, и зачастую это приводит к сбою системы в целом.

*Абстракция.* Аппаратные компоненты описываются техническими чертежами, электрическими схемами, структурными схемами и другими представлениями, которые являются моделями физических элементов и понятны любому инженеру. ПО по природе своей абстрактно. К фактическому коду прилагаются очень абстрактные архитектурные и модельные диаграммы, причем у каждой диаграммы есть собственный информационный контекст. Уровень абстракции — это, пожалуй, самое существенное различие между программным обеспечением и оборудованием.

Описанные выше различия оказывают глубокое влияние на системную инженерию сложных, преимущественно программных систем. Недооценка этих различий и недостаточный их учет стали причиной целого ряда хрестоматийных неудач в крупных программах, например при попытке модернизации системы управления воздушным движением, при разработке первой версии системы сбора данных для телескопа Хаббл, в программе создания марсианского посадочного модуля и в системе обработки багажа в аэропорту [7].

**Языки программирования.** Выбор языка программирования — одно из самых важных решений при проектировании ПО. Здесь очень важен тип системы — встроенная, программно насыщенная или вычислительно-ориентированная, предназначена она для коммерческого или военного применения, интерактивная она или реального времени. Каковы бы ни были предпочтения проектировщиков ПО, природа приложения должна стоять на первом месте. От языка могут зависеть

пригодность программного продукта для сопровождения, переносимость, удобочитаемость и множество других характеристик.

Если не считать отдельных специализированных применений, компьютерные программы пишутся на языках высокого уровня, в которых одна команда обычно транслируется в несколько элементарных машинных операций. В таблице 16 приведено несколько примеров устаревших и современных языков программирования, их структурные составляющие, основные сферы применения и общее описание.

Таблица 16 – Распространенные языки программирования

Язык	Структурные составляющие	Основные сферы применения	Описание
Ada95	Объекты Функции Задачи Пакеты	Военные системы Системы реального времени	Проектировался специально для применения во встроенных военных системах, где во многом заменил C++
C	Функции	Операционные системы Интерфейсы с оборудованием Приложения реального времени Программы общего назначения	Мощный язык общего назначения, обладающий очень высокой гибкостью
C++	Объекты Функции	Имитационное моделирование Приложения реального времени Интерфейсы с оборудованием Программы общего назначения	Мощный язык общего назначения, в котором реализованы объектно-ориентированные конструкции
COBOL	Под-программы	Деловые и финансовые приложения	Словесный язык, в какой-то мере самодokumentированный. Когда-то был основным языком программирования деловых приложений

Язык	Структурные составляющие	Основные сферы применения	Описание
FORTRAN	Под-программы Функции	Научные приложения Анализ данных Имитационное моделирование Программы общего назначения	Давно созданный язык общего назначения, применяемый главным образом в программах, предназначенных для вычислений
Java	Объекты Функции	Внутренние приложения Программы общего назначения	Производный от C++ интерпретируемый платформенно-независимый язык
Visual Basic	Объекты Под-программы	Графические приложения Пользовательские интерфейсы	Язык, позволяющий графически манипулировать программными объектами
Язык ассемблера	Под-программы Макро-команды	Управление оборудованием Драйверы	Язык для операций самого низкого уровня; обеспечивает полный контроль над машиной

*Языки четвертого поколения и специализированные языки.* Языки четвертого поколения (4GL) обычно являются собственностью правообладателей и предоставляют высокоуровневые методы для решения задач в некоторой предметной области. Чаще такие языки поставляются вместе с системой баз данных и так или иначе связаны со структурированным языком запросов (SQL). Ключевая черта 4GL заключается в том, чтобы максимально приблизить среду языка программирования к естественному языку предметной области и предоставить интерактивные инструменты для описания решения. Например, рассмотрим процедуру интерактивного создания формы для ввода данных на рабочей станции. Программист вводит названия полей, описывает допустимые значения и прочие ограничения, после чего «экран» становится частью приложения. Языки четвертого поколения могут ускорить разработку приложений определенного вида, но, вообще говоря, не переносимы, то есть работают только с продуктами одного поставщика.

Существует множество областей, для которых были разработаны специализированные очень эффективные языки. В таких языках обыч-

но применяются лексика и конструкции из области, для которой они предназначены. Задача специализированного языка – имитировать, насколько возможно, предметную область и уменьшить время разработки, повысив в то же время надежность. Во многих случаях производительность приносится в жертву простоте использования и разработки. Приступая к разработке заказного ПО, системный инженер должен изучить, какие языки имеются для данной предметной области и насколько они полезны. В таблице 17 приведены примеры нескольких специализированных языков, разработанных для конкретных предметных областей, например экспертных систем и форматирования документов в Интернете.

Таблица 17 — Примеры специализированных языков

Язык	Структурные составляющие	Основные сферы применения	Описание
Smaltalk и его варианты	Объекты	Приложения баз данных Имитационное моделирование	Первый объектно-ориентированный язык
LISP	Списки	Искусственный интеллект Экспертные системы	Язык, основанный на операциях со списками
Prolog	Объекты Связи	Искусственный интеллект Экспертные системы	Мощный логический язык, имеющий много вариантов
Perl	Предложения Функции	Манипулирование данными Генерация отчетов	Переносимый язык со встроенными средствами обработки текстов
HTML	Теги Идентификаторы Текстовые элементы	Форматирование документов и связывание их гиперссылками	Язык разметки документов с уникальным, но простым синтаксисом
XML	Теги Идентификаторы Строки и текст	Форматирование Идентификация полей и связывание	Язык разметки текстовых данных с уникальным достаточно сложным синтаксисом
PHP	Теги Идентификаторы Строки и текст Команды	Написание серверных скриптов	Язык генерации документов

**Средства поддержки программирования.** Для поддержки усилий по разработке компьютерных программ, необходимых для реализации проекта создания программной системы, требуется набор инструментов поддержки программирования и умение эффективно их использовать. Системному инженеру и руководителю программы стоит ознакомиться с применением и возможностями таких средств.

*Редакторы.* Редактор позволяет программисту вводить и изменять исходный код и документацию. Некоторые редакторы упрощают ввод программ на определенных языках. Некоторые редакторы можно настраивать так, что они смогут помочь программисту в реализации определенного стиля программирования.

*Отладчики.* Отладчик — это программа, которая позволяет исполнять другую программу в контролируемом режиме для тестирования и отладки. Существуют два типа отладчиков: символьные (symbolic) и цифровые (numeric). Символьный отладчик позволяет ссылаться на переменные и параметры по именам на языке исходного кода. Цифровой отладчик работает на уровне языка ассемблера или машинного кода. Команды, написанные на языке программирования, называются «исходным кодом». Для преобразования исходного кода, написанного программистом, в исполняемый код необходимы дополнительные инструменты.

*Компиляторы.* Компилятор преобразует исходный код в промежуточный формат (его часто называют объектным кодом), ориентированный на конкретное оборудование. В процессе преобразования компилятор обнаруживает синтаксические ошибки, пропущенные объявления данных, а также многие другие ошибки программирования и сообщает, в каких предложениях они допущены.

Компилятор предназначен для конкретного языка программирования и обычно для конкретного процессора. Разные компиляторы с одного и того же языка могут быть несовместимы между собой. Важно знать, каким стандартам соответствует компилятор, который предполагается использовать, и какие могут возникнуть проблемы с переносимостью кода. Некоторые компиляторы поставляются с собственной средой разработки программ, которая может повысить продуктивность программиста и упростить процесс подготовки документации.

*Компоновщики и загрузчики.* Компоновщик связывает несколько объектных файлов и библиотек для получения одной исполняемой программы. Если приложение написано на смеси языков (С и Java — широко распространенная комбинация), то необходимы компиляторы со всех языков и компоновщик, понимающий все порождаемые форматы. Инструменты, помогающие компоновать сложные приложения, — важная часть управления и контроля над разработкой ПО. Загрузчик преобразует скомпонованный файл в форму, которая может быть выполнена в данной среде. Часто он объединяется с компоновщиком.

**Проектирование программного продукта.** При разработке типичной аппаратной системы проектирование изделия заключается в преобразовании аппаратных компонентов опытного образца, которые иногда называют «макетами», в надежные, ремонтпригодные и готовые к производству компоненты. Показатели функционирования при этом сохраняются, хотя физическое воплощение может измениться до неузнаваемости. Чаще всего эту работу выполняют инженеры, обладающие богатым опытом по части производства, экологичной упаковки, материалов и методов их изготовления, а задача состоит в том, чтобы процесс производства конечной продукции был эффективным и надежным.

Процесс проектирования программных элементов системы сильно отличается. Для ПО нет никакого процесса «производства». Однако другие аспекты производства изделия сохраняются. Ремонтпригодность, которая в данном случае называется пригодностью к сопровождению, остается важнейшей характеристикой из-за присущего ПО количества интерфейсов. Ремонт путем замены вышедшего из строя компонента резервным в случае ПО лишен смысла. Эффективный пользовательский интерфейс — еще одна важная характеристика действующего ПО, которой в начальных версиях системы часто пренебрегают.

Таким образом, для превращения работающей компьютерной программы в программный продукт, предназначенный не только для себя, обычно приходится прилагать значительные усилия. По экспертным оценкам на это затрачивается в три раза больше усилий, чем на саму разработку работающей программы. Однако в программной

инженерии нет профессиональной группы, которую можно было бы сравнить с инженером-технологом и инженером по упаковке и транспортировке. Готовность к «превращению в продукт» должны предусматривать в ПО те же проектировщики, которые отвечают за базовые функциональные возможности. Но у среднего проектировщика ПО нечасто встретишь настолько широкий кругозор, поэтому пригодность программных продуктов к сопровождению зачастую оказывается далеко не удовлетворительной.

*Интерфейсы пользователя.* Выше отмечалось, что при разработке программных систем нужно уделять особое внимание проектированию пользовательских интерфейсов. Компьютерный интерфейс должен отображать информацию в форме, дающей пользователю ясную и хорошо организованную картину состояния системы, которая позволяет эффективно принимать решения. Средства управления при этом должны быть простыми и быстрыми. Для выбора подходящего вида интерфейса, формата отображения, логики взаимодействия и прочих факторов чаще всего приходится создавать прототип и тестировать его на репрезентативной группе пользователей.

Наиболее употребительные виды управления в интерфейсах — интерактивные меню, языки команд и манипулирование объектами. В таблице 18 приведены некоторые сравнительные характеристики интерфейсов.

Таблица 18 — Сравнение различных интерфейсов компьютера

Тип	Описание	Достоинства	Недостатки
Меню	Выбор из списка действий	Предпочитают пользователи Точность	Ограниченность выбора Низкая скорость
Подача команд	Сокращенные названия команд	Гибкость Скорость	Длительность обучения Легко допустить ошибку
Манипулирование объектом	Перетаскивание мышью	Интуитивность Точность	Умеренная гибкость Умеренная скорость
Графический интерфейс пользователя (GUI)	Нажатие графических кнопок	Поддержка со стороны Visual Basic и Java	Умеренная гибкость Умеренная скорость



Тип	Описание	Достоинства	Недостатки
Сенсорный экран и распознавание символов	Касание экрана или рукописный ввод	Простота Гибкость	Легко допустить ошибку

Быстрее прочих развиваются интерфейсы, основанные на манипулировании объектами, сами объекты при этом обычно называют «иконками». Помимо характеристик, перечисленных в таблице 18, графическое представление нередко позволяет показать связи и передать смысл лучше, чем с помощью текста. К тому же графика дает возможность наглядно представить сложную информацию и сделать выводы, которые ведут к более быстрым и безошибочным решениям, чем в случае применения иных методов. Графические интерфейсы пользователя чаще встречаются на персональных компьютерах под управлением таких операционных систем, как Macintosh OS и Microsoft Windows. Всемирная паутина своим могуществом также в немалой степени обязана графическим интерфейсам пользователя (GUI).

Для системного инженера GUI одновременно является источником возможностей и проблем. Возможности — это практически бесконечное разнообразие вариантов представления пользователю данных в информативной и интуитивно-понятной форме. Проблемы обусловлены все тем же разнообразием — при виде такого богатства выбора проектировщик испытывает соблазн оптимизировать без конца, не будучи связан никакими внутренними ограничениями. Поскольку программы с GUI имеют довольно сложную структуру, существует риск выйти из графика и бюджета, если системный инженер не знает об этой опасности.

*Передовые интерфейсы.* Быстрое развитие технологий пользовательских интерфейсов заставляет рассматривать менее традиционные способы взаимодействия с компьютером, предлагающие интересные возможности. Ниже приводятся три кратких примера.

1. *Голосовое управление.* Произнесенные вслух команды, обрабатываемые программами распознавания речи, позволяют легко и быстро вводить данные, оставляя руки свободными для других действий. В настоящее время работа в этом режиме несколько ограничена, так как оператор должен четко произносить слова из фиксированного

словаря. Но благодаря продолжающимся исследованиям компьютер постепенно начинает понимать предложения.

2. *Визуальное взаимодействие.* Машинная графика используется как подспорье в принятии решений путем моделирования на экране результатов вероятных действий. Тем самым открывается возможность для анализа типа «что, если» в реальном масштабе времени. Визуальная интерактивная имитация (visual interactive simulation — VIS) — это усовершенствованная форма визуального интерактивного моделирования (visual interactive modeling — VIM).

3. *Виртуальная реальность.* Это вид трехмерного интерфейса, при работе с которым пользователь надевает стереоочки и шлем. В ответ на движения головы генерируются смоделированные движения изображения, соответствующие тому, что увидел бы пользователь на виртуальной сцене. Диапазон применения таких дисплеев постоянно расширяется, например они используются для проектирования сложных конструкций, в обучении пилотов, а также на поле боя и в играх.

## **Выводы**

1. Радиоэлектронные средства принадлежат к классу технических систем. Однако в виду эволюции последних границы классов все больше пересекаются. В настоящее время идет активная гибридизация не только искусственных систем между собой (электронных, радиоэлектронных, киберфизических, кибернетических, автоматических, вычислительных, информационных, интеллектуальных), но и искусственных с естественными системами (к примеру, электронных с биологическими, нейрофизиологическими и т. п.). В свою очередь это налагает еще более жесткие требования к уровню компетенций специалистов по системотехнике и их способности самостоятельно и оперативно повышать собственную квалификацию в разных областях знаний.

2. Все технические системы, в частности радиоэлектронные, развиваются в направлении расширения функциональных возможностей и повышения степени идеальности до предела, когда система отсутствует, а ее функции выполняются (уменьшение массогабаритных пока-

зателей с одновременным увеличением надежности, производительности, эффективности, энергоэкономичности и т.п.).

3. Двигателем техноэволюционного процесса является развитие фундаментальных наук и гибридизация знаний, методов и технологий разных наук, когда идеи одних наук проникают в другие науки и служат центрами роста новых направлений исследований и разработок.

4. Жизненный цикл технических систем также эволюционирует посредством увеличения степени своей автоматизации, т. к. реализация процессов проектирования и производства современных радиоэлектронных систем невозможна без использования информационных технологий, а сами процессы не могут рассматриваться отдельно друг от друга и других этапов жизненного цикла продукции: маркетинга, научного исследования, планирования, проектирования, производства, а также при реализации, эксплуатации и утилизации радиоэлектронных систем. Только широкое использование информационных систем (CALS-технологии) позволяет предприятиям выйти на качественно новый уровень управления и производства. Внедрение CALS-технологий требует модернизации имеющихся технологий под CALS-стандарты и решения концептуальных проблем управления сложностью проектов и интеграции программного обеспечения, включая вопросы декомпозиции проектов, распараллеливания проектных работ, целостности данных, межпрограммных интерфейсов и т. д.

5. Уровни технологической готовности — это метод оценки зрелости новых технологий, включающий девять уровней. Основная цель использования уровней технологической готовности заключается в том, чтобы помочь руководству проектных групп в принятии решений, касающихся развития и трансфера новых технологий. Его следует рассматривать как один из нескольких инструментов, которые необходимы для управления ходом научных исследований и разработок в рамках деятельности проектной организации. К преимуществам уровней технологической готовности относится обеспечение общего понимания состояния разрабатываемой технологии, управление рисками при принятии проектных решений, в частности решений, касающихся способов финансирования и трансфера технологии.

6. За последние 20 лет роль программного обеспечения изменилась — в большинстве современных технических систем оно

преобладает. Поэтому программная инженерия стала полноправной частью системотехники.

7. На этапе инженерно-технической разработки ПО производится архитектурное проектирование и написание программного кода, выполняющего требуемые функции. При этом создаются компьютерные программы на языке высокого уровня (исходный код), и каждая программа подвергается автономному тестированию.

8. Язык программирования должен выбираться с учетом типа ПО и доступности компилятора. Необходимо, чтобы язык соответствовал методологии проектирования и чтобы в штате проектной группы были владеющие им специалисты.

9. Человеко-машинный интерфейс — критически важный элемент любой программно-насыщенной системы. Обычно в таких интерфейсах используется интерактивная машинная графика, но иногда она дополняется голосовыми командами и другими передовыми технологиями.

## **Контрольные вопросы**

1. Какое положение занимают электронные и радиоэлектронные средства в общей классификации систем?

2. Какие примеры гибридных технических систем вы знаете?

3. Что такое жизненный цикл технической системы? Из каких стадий он состоит?

4. Постоянен ли набор стадий жизненного цикла для разных технических систем? Ответ обоснуйте и подкрепите примерами.

5. Каким образом системотехник при разработке технической системы может учесть пожелания заинтересованных сторон?

6. Сколько позиций участников жизненного цикла технической системы вы знаете?

7. Ответы на какие вопросы должен найти системотехник для ключевых позиций сторон, участвующих в жизненном цикле технической системы?

8. Почему важную роль в современное время играет автоматизация жизненного цикла технических систем?

9. Что такое CALS-технологии?

10. Какие креативные методы проектировщика вы знаете? Приведите их краткую характеристику.

11. Какие рекомендации вы можете дать по использованию креативных методов в анализе процессов жизненного цикла технических систем?

12. Что означает аббревиатура TRL?

13. Сколько уровней TRL существует?

14. Какова классификация законов развития систем?

15. О чем говорит закон увеличения степени идеальности технической системы?

16. Что такое ТРИЗ?

17. Что такое ИКР?

18. Каковы перспективы развития электронных и радиоэлектронных средств с точки зрения смежных наук?

19. Опишите, каким должен быть современный телевизор в смысле ИКР? Найдите реальные аргументы в пользу того, что через несколько лет телевизор сможет достичь состояния ИКР.

20. Опишите, каким должен быть современный мобильный телефон в смысле ИКР? Найдите реальные аргументы в пользу того, что через несколько лет мобильный телефон сможет достичь состояния ИКР.

21. Опишите, каким должен быть современный роботпылесос в смысле ИКР? Найдите реальные аргументы в пользу того, что через несколько лет роботпылесос сможет достичь состояния ИКР.

22. Что имеется в виду под иерархическим исчерпанием возможностей конструкторско-технологических решений?

23. Каковы тенденции технического развития?

24. Что является основной составляющей информационной революции?

25. Сколько и каких компонентов выделяют в программном обеспечении?

26. На какие главные уровни подразделяется процесс инженерии программных систем согласно IEEE?

27. Какова роль программного обеспечения в технических системах?

28. Какие элементы включает в себя иерархия программного обеспечения?
29. Какие существуют типы программного обеспечения?
30. Каковы категории преимущественно программных систем?
31. Что означает термин software-embedded systems?
32. Какие примеры встроенных программных систем вы можете привести?
33. Какие примеры программно насыщенных систем вы можете привести?
34. Какие примеры вычислительно-ориентированных систем вы можете привести?
35. Каковы различия между оборудованием и программным обеспечением?
36. Почему существует несколько языков программирования, а не один?
37. Какие языки программирования вам известны? Какова их функция?
38. Каковы специализированные языки программирования?
39. Что такое средства поддержки программирования? Для чего они нужны?
40. Что такое интерфейс?
41. Какие типы интерфейсов вы знаете?
42. Какие типы передовых интерфейсов вы знаете?

## **Упражнения**

1. Выберите любое ЭРЭС и укажите по одному компоненту для каждого уровня иерархии согласно рисунку 25,б.
2. Проведите литературный поиск и найдите последние разработки в области электронной компонентной базы. Выясните, на каких физических принципах основана их работа и в чем они превосходят своих предшественников.
3. Постройте генеалогическую линию развития семейства диодов, начиная с первой разработки и заканчивая настоящим временем.

4. Постройте генеалогическую линию развития семейства транзисторов, начиная с первой разработки и заканчивая настоящим временем. Как в историческом плане транзисторы связаны с диодами?

5. Найдите информацию о новом элементе электронных схем — мемристоре. Изучите его свойства и определите отличительные характеристики.

6. Приведите примеры радиоэлектронных средств, в жизненном цикле которых отсутствует стадия утилизации.

7. Приведите примеры радиоэлектронных средств с самой короткой стадией эксплуатации и с самой длительной стадией обращения.

8. Выберите техническую систему. Предполагая, что вы собираетесь ее модернизировать, встаньте на позицию каждого участника жизненного цикла и найдите ответы на все вопросы из п. 4.2.

9. Найдите в Интернете детальную информацию по креативным методам мышления проектировщика из таблицы 9 и примените каждый метод к решению предыдущей задачи. Пользуйтесь рекомендациями таблицы 10.

10. Найдите в Википедии информацию о «цифровых двойниках» и «цифровых тенях» и ответьте на вопрос: как соотносится понятие CALS-технологий с данными понятиями?

11. С помощью Интернет-источников (в частности ссылок [https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Emerging\\_technologies](https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Emerging_technologies); [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_emerging\\_technologies](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_emerging_technologies)) подберите примеры разработок для каждого из девяти уровней технологической готовности согласно определениям таблицы 9.

12. Выберите техническое средство. Рассмотрите выбранное техническое средство как систему. Выделите в данном техническом средстве надсистемы и подсистемы. Опишите роль, которую играет данный класс технических систем в жизненном цикле каждой надсистемы.

13. Выберите техническую систему. Пользуясь таблицами соответствия стадий жизненного цикла ТС и креативных методов из таблицы 9 проведите исследование потенциальных путей эволюции выбранной вами ТС. Сформулируйте критерии и показатели развития ТС.

14. Выберите техническую систему. Постройте причинно-следственные схемы ее развития в зависимости от развития смежных радиотехнике наук.

15. Опишите идеальные конечные результаты развития представителей бытовой электроники.

16. Выберите техническую систему. Примените к ней законы и закономерности развития, описанные в п. 4.4. Результат зафиксируйте в письменном виде и обсудите с одноклассниками.

17. Постройте генеалогическую линию развития радиоприемников, начиная с первой разработки и заканчивая настоящим временем, и сопроводите краткой справкой по истории развития данного типа устройств. Проследите за эволюцией используемых физических принципов действия, технических решений и параметров (технических характеристик). Для этого используйте схему на рисунке 33. Подберите фотографии представителей каждого поколения радиоприемных устройств и оформите по аналогии с рисунком 29. Результаты зафиксируйте в дос-файле и выступите с докладом на семинаре.

18. Постройте генеалогическую линию развития радиопередатчиков, начиная с первой разработки и заканчивая настоящим временем, и сопроводите краткой справкой по истории развития данного типа устройств. Проследите за эволюцией используемых физических принципов действия, технических решений и параметров (технических характеристик). Для этого используйте схему на рисунке 33. Подберите фотографии представителей каждого поколения радиопередающих устройств и оформите по аналогии с рисунком 29. Результаты зафиксируйте в дос-файле и выступите с докладом на семинаре.

19. Постройте генеалогическую линию развития систем автоматического управления (включая системы автоматического радиопередачи), начиная с первой разработки и заканчивая настоящим временем, и сопроводите краткой справкой по истории развития данного типа устройств. Проследите за эволюцией используемых физических принципов действия, технических решений и параметров (технических характеристик). Для этого используйте схему на рисунке 33. Подберите фотографии представителей каждого поколения устройств и оформите по аналогии с рисунком 29. Результаты зафиксируйте в дос-файле и выступите с докладом на семинаре.



20. Постройте генеалогическую линию развития электронных вычислительных машин (ЭВМ), начиная с первой разработки и заканчивая современными компьютерами и вычислительными системами, и сопроводите краткой справкой по истории развития данного типа устройств. Проследите за эволюцией используемых физических принципов действия, технических решений и параметров (технических характеристик). Для этого используйте схему на рисунке 33. Подберите фотографии представителей каждого поколения ЭВМ и оформите по аналогии с рисунком 29. Результаты зафиксируйте в doc-файле и выступите с докладом на семинаре.

21. Постройте генеалогическую линию развития телефонов, начиная с первой разработки и заканчивая настоящим временем, и сопроводите краткой справкой по истории развития данного типа устройств. Проследите за эволюцией используемых физических принципов действия, технических решений и параметров (технических характеристик). Для этого используйте схему на рисунке 33. Подберите фотографии представителей каждого поколения телефонных аппаратов и оформите по аналогии с рисунком 29. Результаты зафиксируйте в doc-файле и выступите с докладом на семинаре.

## Глава 5

# ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ СИСТЕМО- И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Если ничто другое не помогает,  
попробуй действовать по инструкции!*

*Принцип Кана*

## 5.1 Алгоритм системотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств

На основе изложенного в предыдущих главах можно синтезировать следующий обобщенный алгоритм системо- и схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств (см. первые два этапа на рисунке 20).

**Обоснование потребности в разработке ТС.** Все начинается с обоснования потребности в разработке ТС. Понятие потребности важно по трем причинам. Во-первых, потребность есть причина любой человеческой деятельности, причина решения задачи. В случае фундаментального научного исследования потребность, как правило, бывает личной и проявляется во внутреннем побуждении. Напротив, фактором, стимулирующим системотехнические изыскания, служит общественная потребность, получившая межличностное выражение как нечто нужное, желательное или полезное. Во-вторых, удовлетворение потребности есть итог или цель решения задачи. Так как при выборе и разработке систем целью является новая техническая система, соответствующая определенному окружению, то системотехник должен выводить требования к новым системам из данных, которые он собирает о потребности. В-третьих, так как потребность есть причина проектирования и изготовления изделия, то требования к качеству этого изделия должны быть ею и обусловлены.

Для понимания сути вопроса обоснования потребности рассмотрим рисунок 37, на котором приведена диаграмма, показывающая отношение между потребностью в технической системе и технической системой в смысле дихотомии их существования.

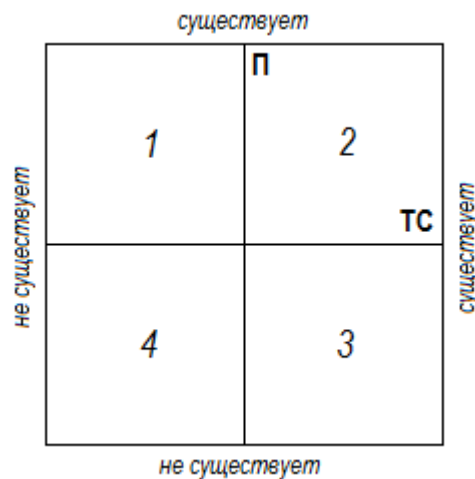


Рисунок 37 — Отношение между потребностью в проектировании технической системы и технической системой в смысле дихотомии их существования

Вертикальная ось характеризует «существование — не существование» потребности в проектировании (П) технической системы, а горизонтальная ось — «существование — не существование» технической системы, эту потребность удовлетворяющей. В данном пространстве имеет место четыре возможных сочетания, обозначенных цифрами:

1 — потребность в проектировании технической системы существует, но техническая система, удовлетворяющая эту потребность, не существует;

2 — потребность в проектировании технической системы и сама техническая система существуют;

3 — потребность в проектировании технической системы не существует, но сама техническая система существует;

4 — потребность в проектировании технической системы и сама техническая система не существуют.

Первая ситуация характерна для случаев появления новых потребностей, когда сама потребность существует и выявлена, но система, удовлетворяющая данную потребность, еще никогда не была создана. В данном случае задача проектировщика заключается в создании новой технической системы и в поиске новых физических принципов ее действия.

*В качестве примера можно привести изобретение беспроводного телеграфа А.С. Поповым в 1897 г. В данном случае потребность*

*общества заключалась в необходимости передачи информации на большие расстояния без использования проводов. Достоинства такого способа передачи информации очевидны: экономия материалов, автономность приемо-передающих систем и удобство в их эксплуатации, относительная надежность (обрыв проводной линии сразу приводил к отказу системы связи, тогда как у беспроводного телеграфа не было такого недостатка: радиоволны практически беспрепятственно преодолевали радиопрозрачные преграды). Новый физический принцип действия заключался в генерировании передатчиком высокочастотных электромагнитных колебаний, которые излучались в пространство посредством антенны определенной конструкции, а затем принимались в географически удаленном пункте посредством такой же антенны и особого чувствительного элемента, изменявшего свои электрофизические свойства под воздействием электромагнитных волн определенной частоты. Необходимо отметить, что изобретение беспроводного телеграфа стало возможным благодаря опыту Г. Герца 1887 года, в результате которого немецким ученым было доказано существование электромагнитных волн. Таким образом, между открытием нового физического явления и его первым прикладным использованием в реально функционирующей технической системе (беспроводный телеграф), служащей на благо общества, прошло десять лет. В современном мире фактор времени становится определяющим с точки зрения целесообразности разработки ТС: чем короче промежуток времени между появлением потребности в ТС и началом реализации готового изделия, тем больше экономический эффект от разработки ТС.*

Вторая ситуация имеет место, когда потребность общества в технической системе постепенно эволюционировала, а сама система за тот же период времени не совершенствовалась и перестала удовлетворять требованиям общества. При этом возникает задача модернизации, совершенствования параметров и технических решений современных ТС, а также подбора существующих более эффективных или открытия новых физических принципов действия.

*Недавним **примером** такой ситуации является единый в пределах России переход с аналоговой системы телевизионного вещания к системе цифрового телевидения. Недостатки аналоговой системы очевидны: малая помехозащищенность, затратность, большая трудоемкость эксплуатации из-за невозможности полной автоматизации подсистем и несовместимость с цифровыми информационными системами.*

Третья ситуация характерна для технических систем, потребности в которых существовали ранее, но не существуют (или существуют в очень малом масштабе и в очень специфических областях человеческой деятельности) в настоящее время. Такие технические системы теперь можно найти только в радиотехнических музеях и музеях электронной техники. Как правило, к ТС, потребность в которых давно исчезла, относятся вспомогательные технические устройства, предназначавшиеся для обеспечения функционирования других также устаревших технических систем.

*Примером технических систем, у которых сегодня нет прямых функциональных потомков, является пейджинговая система связи, или сеть персонального радиовызова, под которой понимают систему односторонней беспроводной передачи сообщений. К этой системе относятся тональные биперы, пейджеры и твейджеры.*

*Тональный бипер — устройство, способное издавать однообразные звуки, несущие закодированную информацию. Пейджер — беспроводный радиоприемник персонального вызова. Твейджер — пейджер с двухсторонней радиосвязью.*

Четвертая ситуация, когда ни ТС, ни потребность в ней не существуют, как правило, характеризует потенциальную возможность существования или появления новых потребностей, а следовательно, и новых ТС. В данном случае перед проектной группой возникают две задачи:

1) задача выявления потребностей, которые уже существуют, но еще не осознаны в достаточной мере обществом;

2) прогнозирование будущих потребностей общества, которые могут быть реализованы с помощью технических систем, работающих на принципах электроники, радиотехники или принципах, которые только предстоит открыть в будущем.

Решение этих двух задач при условии объединения тщательных исследований малейших изменений в состоянии и поведении общества, а также в области психологии социального потребления, грамотного прогнозирования потенциальных потребностей социума, проведения опережающих фундаментальных научных исследований, проектного планирования и соответствующих маркетинговых акций и рекламных кампании могут в будущем послужить причиной громкого

коммерческого успеха компаний-разработчиков и производителей продукции. Именно четвертая ситуация является ключевым условием для опережающего технического развития инновационных компаний, обществ и государств.

Однако стоит отметить, что подобная деятельность связана со сверхрисками, которые при условии неграмотного и этически некорректного подхода, могут привести к крупным финансовым потерям и даже к краху целых компаний. В истории человечества также имеют место случаи изобретений, появление которых на рынке опережало психологическую готовность социума к внедрению и использованию данных изделий, в результате чего изобретение забывалось и появлялось снова только через несколько десятилетий.

Таким образом, в начале проектной деятельности необходимо однозначно ответить на вопрос, существует ли потребность в проектировании ТС? Для этого надо произвести фиксацию проблемной ситуации, т. е. выявить и сформулировать противоречие между потребностями человека и текущими условиями реальности. Для этого проводятся социально-инженерные исследования, включая опрос общественного мнения, анализ жизненного опыта людей, маркетинговые и патентные исследования, поиск функциональных аналогов и прототипов ТС, анализ опыта их эксплуатации, научно-техническое и социальное прогнозирование.

Результатами обоснования потребности является следующая информация:

1) обоснованный вывод проектировщика о наличии или об отсутствии потребности в проектировании ЭРЭС;

2) определение типа решаемой задачи (разработка новых ЭРЭС, включая перепроектирование существующих ТС, работающих на ФПД, отличных от принципов электроники и радиотехники, в технические системы, работающие на ФПД электроники и радиотехники; модернизация (частичная или существенная) существующих ЭРЭС; перепроектирование ТС с целью уменьшения ее себестоимости);

3) определение масштаба потребности, задающего объем производства ЭРЭС.

**Формулировка требований к объекту проектирования.** После подтверждения существования потребности в проектировании ТС, не-

обходимо сформулировать требования, которым должна удовлетворять будущая система. Для этого методами инженерии требований производится сбор и фиксация пожеланий от заинтересованных сторон и участников ЖЦ ТС, синтез требований к системе в целом, к ее подсистемам и компонентам.

Быстро изменяющиеся технологии и ужесточающаяся конкуренция между разработчиками ТС оказывают постоянно растущее негативное воздействие на процесс разработки данных систем. Эффективная инженерия требований является важной составной частью способности системотехника или проектной организации выдерживать верное направление и не отставать от конкурентов в условиях неуклонного возрастания сложности создаваемых ТС [67].

Растущая конкуренция заставляет сокращать цикл разработки и время на практическое внедрение технологии. Однако сокращения времени вывода продукта на рынок недостаточно. Истинная цель — минимизация времени вывода на рынок «правильной» продукции, действительно необходимой рынку в текущий момент. Установление требований позволяет получить обобщенное наглядное представление о продукции, которая будет пользоваться спросом. Инженерия требований, являясь жизненно важной частью процесса системной инженерии, сосредоточена в первую очередь на определении предметной области и описании проблем, а также на их увязке со всей последующей информацией, касающейся разработки. Только таким способом можно контролировать и направлять проектную деятельность для получения необходимого решения без излишних затрат.

Требования — это основа любого проекта. Требования определяют, что хотят получить от создаваемой ТС заинтересованные стороны — пользователи, заказчики, поставщики, разработчики, бизнесмены и (или) коммерческие организации — и какими свойствами должна обладать система для удовлетворения их запросов. Поскольку требования должны быть ясны любой заинтересованной стороне, их следует формулировать на естественном языке, но в этом заключена определенная сложность: необходимо составить полное и недвусмысленное описание потребности или задачи, не прибегая к специальной терминологии или условиям. После обсуждения и принятия требования становятся базисом для управления всей проектной деятельностью.

Следует учесть, что нужды и потребности заинтересованных сторон бывают многочисленными, различными по природе, а также противоречивыми. Эти нужды и потребности могут быть не вполне четко определены в начале работы, могут быть ограничены плохо управляемыми факторами или находиться под влиянием интересов, которые в свою очередь подвержены изменениям во времени. Если требования в своей основе не будут относительно стабильны, то разработка будет продвигаться с большим трудом. Отчасти это похоже на решение пуститься в морское путешествие без определенной цели и без навигационной карты. Требования представляют собой и «навигационную карту», и средства, позволяющие достичь намеченной цели.

Согласованные и одобренные требования обеспечивают основу для планомерной и успешной деятельности по созданию системы и ее дальнейшего эффективного использования. Они имеют принципиальное значение при поиске разумных и обоснованных компромиссов и еще более важны, когда возникает необходимость изменений, неизбежно происходящих в процессе разработки. Как можно оценить влияние какого-либо изменения без тщательно проработанной модели исходной системы? А в какое состояние возвратится эта система, если изменение необходимо будет отменить?

Как только определена проблема, подлежащая решению, и намечены способы достижения поставленной цели, следует оценить вероятность неудачи в процессе получения неудовлетворительного решения. Немногие спонсоры или заинтересованные стороны готовы поддержать разработку ТС в отсутствие конкретной стратегии управления рисками. Требования позволяют наладить управление рисками с первых моментов процесса разработки. Риски, связанные с отдельными требованиями, могут быть прослежены, влияние этих рисков оценено, а результаты реализации планов смягчения рисков и резервных планов осмыслены задолго до того, как возникает необходимость существенных затрат на опытно-конструкторские работы.

Таким образом, требования формируют основу:

- для планирования проекта;
- управления рисками;
- приемочных испытаний;
- выбора взаимосогласованного компромиссного решения;



– контроля изменений.

Причины неудачи проектов чаще всего лежат за пределами технической области. В таблице 19 приведены сведения о причинах неудачи ряда проектов. Данные получены по итогам опросов, проведенных международной организацией Standish Group в 1995–1996 гг. Причины неудачи проектов, обозначенные в таблице 19 звездочкой, напрямую связаны с определением требований.

Таблица 19 — Причины провала проектов (Standish Group 1995 & 1996; Scientific American, 1994. Sept)

Причина	Процент
Неполнота требований*	13,1
Недостаточное вовлечение пользователей в процесс проектирования*	12,4
Недостаток ресурсов	10,6
Нереалистичные (завышенные) ожидания*	9,9
Недостаточная поддержка со стороны лиц, принимающих решения	9,3
Изменение требований/спецификаций в процессе разработки*	8,7
Недостатки планирования	8,1
Отпала необходимость в разрабатываемом продукте*	7,5

В системотехнике (системной инженерии) выделяют четыре категории требований, представляемых классической V-моделью [67]:

1) требования заинтересованных сторон (функциональные, эксплуатационные, экономические);

2) требования к системе в целом (тактические, эксплуатационные, экономические);

3) требования к подсистемам (технические, эксплуатационные, экономические);

4) требования к компонентам (технические, эксплуатационные, экономические).

В зависимости от решения, принятого на предыдущем этапе, системотехник оказывается в разных проектных условиях: если он решает задачу разработки новой ТС, у которой нет аналогов, то для формулировки требований к ОП, необходимо провести масштабные исследования; если же стоит задача модернизации существующей ТС,

то в качестве исходных требований в первом приближении проектировщик может взять технические характеристики существующих аналогов улучшаемой ТС.

Результатом данного шага должен быть полный и всесторонний перечень требований к проектируемой или улучшаемой системе от всех заинтересованных сторон. Этот перечень требований должен быть оформлен в виде технического задания, представляющего собой описание условий проектной задачи.

Важно отметить, что формулировка требований к ТС не заканчивается на этапе разработки технического задания, а продолжается в течение всего периода разработки системы.

**Представление объекта проектирования в виде «черного ящика».** На данном шаге алгоритма на основании анализа совокупности требований, выдвигаемых к будущей ТС, необходимо сформулировать задачу «черного ящика» и сделать внешнее проектирование ТС, когда неважна внутренняя структура системы, а важна ее функция и то, как ТС взаимодействует с внешней средой.

На этом шаге необходимо всесторонне описать процессы и взаимодействия, в которых участвует ТС на разных стадиях своего ЖЦ, т. е. определить все интерфейсы, количество входов и выходов, связей «черного ящика» с внешней средой, установить их физическую природу и охарактеризовать их свойства. Также необходимо провести классификацию входов и выходов, выделить среди них главные и второстепенные, побочные, полезные и вредные и произвести математическое моделирование и формализовать все важные процессы.

**Декомпозиция целевой функции «черного ящика».** После того как задача анализа «черного ящика» решена и получено подробное описание объекта проектирования, необходимо осуществить декомпозицию целевой функции «черного ящика». Для этого нужно построить модели функционального состава и структуры «черного ящика».

Функциональный состав определяется набором функционально элементарных узлов определенных типов и зависит от назначения ЭРЭС. Определение функционального состава делается на основе классификации функциональных узлов (ФУ). Основаниями данной классификации являются все возможные манипуляции с пространственными, энергетическими, частотными и временными параметрами

(поляризация, амплитуда, фаза, спектральный состав, период, длительность, диапазон рабочих частот) полезных и вредных процессов. Манипуляция величиной каждого отдельно взятого параметра или определенной совокупности параметров процесса (процессов) рождает отдельный класс функциональных узлов.

Модель структуры определяется связями между функционально элементарными узлами системы. Существует пять фундаментальных способов соединения функциональных узлов: последовательное, параллельное, с обратной связью, конвергентное (сходящееся), дивергентное (расходящееся). Их комбинации дают все возможные конфигурации структурных электрических схем.

В случае если проектировщик решает задачу модернизации существующих ТС, упростить ее решение может анализ типовых структурных конфигураций ЭРЭС.

В силу структурно-функциональной инвариантности технических систем (см. *закономерность многозначного соответствия между функцией и структурой* в п. 4.4) результатом декомпозиции целевой функции «черного ящика» является множество вариантов структурных электрических схем проектируемого ЭРЭС. Все эти схемы отличаются функциональным составом и структурой. При этом функция ЭРЭС остается неизменной.

**Компьютерное моделирование ЭРЭС на структурном уровне.** На данном шаге с помощью системотехнических САПР проводится компьютерное моделирование всех вариантов структурных схем, полученных на прошлом шаге, и осуществляется выбор наиболее оптимального варианта, удовлетворяющего множеству, как правило, противоречащих друг другу требований.

Результатом этого шага является выбранный вариант структурной электрической схемы ЭРЭС.

## 5.2 Алгоритм схемотехнического проектирования электронных и радиоэлектронных средств

**Подбор типовых СЭП отдельных ФУ ЭРЭС.** На данном шаге для выбранной структурной электрической схемы осуществляется подбор типовых принципиальных электрических схем отдельных функциональных узлов и их адаптация к конкретным проектным условиям.

К настоящему времени схемотехника электронных и радиоэлектронных средств синтезировала множество устойчивых (в смысле состава и структуры) схемных конфигураций. Другими словами, проектировщику, как правило, нет необходимости изобретать или придумывать заново принципиальные электрические схемы функциональных узлов, достаточно использовать уже известные схемотехнические решения. Трудность заключается в их согласовании друг с другом: как говорилось выше, если мы возьмем самые лучшие схемотехнические решения и попытаемся их соединить в одной системе, у нас не получится ни лучшей ТС, ни системы как таковой. Задача в том, чтобы найти сбалансированное решение в противоречивых условиях.

Результатом данного шага является совокупность конфигураций принципиальных электрических схем отдельных ФУ проектируемого ЭРЭС.

**Согласование и развязка ФУ ЭРЭС.** На данном шаге необходимо решить задачу согласования ФУ СЭС ЭРЭС, которое заключается в выборе и настройке режимов совместной работы ФУ.

Результатом этого шага является полный вариант схемной конфигурации проектируемого ЭРЭС на принципиальном уровне.

**Подбор электронной компонентной базы СЭП ЭРЭС.** На данном шаге осуществляется выбор марок и типономиналов ЭКБ СЭП ЭРЭС, удовлетворяющих режимам и условиям эксплуатации, а также требованиям к компонентной базе ТС и к самой системе в целом.

Специалисты по системотехнике и схемотехнике должны быть в курсе последних достижений в области материаловедения и проектирования электронной компонентной базы, т.к. зачастую изобретение новых элементов рождает новые типы функциональных узлов, моду-

лей и устройств, что в свою очередь расширяет функциональные возможности существующих ТС.

*Например, изобретение электронной вакуумной лампы привело к появлению усилителей и генераторов. Изобретение туннельных диодов — к появлению СВЧ-генераторов. Изобретение ВЧ- и СВЧ-транзисторов привело к созданию высокоскоростных переключающих модулей. Разработка датчиков газа, датчиков всех классов излучений и т.д. многократно увеличила возможности ЭРЭС. Изобретение силовых тиристоров привело к появлению ключевых схем, работающих в области высоких напряжений и токов, что позволило на порядки улучшить массогабаритные показатели источников вторичного электропитания. Разработка ПЗС-матриц дала импульс развитию фото- и видеотехники. Изобретение мемристора в ближайшем будущем приведет к созданию энергонезависимой сверхбыстродействующей памяти...*

Результатом этого шага алгоритма является полный перечень элементов, входящих в СЭП.

**Компьютерное моделирование ЭРЭС на компонентном уровне.** На завершающем шаге схемотехнического проектирования осуществляется компьютерное моделирование СЭП ЭРЭС.

Результатом этого шага должно быть подтверждение технических требований проектного задания посредством сравнительного анализа технических характеристик ЭРЭС с результатами компьютерного моделирования СЭП ЭРЭС.

Кроме того, в виду итеративности проектной процедуры итогом моделирования принципиальной электрической схемы может быть принятие проектировщиком решения о необходимости проведения оптимизации конфигурации принципиальной схемы или возврата к предшествующим шагам алгоритма для принятия других решений по выбору ЭКБ, подбору типовых СЭП отдельных функциональных узлов и т. п.

Данный обобщенный алгоритм реализует нисходящее проектирование, т. е. ведение разработки ТС последовательно от общих черт к детальным (см. рисунок 20) [35, 41]. Его результатом будут требования к отдельным частям и узлам. Однако если одна или несколько частей проектируемой системы уже являются готовыми (покупными или уже разработанными) изделиями, то на этапе выбора функциональных

узлов или ЭКБ необходимо использовать восходящее проектирование. При этом всегда стоит помнить о том, что нисходящее и восходящее проектирование обладают своими достоинствами и недостатками: при нисходящем проектировании возможно появление требований, которые впоследствии могут оказаться нереализуемыми по технологическим, экологическим или иным соображениям, а при восходящем проектировании возможно получение объекта, не соответствующего заданным требованиям. Задача системотехника заключается в грамотном чередовании этих подходов.

## **Контрольные вопросы**

1. С чего начинается проектирование технической системы?
2. Каково отношение между потребностью в проектировании технической системы и технической системой в смысле дихотомии их существования?
3. Почему прогнозирование потребностей играет важную роль в проектировании систем?
4. Что является результатом обоснования потребности в проектировании технических систем?
5. Что такое требования к объекту проектирования?
6. Каковы главные причины провала проектов?
7. Сколько и каких категорий требований выделяют в системотехнике?
8. В каких проектных условиях может оказаться системотехник в зависимости от результата обоснования потребности в проектировании технической системы?
9. Каковы задачи представления объекта проектирования в виде модели «черного ящика»?
10. Что является результатом декомпозиции целевой функции «черного ящика»?
11. Что такое структурно-функциональная инвариантность технических систем?
12. Что является результатом компьютерного моделирования ЭРЭС на системном уровне?

13. В чем заключается цель подбора типовых принципиальных электрических схем функциональных узлов ЭРЭС?

14. В чем заключается цель согласования и развязки функциональных узлов ЭРЭС?

15. Каковы задачи подбора электронной компонентной базы принципиальных электрических схем ЭРЭС?

16. Что является результатом компьютерного моделирования ЭРЭС на компонентном уровне?

## **Упражнения**

1. Подберите не менее четырех примеров к каждой возможной ситуации по рисунку 37.

2. Выберите ТС из разряда бытовой электроники. Сформулируйте к ней требования по четырем категориям согласно классической V-модели, как если бы вы решали задачу существенной модернизации выбранной ТС.

3. Выберите ТС из разряда бытовой электроники. Применительно к ней решите задачу «черного ящика».

4. Выберите ТС из разряда бытовой электроники. Осуществите ее декомпозицию и разработайте модель ее состава на уровне функциональных узлов. Перечислите технические параметры всей ТС и ее отдельных функциональных узлов.

5. Для условий предыдущей задачи разработайте модель структуры, пользуясь навыками, полученными при изучении дисциплин схемотехнического цикла.

6. Для условий предыдущей задачи осуществите остальные шаги обобщенного алгоритма проектирования ЭРЭС, пользуясь навыками, полученными при изучении дисциплин схемотехнического цикла.

## Библиографический список

1. ГОСТ Р 52003-2003. Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения.
2. Радиотехника: Энциклопедия / под ред. Ю. Л. Мазора, Е. А. Мачусского, В. И. Правды. М. : Додэка-XXI, 2002. 944 с.
3. ГОСТ Р 57193-2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.
4. Мизгулин В. Системный инженер. Как начать карьеру в новом технологическом укладе. Изд-во «Издательские решения», 2017. 109 с.
5. Гуд Г. Х., Макол Р. Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем / пер. с англ. К. Н. Трофимова, С. Е. Жорно, И. В. Соловьева; под ред. Г. Н. Поварова. М. : Советское радио, 1962. 390 с.
6. Честнат Г. Техника больших систем (средства системотехники) / пер. с англ. И. Н. Васильева, Е. Н. Дубровского, А. С. Манделя [и др.] ; под ред. О. И. Авена. М. : Энергия, 1969. 686 с.
7. Системная инженерия. Принципы и практика / А. Косяков, У. Свит [и др.] ; пер. с англ. под ред. В. К. Батоврина. М. : ДМК Пресс, 2014. 624 с.
8. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций / пер. с англ. В. Я. Алтаева ; под ред. И. А. Ушакова. М. : Мир, 1971. 532 с.
9. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах / пер. с англ. ; под ред. И. А. Ушакова. М. : Советское радио, 1974. 272 с.
10. ISO/IEC/IEEE 24765:2017 Systems and software engineering — Vocabulary. 2017.
11. Ярушин С. Г., Схиртладзе А. Г. Проектирование нестандартного оборудования : учеб. 2-е изд., перераб. и доп. Пермь : Пермский гос. техн. ун-т, 2004. 440 с.
12. Дрещинский В. А. Методология научных исследований : учеб. для бакалавриата и магистратуры. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Юрайт, 2017. 324 с.
13. Быков В. В., Быков В. П. Исследовательское проектирование в машиностроении. М. : Машиностроение, 2011. 256 с.
14. Гиг Дж. ван. Прикладная общая теория систем. Ч. 1 : пер. с англ. М. : Мир, 1981. 336 с.



15. Философский энциклопедический словарь. М. : Сов. энциклопедия, 1983.
16. Новиков А. М., Новиков Д. А. Методология. М. : Синтег, 2007. 668 с.
17. Психологический словарь / под ред. В. П. Зинченко, Б. Г. Мещерякова. 2-е изд. М. : Педагогика-Пресс, 1996.
18. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. М. : Высшая школа, 1989.
19. Платонов К. К. Краткий словарь системы психологических понятий. М. : Высшая школа, 1981.
20. Краткий психологический словарь / сост. Л. А. Карпенко ; под общ. ред. А. В. Петровского, М. Г. Ярошевского. М. : Политиздат, 1985.
21. Леднев В. С. Содержание общего среднего образования: проблемы структуры. М. : Педагогика, 1980.
22. Независимый дизайн-центр электроники Promwad [Электронный ресурс]. URL: <https://promwad.ru/portfolio> (дата обращения: 03.08.2020).
23. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для студентов вузов. М. : Машиностроение, 1988. 368 с.
24. Инженерная этика: учеб.-метод. пособие / сост. Н. М. Цыцарова. Ульяновск : УлГТУ, 2016. 152 с.
25. Hansson S.O. The ethics of technology. Methods and approaches. London: Rowman & Littlefield International, Ltd, 2017. 279 p.
26. Философия науки и техники: конспект лекций [Электронный ресурс] / К. Н. Хабибуллин, В. Б. Коробов, А. А. Луговой [и др.]. URL: <http://eurasialand.ru/txt/nauteh/menu.htm>.
27. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем : учеб. для вузов. Изд-во Дизайн-ПРО, 2004. 640 с.
28. Ravindran R. A. Operations research. Applications. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. 388 p.
29. Poler R., Mula J., Diaz-Madronero M. Operations research Problems. Statements and solutions. London: Springer-Verlag, 2014. 433 p.
30. Systems Engineering Handbook, version 2a. INCOSE, 2004.

31. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) 2.0 (англ.) / Robert Cloutier, Editor in Chief. San Diego, CA: 4242International Council on Systems Engineering (INCOSE), 2019.
32. NASA Systems Engineering Handbook. NASA. 1995. SP-610S
33. MIL-STD-499 Military Standard System Engineering Management (англ.). Department of Defense, 1969.
34. Wikipedia/Системная инженерия [Электронный ресурс]. (дата обращения: 21.05.2020).
35. Хорошев А. Н. Основы системного проектирования технических объектов. М., 2011. 125 с.
36. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М. : Мир, 1966.
37. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений / пер. с англ. Е.Г. Коваленко. М. : Мир, 1969. 442 с.
38. Щедровицкий П.Г. Новая промышленная революция. (<https://www.youtube.com/watch?v=4odjKLXqEI8>) (дата обращения: 12.06.2020)
39. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры : учеб. для вузов / К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлева [и др.] ; под общ. ред. В.А. Шахнова. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 568 с.
40. Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники / пер. с англ. под ред. Г. Н. Поварова. М. : Советское радио, 1975. 448 с.
41. Антипенский Р. В., Фадин А. Г. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств. М. : Техносфера, 2007. 128 с.
42. Мейер К., Дэвис С. Живая организация / пер. с англ. А. Стативка. М. : Хорошая книга, 2007. 368 с.
43. Щедровицкий Г. П. Философия России второй половины XX века. М. : РОССПЭН, 2010. 600 с.
44. Щедровицкий Г.П. Оргуправленческое мышление: идеология, методология, технология : курс лекций. 3-е изд., испр. и доп. М. : Изд-во Студии Артемия Лебедева, 2014. 468 с.
45. Меерович М. И., Шрагина Л. И. Теории решения изобретательских задач. Минск : Харвест, 2003. 428 с.

46. Проворов А. В. Техническое творчество : учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М. : Юрайт, 2020 ; Ярославль : ЯГТУ. 423 с. (Высшее образование). Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/448356> (дата обращения: 27.01.2020).
47. Шпаковский Н. А. ОТСМ-ТРИЗ: подходы и практика применения : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2020. 504 с. Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/1062029> (дата обращения: 01.05.2020)
48. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) 2.0 (англ.) / Robert Cloutier, Editor in Chief. San Diego, CA: International Council on Systems Engineering (INCOSE), 2019.
49. Джонс Д. Методы проектирования. М. : Мир, 1986.
50. Советский энциклопедический словарь. М. : Большая российская энциклопедия, 2002.
51. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. М. : Советское радио, 1973.
52. Рубинштейн С.Л. О мышлении и путях его исследования. М. : АН СССР, 1985.
53. Педагогика и логика / Г.П. Щедровицкий, В. Розин, Н. Алексеев [и др.]. М. : Касталь, 1993. 417 с.
54. Зинченко В. П., Моргунов Е. Б. Миры, структуры и динамика сознания // Человек развивающийся. Очерки российской психологии. М. : Тривола, 1994.
55. Новиков Д. А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. М. : Синтег, 2003.
56. Сорос Дж. Алхимия финансов. М. : ИНФРА-М, 1999.
57. Хубка В. Теория технических систем / пер. с нем. В. В. Ачкасова, Н. И. Зук, Е. Б. Матвеевой ; под ред. К. А. Люшинского. М. : Мир, 1987. 209 с.
58. Техническое творчество: теория, методология, практика. Энциклопедический словарь-справочник / под ред. А. И. Половинкина, В. В. Попова. М. : НПО «Информ-система», 1995. 408 с.
59. Р 50-605-80-93. Рекомендации. Система разработки и постановки продукции на производство. Термины и определения.

60. Blanchard B.S., Fabrycky W.J. Systems Engineering and Analysis Pearson New International Edition. 5th ed. London: Pearson Education Limited, 2014. 846 p.

61. ISO 15704:2000 Industrial automation systems – Requirements for enterprise-reference architectures and methodologies (ГОСТ Р ИСО 15704-2008. Требования к стандартным архитектурам и методологиям предприятия).

62. Systems Engineering Principles and Practice / A. Kossiakoff, W. N. Sweet, S. J. Seymour [et al.]. 2-d ed. Hoboken, New Jersey: A John Wiley & Sons, 2011. 560 p.

63. Управление жизненным циклом технических систем / В. К. Батоврин, Д. А. Бахтурин ; ред. И. С. Мацкевич, М. С. Липецкая // Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» (Серия докладов в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации»). М., СПб., 2012. Вып. 1. 59 с.

64. Трухин М. П. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств : учеб. пособие. М. : Горячая линия-Телеком, 2017. 386 с. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/111111> (дата обращения: 12.04.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

65. Engel A. Practical creativity and innovation in systems engineering. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. 507 p.

66. Алексеев В. П., Озеркин Д. В. Системная технология инженерного проектирования РЭС в дипломировании : учеб. пособие. Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. 97 с.

67. Dick J., Hull E., Jackson K. Requirements engineering. 4-th ed. Springer International Publishing Switzerland, 2017. 252 p.

## Приложение 1 Кодекс этики ученых и инженеров

(Редакция Российского Союза научных и инженерных общественных организаций. Принят III съездом Российского Союза НИО от 19.02.2002 г.)<sup>5</sup>.

Настоящий Кодекс этики ученых и инженеров Российского Союза НИО определяет основные моральные принципы творческой деятельности и взаимоотношений членов общественных объединений, входящих в Российский Союз НИО. Эти принципы выработаны социальной и научно-технической практикой развивающегося общества, отражают нравственные ценности, накопленный опыт входящих в Российский Союз НИО общественных объединений, образованных как по профессиональным творческим интересам, так и по региональному признаку, опираются на славную историю и традиции Русского технического общества, созданного в ноябре 1866 года. Использование этого нравственного потенциала в деле формирования духовно богатой и высокопрофессиональной личности российского ученого, инженера, изобретателя должно стать основой его активной гражданской позиции, утверждению истинной ценности научного и инженерного труда, умножению авторитета Российских научных и инженерных школ.

\* \* \*

1. Базовые принципы профессиональной этики Российских ученых и инженеров исходят из того, что свободный, творческий труд на благо человека, стремление к новаторству — дело чести и профессионального достоинства членов общественных объединений Российского Союза НИО, главный мотив научной и инженерной деятельности.

Уважая достижения прежних поколений, профессиональный инженер, ученый нацелен на их совершенствование и поиск принципиально новых решений, открывает или создает новое, способствует его утверждению, распространению. Открытия, изобретения, рационализация, создание принципиально новой техники и технологии, внедре-

---

<sup>5</sup> <http://rusea.info/ethics> – сайт Российского союза научных и инженерных общественных объединений (РосНИО).

ние инноваций в жизнь общества для блага человека — основа его творческой деятельности.

2. Основными нравственными принципами творческой личности должны стать:

- постоянный поиск достоверных фактов, даже если он сопряжен с какими-либо трудностями, для установления и защиты истины как основной цели познания;

- уважение к созидательному труду своих коллег;

- критическая оценка собственных результатов и достижений, противодействие любым попыткам присвоения результатов труда других исследователей, специалистов;

- отсутствие стяжательства и интеллектуальная честность;

- способность рассматривать проблему или ситуацию в перспективе и с учетом всех ее социальных, экологических и иных последствий для общества;

- умение выделить гражданские и этические аспекты проблем, связанных с поиском новых знаний, инженерных решений, которые на первый взгляд представляются исключительно техническими;

- готовность к творческому общению с представителями смежных профессий;

- стремление свести до минимума связанные с применением техники отрицательные воздействия на человека, общество и окружающую среду;

- отрицание консерватизма и застоя в творческой деятельности;

- повышение престижа Российского ученого и инженера.

3. В целях возрождения и развития лучших традиций российской научно-технической общественности члены общественных творческих объединений РосСНИО считают необходимым соблюдать и развивать такие нравственные ценности, как:

- коллективизм и товарищество в организации научного и инженерного труда, развитие профессионального и общечеловеческого общения, обеспечение свободы научно-технической информации, регулярный обмен идеями, опытом, взаимное консультирование, поиск и поддержка молодых талантливых специалистов, содействие их адаптации в науке и на производстве, интерес к новейшим достижениям научно-технического прогресса;

– патриотизм, стремление постоянно заботиться о благе Отечества, содействие его техническому развитию, выведение своего региона (республики, края, области) и всей страны на передовые рубежи научной и инженерной мысли и практики, создание благоприятных творческих условий, препятствующих эмиграции талантливых ученых и специалистов за рубеж;

– развитие на взаимовыгодной основе научно-технического сотрудничества с зарубежными коллегами, активное изучение и применение зарубежного опыта, открытий, технологий и новейших разработок;

– гуманность как одно из проявлений профессиональной деятельности, выраженное в создании условий, необходимых для творчества, эргономичности технических решений, заботе о безопасности и росте технической вооруженности труда, технологичности новых устройств и процессов, расширении удельного веса автоматизированных рабочих мест, необходимых для высокопроизводительного труда;

– эффективность научно-технической деятельности, преодоление затратной экономики, целевая направленность при решении научно-технических задач, способствующих снижению себестоимости продукции, энерго- и ресурсосбережению, росту производительности труда;

– добросовестность, которая заключается прежде всего в исключении небрежного труда. Точность фактов в науке, логичность мышления, строгость выводов, следующих из установленных посылок в научном и инженерном труде, правильность расчетов и соблюдение принятых стандартов. При выявлении несоответствия установленных правил реальности, новым фактам, новым условиям стремление добиваться официального, законного изменения устаревших норм деятельности;

– настойчивость в доведении новых научных идей, инженерных решений до их реализации, в поиске истины, в разрешении сложных проблем, борьба с волокитой в инновационном процессе;

– объективность, непредвзятость в анализе и оценке ситуации, научных теорий, проектов, решений, поиск объективных критериев оценок, борьба против необъективных оценок, субъективизма в решениях; участие в дискуссиях не для утверждения своих амбиций, а для

отыскания истины, лучших технических решений, разрешения возникших проблем; уважение к оппоненту, умение выслушать и понять его, не извращая противоположную позицию;

– стремление к повышению квалификации, обогащению знаний, приобретению профессиональных навыков и умения, овладению современной компьютерной культурой как необходимому условию освоения новейших методов познания, проектирования, разработки экономически грамотных, научно обоснованных технических решений, организации труда и управления, к повышению общей культуры поведения и общения;

– сочетание научности и практичности, использование всех возможностей для перевода новейших достижений фундаментальных и прикладных наук на язык технической мысли;

– активное просветительство, борьба с невежеством, некомпетентностью, технофобией, повышение технической культуры трудящихся;

– организованность и дисциплинированность в поступках и мышлении;

– ответственность за выполнение взятых обязательств, реализацию своих идей и последствия своей деятельности, открытое признание ошибок;

– отстаивание интересов научной и инженерной интеллигенции, выполнение решений съездов и конференций их профессиональных творческих общественных объединений, стремление улучшать деятельность отраслевых, региональных и Российского союзом НИО;

– любая идея, всякое творческое предположение, даже самая высокопрофессиональная научно-техническая деятельность, не отвечающая жизненным потребностям личности и интересам общества, является аморальной, заслуживающей безусловного и повсеместного осуждения и предусмотренной ответственности в соответствии с законами Российской Федерации, моральными нормами общества;

– нетворческий труд там, где возможно творчество — безнравственен.

\* \* \*



Российский Союз НИО оказывает каждому ученому, инженеру, специалисту социальную, юридическую и правовую защиту и помощь в отстаивании и последовательном соблюдении нравственных принципов творческой научно-технической деятельности.

Основные функции по защите интересов членов общественных организаций Российского Союза НИО осуществляет Координационный совет Союза, его секретариат и Комиссия по вопросам профессиональной этики.

## Приложение 2 Кейс-задания по инженерной этике

### Кейс 1 «Правильный выбор»

**Описание проблемы.** Студент одного технического университета, Джон Фурлонг, за несколько месяцев до окончания университета разослал свои документы разным фирмам с целью найти после окончания работу. Он получил одно предложение от фирмы Алгонкуин Пауэр Компани заниматься техническим планированием на подстанциях этой фирмы. Содержание работы не очень прельщало, однако зарплата и прочие условия труда были приемлемы, и он принял предложение, дав письменное согласие.

Однако через 2 недели пришел ответ от другой фирмы, Айс Микроэлектроникс, с предложением заняться новыми разработками фирмы в области цифрового оборудования. Зарплата и прочие условия были примерно те же, однако работа предлагалась намного интереснее. Как поступить? Первая фирма уже всем другим претендентам отказала. Возникает этическая дилемма, которая не регулируется законодательством.

Предлагается проанализировать 3 решения этой этической дилеммы:

1) написать в первую фирму письмо, в котором извиниться и объяснить, что планы поменялись. Он вообще-то в курсе, что этический кодекс общества инженеров этого штата так не позволяет поступать, однако он пока еще не вступил в это общество и поэтому его эти правила ни к чему не обязывают. Дать согласие второй фирме;

2) написать в первую фирму письмо, в котором кроме извинений предложить фирме компенсировать полностью или частично сделанные фирмой затраты на поиски нового работника и пойти работать во вторую фирму;

3) принять предложение первой фирмы и написать во вторую, что он, к сожалению, уже дал согласие другой фирме, но когда у него обязательства перед другой фирмой закончатся, и если они в нем будут еще нуждаться, то он с удовольствием приступил бы к их работе.

### ***Вопросы***

1. Какой вариант решения проблемы вы бы выбрали и почему? Аргументируйте свой ответ.
2. Какие внутренние ценности сотрудника будут способствовать тому или иному выбору?

## **Кейс 2 «Карьерный рост»**

**Описание проблемы.** Джон Смит — лицензированный инженер — работает уже 3 года в фирме Доминион Пресс энд Стампинг Компани. Он пришел туда работать на полставки, будучи студентом последнего курса университета. Фирма предоставила ему удобный график работы, чтобы работа не мешала учебе и написанию диплома. Фирма оплатила переподготовку Джона Смита.

Работа поначалу казалась интересной, но со временем он стал понимать, что на этом месте он себя полностью исчерпал. Работа стала монотонной. Никакого продвижения по службе не ожидалось.

Другими словами, перед Джоном Смитом стал вопрос — что делать, как быть? С одной стороны, он знает, что на другой фирме имеются вакантные места с более интересной работой. С другой стороны, фирма вложила в его образование деньги и лишь сейчас он, наконец, начал фирме приносить пользу.

### ***Вопросы***

1. Будет ли этичным уход в конкурирующую фирму именно сейчас? Аргументируйте свой ответ.
2. Поставьте себя на место компании. Как бы Вы решили вопрос ухода сотрудника после прохождения им дорогостоящего обучения?

## **Кейс 3 «За двумя зайцами»**

**Описание проблемы.** Филипп Фортескью — лицензированный инженер — проработал в фирме Федерал Структурал Дизайн 10 лет. К сожалению, его жалование было небольшим и его не очень частые подъемы едва покрывали инфляцию.

В связи с этим он был вынужден заниматься дополнительной работой («халтурой»), правда, в свободное от работы время, следя за

тем, чтобы все расходы (которые он мог сосчитать) были компенсированы (телефонные звонки, затраты на факс, копии, бумагу и т. д.).

Однако он делал это на машине основного места работы и использовал очень дорогой soft, находящийся в машине.

Он не сообщил об этом своему начальству, т. к. занимался такой же работой, то можно предположить, что фирмы конкурирующие.

### ***Вопросы***

Этично ли его поведение? Сам он считал, что наличие этой второй работы позволило ему столь долго работать на основного хозяина со столь малой зарплатой. Да и машина по вечерам простаивала впустую. Таким образом, он сам свое поведение неэтичным не считал. Аргументируйте свой ответ.

## **Кейс 4 «Увольнение нежелательного инженера»**

**Описание проблемы.** Вы лицензированный инженер и работаете заведующим отделом. В вашем подчинении 10 инженеров, 18 дизайнеров и проектировщиков. Вы вызваны к вашему непосредственному начальнику (вице-президенту фирмы) в кабинет, и он требует от вас, чтобы вы уволили одного из ваших подчиненных, который в прошлый weekend на пикнике фирмы в присутствии большого числа работников фирмы сказал что-то оскорбительное о нем (вице-президенте). Вы были тому тоже свидетелем. Вы приводите контраргументы, что работа этого инженера всегда безупречна. Однако вице-президент неумолим, считая, что здесь, помимо его личного оскорбления, имело место неповиновение. Он также намекает на то, что ваш отказ он может трактовать как неподчинение его приказу.

### ***Вопросы***

Что вы будете делать?

Вы знаете, что все это действительно имело место (вы сами там были и видели всё). Это создало плохую атмосферу на предприятии, что не благоприятствует хорошей работе всего коллектива. Всё это, конечно, решилось бы с увольнением инженера. Однако вы понимаете, что это слишком серьезное наказание. При этом вы не забываете и о том намеке, который сделал вице-президент относительно вас. Свой ответ аргументируйте.

## Кейс 5 «Ошибки в чертежах и спецификациях»

**Описание проблемы.** Вы технический руководитель фирмы Radio Electronic Assembly. Ваша фирма занимается проектированием, изготовлением и монтажом электронных устройств. Вы получили заказ на изготовление 20 радиоэлектронных функциональных узлов, которые спроектировала фирма Delta Design и которая одновременно является вашим конкурентом. Эта фирма в настоящий момент очень занята и у них нет времени заниматься этим заказом.

Один из ваших инженеров сообщает вам, что по его прикидочным расчетам электронная компонентная база устройств выбрана неверно и что надежность устройств не соответствует установленным в техническом задании требованиям. Вы звоните главному инженеру фирмы проектировщика Delta Design и сообщаете ему о своем сомнении.

Он же сообщает вам, что у него нет времени на повторные расчеты и что он доверяет своим инженерам. Кроме того, напоминает вам о коротких сроках, а также ставит вас на место, напоминая, что вашей фирме поручили изготовление, проектировщиками же являются они, т.е. и отвечают они, а не вы.

### *Вопросы*

1. Этично ли с вашей стороны начать изготовление радиоэлектронных функциональных узлов, которые, возможно, выйдут из строя через непродолжительное время после начала эксплуатации?

2. Должны ли вы произвести детальные расчеты? Не забывайте, что имеете дело с конкурирующей фирмой, которую есть возможность подставить!

## Кейс 6 «Манипуляция данными»

**Описание проблемы.** Вы являетесь лицензированным инженером и отвечаете за опыты по определению надежности радиоэлектронного средства ответственного назначения. Вы только что закончили предварительный анализ, и его результаты были намного более скромные, чем первоначально ожидалось. Вы докладываете об этом своему начальнику. Он очень расстроен даже после того, как вы объясняете, что результаты пока только предварительные, точные будут готовы лишь

через неделю. Он собирался доложить радостные известия на завтрашнем собрании акционеров. Он просит вас держать эти данные в секрете (даже от своих коллег) хотя бы до завершения этого собрания.

### **Вопрос**

Этично ли держать эту информацию втайне от акционеров?

## **Кейс 7 «Дилемма руководителя»**

Разберите несколько конкретных ситуаций и после этого ответьте на следующие вопросы:

1. Что общего между этими ситуациями?
2. Какими качествами должен обладать современный руководитель?
3. Какие ценности должны, на Ваш взгляд, составлять основу личности руководителя инновационного предприятия?

*Ситуация 1.* Вы обсуждаете с младшими руководителями своего подразделения вопрос, имеющий принципиальное значение. Тон разговора постоянно повышается. Появляется резкость в выражениях. На этом совещании находятся и несколько рядовых сотрудников. Что должен предпринять в этой ситуации старший руководитель?

*Ситуация 2.* На сегодняшнее утро Вы для беседы вызвали подчиненного, который часто опаздывает на работу. Вы по стечению обстоятельств задержались дома и пришли на работу с опозданием. Подчиненный ждет Вас. Как Вы поведете себя?

*Ситуация 3.* Вы принимаете работников по личному вопросу. К Вам стал часто приходить сотрудник, который подробно и долго излагает свое недовольство обслуживанием в столовой, приемом в медпункте, обращением вахтеров. С каждым его приходом Вы убеждаетесь, что человек повторяется, не беспокоясь о том, что отнимает у Вас время, задерживает других посетителей. Что бы Вы предприняли на месте руководителя?

*Ситуация 4.* К Вам пришел рабочий с просьбой отпустить его с работы на день. Вы спрашиваете о цели. Оказывается, он хочет использовать этот день на поиски другого места работы. Его уход лишит ваш участок очень нужного и квалифицированного специалиста. Как бы Вы отреагировали на просьбу рабочего?

*Ситуация 5.* Вас назначили начальником отстающего участка. Вы изучили сложившуюся здесь обстановку и решили провести собрание. Надо подготовиться к выступлению перед ним. Как бы Вы построили свое выступление?

## **Кейс 8 «Оказание давления»**

**Описание проблемы.** Иванов И. И. — многообещающий молодой менеджер, быстро продвигающийся по службе. Когда он только начал свою карьеру, его начальником был П. П. Петров — завзятый «трудоголик», чей опыт и знания очень помогли Иванову в то время. Два года спустя ситуация изменилась, и Иванов стал начальником Петрова, карьера Петрова после этого застопорилась. В последнее время Иванов и Петров работают в этой же организации и видятся нечасто.

Недавно Петрову посоветовали выдвинуть свою кандидатуру на вступление в члены клуба профессиональных управленцев, чтобы познакомиться там с людьми, которые могли бы «подтолкнуть» его карьеру в нужном направлении. Клуб был создан для продвижения идей высокого уровня профессионализма в мире бизнеса. Но Петров знает, что Иванов — член этого клуба и председатель отборочной комиссии. Собеседование проводится в помещении клуба. Для этого случая Петров оделся наиболее тщательно, хотя его гардероб не отличался большим выбором.

Когда он к назначенному времени приехал в клуб, его попросили подождать в зале для приглашенных. Ожидание заняло 15 минут. Когда секретарь наконец ввел Петрова в роскошно обставленный зал заседаний, тот оказался лицом к лицу с членами отборочной комиссии из 8 человек во главе с Ивановым. Все они были одеты в дорогие официальные костюмы. Петрова посадили в торце длинного стола, за которым расположились члены комиссии. Таким образом, комиссия с Ивановым во главе как бы образовала группу «своих» напротив Петрова, единственного среди них «чужака».

Во время последующего собеседования Иванов ни разу не дал понять, что знаком с Петровым, и не пытался обратить внимание комиссии на потенциальную ценность этого человека для клуба. Через

несколько дней после собеседования Петров случайно встретил Иванова на работе. Ему было неловко задавать Иванову какие-либо вопросы по поводу результатов собеседования, а Иванов первым об этом не заговаривал.

### **Вопросы**

1. Как вы думаете, почему Иванов решил организовать собеседование подобным образом?
2. Какие действия мог бы предпринять Петров, чтобы хоть в какой-то степени повлиять на ход собеседования?
3. Как вы думаете, Петрова приняли в члены клуба?

## **Кейс 9 «Критика»**

Ниже представлен диалог руководителя с подчиненным.

Действующие лица: г-н А — начальник отдела; г-н В — заместитель начальника отдела; г-н С — молодой сотрудник отдела.

Г-н А (обращается к г-ну С): «Г-н Д говорил, что из-за какой-то глупости с вашей стороны не состоялось подписание договора с заказчиком». (Обращаясь к г-ну В): «И вот в этом он весь. Ничего серьезного поручить нельзя». (Обращаясь к г-ну С): «Я в твои годы такие проблемы как орешки щелкал!».

Г-н С: «Г-н А! Но ведь вы...»

Г-н А: «Не перебивайте меня! Г-н В! Но ведь он неглупый парень. Помнишь, как он помог нам при разработке последнего проекта? Ладно. Дело в принципе поправимо. Возьмите на себя вопрос с подготовкой договора. Поручил бы я исправить положение г-ну С, да он еще дров наломает, как и в этот раз».

Г-н С: «Г-н А! Позвольте мне...»

Г-н А: «Все, разговор окончен».

### **Вопросы**

1. Корректно ли, на Ваш взгляд, ведет себя начальник отдела? Аргументируйте свой ответ.
2. Как должен был себя вести молодой сотрудник отдела?



## Кейс 10 «Роль руководителя в ситуации конфликта»

Руководители в среднем тратят 20 % своего времени на разрешение различного рода конфликтов. В условиях кризиса организации, угрозы банкротства, когда возникает ситуация повышенной конфликтности, руководителям особенно трудно найти верное решение. Чаще всего руководители используют упрощенную модель управления конфликтом. Ее суть:

- отсутствие направленности на сотрудничество;
- подчеркивание различий, игнорирование общих точек зрения;
- ставка на «моральный разгром» или устранение противника («выигрыш-проигрыш»);
- полярность в оценке одних и тех же фактов.

В некоторых организациях даже введены «запреты» на конфликтные ситуации, что специально оговаривается в правилах, регламентирующих поведение сотрудников организации. В результате разрываются контакты, ситуация выходит из-под контроля.

Вместе с тем мировой опыт свидетельствует о том, что именно конфликтные ситуации могут являться точками роста и развития организации, могут дать существенный толчок для формирования в ней новых отношений.

Однако для реализации этой важной функции конфликтов требуются два существенных условия:

во-первых, изменение отношения руководителя к конфликтам, формирование позитивного отношения к ним и умения «видеть» в конфликтах конструктивное начало;

во-вторых, формирование у руководителя умения анализировать конфликтные ситуации, управлять ими, обогащение «репертуара» технологий разрешения конфликтов.

Конфликтология рекомендует конструктивную модель поведения руководителя, суть которой состоит в том, чтобы привести конфликтующие стороны к совместному обсуждению проблемы. Руководитель при этом:

- выступает в качестве организатора диалога, демонстрируя не слабость, а неагрессивность намерений, жест доброй воли;

– предоставляет конфликтующим сторонам возможность спокойно обосновать свои претензии, способы разрешения предмета спора и желаемого конечного результата;

– формулирует права конфликтующих сторон, определяет допустимые формы поведения.

Вопреки традиционному мнению о предпочтительности «жестких» решений в управленческой деятельности сотрудничество дает шанс найти в ходе дискуссии способствующие выходу из тупика решения.

Основные положения этики управления, культуры управленческого труда сводятся к следующим подходам:

– руководитель призван быть управляющим, полагающимся не на свою власть, а на помощь и кооперацию подчиненных; он не ищет «козла отпущения», а показывает, как надо сделать;

– от руководителя требуется уверенность в себе и своем бизнесе, которая демонстрирует его способность владеть ситуацией в любых условиях;

– огромное значение имеет способность ценить время подчиненных. Непроизводительные затраты времени как своего, так и подчиненных – сигнал неудовлетворительного стиля руководства;

– руководитель обязан своевременно информировать подчиненных о недостатках в их работе, быть способным выслушивать и учитывать замечания о своих недостатках. Нельзя критиковать ради критики;

– строгость, требовательность к подчиненным всегда должна быть обоснована; негативной оценке подвергается не личность, а тот или иной промах человека;

– важные качества руководителя — вежливость, тактичность. Каждый человек всегда внутренне протестует против грубости; приказы нужно отдавать в вежливой форме;

– важно как умение говорить, так и умение слушать, излагать свои мысли кратко и четко; важно дать человеку возможность выговориться, снять психологическое напряжение;

– непереносимое условие успеха руководителя — знать и изучать своих подчиненных, проявлять заботу об их потребностях и проблемах.

**Задание.** Прочтите и обдумайте два интервью с генеральными директорами крупных организаций.

Ответьте на следующие **вопросы**.

1. Можно ли сделать какие-то выводы относительно стабильности и успеха в деятельности данных организаций?

2. Можно ли отнести обоих директоров к разряду эффективных и профессионально пригодных руководителей? Обоснуйте свои выводы. Укажите резервы успеха, которые не используются ни тем, ни другим.

3. Как быть, если с вами рядом работает человек, который неприятен вам своими манерами, внешним видом, привычками?

4. Как должны вести себя подчиненные, чтобы не провоцировать конфликты со своим первым руководителем?

5. Какие наблюдения и выводы вы могли бы еще добавить к обсуждению данных интервью?

*Интервью с генеральным директором № 1*

Вопрос: Каким образом Вы находите выход из конфликтов внутри Вашей организации?

Ответ: Я не собираюсь тратить время на решение конфликтов.

Вопрос: Как складываются Ваши отношения с подчиненными?

Ответ: Я постоянно им говорю, что они плохие работники; у нас нет кадров; у меня нет помощников; мне приходится работать самому за вас.

*Интервью с генеральным директором № 2*

Вопрос: Почему Вы уволили своего заместителя?

Ответ: Вы понимаете, он с самого начала меня очень раздражал!

Вопрос: Чем он Вас раздражал?

Ответ: Меня раздражало в нем все! Если бы вы видели, как он пьет кофе, как разворачивает конфеты, как шуршит бумажками! Я его уволил, ничего не сказав.

Вопрос: Кто в Вашей фирме, кроме Вас, принимает решения?

Ответ: Все решения принимаю Я!

Вывод автора интервью. Работники современных российских предприятий не защищены ни в личностном плане, ни в законодательном. Они в полной власти первых руководителей, не обученных культуре управленческого труда.

## Кейс 11 «Корпоративные задачи»

*Ситуация 1.* Вы получили одновременно два срочных задания: от вашего непосредственного и вашего вышестоящего начальника. Времени для согласования сроков выполнения заданий у вас нет, необходимо срочно начать работу. Ваши действия?

*Ситуация 2.* Между двумя вашими подчиненными возник конфликт, который мешает им успешно работать. Каждый из них в отдельности обращался к вам с просьбой, чтобы вы разобрались и поддержали его позицию. Каков ваш вариант поведения в данной ситуации?

*Ситуация 3.* В самый напряженный период завершения производственного задания в бригаде совершен неблагоприятный поступок, нарушена трудовая дисциплина, в результате чего допущен брак. Бригадир неизвестен виновник, однако выявить и наказать его надо. Как бы вы поступили на месте бригадира?

*Ситуация 4.* Подчиненный второй раз не выполнил ваше задание в срок, хотя обещал и давал слово, что подобного случая больше не повторится. Как бы вы поступили?

*Ситуация 5.* Подчиненный игнорирует ваши советы и указания, делает по-своему, не обращая внимания на замечания, не исправляя того, на что вы ему указываете. Как вы будете поступать с этим подчиненным в дальнейшем?

*Ситуация 6.* В самый напряженный период завершения производственной программы один из сотрудников вашего коллектива заболел. Каждый из подчиненных занят выполнением своей работы. Работа отсутствующего также должна быть выполнена в срок. Как вы поступите в этой ситуации?

*Ситуация 7.* В устоявшемся коллективе бывшего начальника сняли с должности. Нового начальника коллектив не принимает, игнорирует, вредит. Как установить контакт с подчиненными, не потеряв собственного достоинства?

*Ситуация 8.* У вас создались натянутые отношения с коллегой. Допустим, что причины этого вам не совсем ясны, но нормализовать отношения необходимо, чтобы не страдала работа. Что бы вы предприняли в первую очередь?

*Ситуация 9.* В вашем коллективе имеется работник, который скорее числится, чем работает. Его это положение устраивает, вас — нет. Как вы поступите в данном случае?

*Ситуация 10.* При распределении премии в зависимости от трудового вклада некоторые члены коллектива посчитали, что их незаслуженно «обошли». Это явилось поводом для их жалоб вышестоящему начальнику. Как бы вы отреагировали на эти жалобы на его месте?

## Список принятых сокращений

АТЭС	– Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество.
ВЧ	– высокочастотный.
ГОСТ	– межгосударственный стандарт.
ЕСКД	– единая система конструкторской документации.
ЕСКД	– единая система конструкторской документации.
ЕСКЗС	– единая система защиты изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений.
ЕСПД	– единая система программной документации.
ЕСТД	– единая система технологической документации.
ЕСТПП	– единая система технологической подготовки производства.
ЖЦ	– жизненный цикл.
ИКР	– идеальный конечный результат.
ИС	– интегральная схема.
ИТ	– информационные технологии.
КД	– конструкторская документация.
МО	– DoD, department of defense, Министерство обороны.
МФУ	– многофункциональное устройство.
НИР	– научно-исследовательская работа.
ОКР	– опытно-конструкторская работа.
ОП	– объект проектирования.
ПО	– программное обеспечение.
ПТ	– техническое предложение.
РоСНИО	– Российский союз научных и инженерных общественных объединений.
РП	– рабочий проект.
РФ	– Российская Федерация.
РЭС	– Радиоэлектронное средство.
САПР	– система автоматизированного проектирования.
СВЧ	– сверхвысокочастотный.
СИ	– системная инженерия.
СМД	– системо-мыследеятельностный.

- СРПП – система разработки и постановки продукции на производство.
- СЭП – схема электрическая принципиальная.
- СЭС – схема электрическая структурная.
- ТД – технологическая документация.
- ТЗ – техническое задание.
- ТО – технический объект.
- ТП – технический проект.
- ТР – техническое решение.
- ТРИЗ – теория решения изобретательских задач.
- ТС – техническая система.
- ТТ – технические требования.
- ТФ – техническая функция.
- ФО – физическая операция.
- ФПД – физический принцип действия.
- ФС – функциональная структура.
- ФУ – функциональный узел.
- ЭВМ – электронная вычислительная машина.
- ЭКБ – электронная компонентная база.
- ЭП – эскизный проект.
- ЭРЭС – электронные и/или радиоэлектронные средства.
- ЭС – электронное средство.
- ЭУ – электронное устройство.
- CAD – Computer Aided Design, автоматизированное конструкторское проектирование.
- CAE – Computer Aided Engineering, автоматизированные расчеты и анализ.
- CALS – Continuous Acquisition and Lifecycle Support — непрерывная поддержка производства и жизненного цикла.
- CAM – Computer Aided Manufacturing, автоматизированная технологическая подготовка производства.
- CNC – Computer Numerical Control, компьютерное числовое управление.
- CPC – Collaborative Product Commerce, совместный электронный бизнес.

- CRM – Customer Relationship Management, управление взаимоотношениями с заказчиками.
- EKP – Enterprise Resource Planning, планирование и управление предприятием.
- FMEA – Failure Mode Effect Analysis, анализ последствий режима отказа.
- GUI – graphical user interface, Графический интерфейс пользователя.
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers, Институт инженеров электротехники и электроники.
- INCOSE – International Council on Systems Engineering, Международный совет по системной инженерии.
- IPTV – Internet Protocol Television, телевидение по протоколу интернета, интерактивное телевидение.
- ISO – International Standard Organisation, Международная организация стандартизации.
- LHC – large hadron collider, большой адронный коллайдер.
- MES – Manufacturing Execution System, производственная исполнительная система.
- MRP – Manufacturing Requirement Planning, планирование производства.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration, Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства.
- NSPE – National Society of Professional Engineers, Национальное общество профессиональных инженеров.
- PDM – Product Data Management, управление проектными данными.
- PR – Public Relations, связи с общественностью.
- RCA – Root cause analysis, анализ корневой причины.
- RFID – Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация.
- RRI – Responsible Research and Innovation, ответственные исследования и инновации.
- S&SM – Sales and Service Management, управление продажами и обслуживанием.



- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition, диспетчерское управление производственными процессами.
- SCM – Supply Channel Management, управление последовательностью поставок.
- SMD – surface mounted device, прибор, монтируемый на поверхность.
- SQL – structured query language, структурированный язык запросов.
- TA – Technology Assessment, оценка технологий.
- TRL – technology readiness levels, уровни готовности технологий.
- VIM – visual interactive modeling, визуальное интерактивное моделирование.
- VIS – visual interactive simulation, визуальная интерактивная симуляция.

Учебное издание

**Кривин Николай Николаевич**

**ВВЕДЕНИЕ В МЕТОДОЛОГИЮ СИСТЕМО-  
И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ЭЛЕКТРОННЫХ И РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие для бакалавриата,  
специалитета и магистратуры

Подписано в печать .2020.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 14,65.  
Тираж 100 экз. Заказ

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.  
Тел. (3822) 533018.