

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

В

ДЛЯ ВУЗОВ

А. И. Половинкин

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

• МАШИНОСТРОЕНИЕ •

В

ДЛЯ ВУЗОВ

А.И.Половинкин

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

2-е издание, переработанное и дополненное

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов высших технических учебных заведений



МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1988

ББК 32.81
П52
УДК 658.512.2 (075.8)

Рецензенты д-р техн. наук проф. Р. Р. Мавлютов,
канд. техн. наук А. В. Никитин,
канд. психологических наук А. А. Вербицкий

Половинкин А. И.

П52 Основы инженерного творчества: Учеб. пособие
для студентов вузов. — М.: Машиностроение, 1988.
— 368 с.: ил.

ISBN 5-217-00016-3

Даны основные понятия, единые для различных эвристических и машинных методов инженерного творчества (функция технического объекта, функциональная структура, физический принцип действия, техническое решение, критерии развития и др.). Изложены наиболее распространенные эвристические методы: мозговой штурм, метод эвристических приемов, морфологический анализ и синтез, функционально-стоимостной анализ. Изложены машинные методы поискового проектирования и конструирования применительно к задачам поиска улучшенных физических принципов действия и технических решений. Весь материал иллюстрирован на примерах из различных областей техники.

П $\frac{1502000000-015}{038(01)-88}$ 15—88

ББК 32.81

ISBN 5-217-00016-3 © Издательство «Машиностроение»,
1988

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года», утвержденных XXVII съездом КПСС, указана генеральная линия нашей страны — ускорение социально-экономического развития на основе научно-технического прогресса и всесторонней интенсификации. При этом отмечено главное направление работы: «Осуществить коренное повышение технического уровня выпускаемой продукции. Обеспечить создание и освоение производства техники новых поколений, позволяющей многократно повысить производительность труда, улучшить его условия, существенно снизить материальные затраты». Решение этих задач в первую очередь связано с изобретением, разработкой и освоением новых машин, приборов и оборудования, новых технологий и материалов.

Один из главных недостатков в подготовке большинства выпускников инженерных специальностей — неумение самостоятельно ставить новые задачи, неумение решать задачи поиска новых конструкторско-технологических решений на уровне изобретений, обеспечивающих в итоге повышение качества продукции, достижение мирового уровня, всестороннюю интенсификацию и экономию ресурсов. Учебный процесс в основном построен на решении таких теоретических и практических задач, для которых уже имеется готовая постановка задачи, дается способ ее решения в виде четкого алгоритма, имеются примеры решения задач по этому способу, а преподавателю (а часто и студенту) известен ответ. При этом решение задачи часто превращается в рутинную работу, не требующую глубоких творческих размышлений.

В дополнение к приобретению навыков решения таких задач (что выпускник также должен уметь хорошо делать!) будущий специалист обязан овладеть знаниями

и навыками решения творческих инженерных задач, в которых нет готовой постановки, неизвестен способ решения, нет близких примеров решения аналогичных задач, а преподавателю — неизвестен ответ, обычно имеющий несколько вариантов.

Необходимость восполнения указанного пробела в подготовке специалистов особо выделена в «Основных направлениях перестройки высшего и среднего специального образования в стране», где сказано: «Первоочередная задача — осуществить решительный поворот от массового, валового обучения к усилению индивидуального подхода, развитию творческих способностей будущих специалистов ... Процесс формирования инженерных кадров должен быть подчинен развитию у них навыков самостоятельного технического творчества, системного анализа технико-экономических проблем, умения находить эффективные решения».

Введение в вузах дисциплины «Основы инженерного творчества» призвано сыграть ключевую роль в реализации этого директивного указания, а также в перестройке и повышении эффективности их работы. Опыт преподавания такой дисциплины в ряде вузов страны и за рубежом позволяет прогнозировать прогрессивные положительные результаты изучения методов инженерного творчества в увязке с другими дисциплинами и различными видами учебной работы.

Во-первых, резко возрастает доля студентов, работающих увлеченно и самостоятельно, в итоге приобретающих активную позицию и повышенный творческий потенциал — весьма актуальные качества для молодого специалиста. Во-вторых, многократно увеличивается доля курсовых и дипломных проектов, содержащих творческие инженерные решения. В-третьих, возрастает объем интеллектуальной продукции на кафедре в виде авторских свидетельств и патентов на изобретения, сделанных преподавателями и студентами, а также в виде разработанных и реализованных на практике предложений по новым конструкторско-технологическим решениям.

Автор выражает благодарность и признательность Т. П. Бабинцевой, С. А. Генералову, Т. М. Зверевой, С. Г. Колесникову, С. А. Николаеву, Я. Ш. Флейтману, С. А. Фоменкову, оказавшим большую помощь в подготовке рукописи книги.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АБИЗ	—	автоматизированный банк инженерных знаний
ИТ	—	инженерное творчество
ИТР	—	идеальное техническое решение
КПД	—	коэффициент полезного действия
МА	—	мозговая атака
НТП	—	научно-технический прогресс
ОС	—	окружающая среда
РЭА	—	радиоэлектронная аппаратура
САПР	—	система автоматизированного проектирования
СДС	—	синтез допустимой структуры
ТЗ	—	техническое задание
ТИЗ	—	творческая инженерная задача
ТО	—	технический объект
ТР	—	техническое решение
ТФ	—	техническая функция
УПП	—	универсальное пространство параметров
ФО	—	физическая операция
ФП	—	функция планирования
ФПД	—	физический принцип действия
ФС	—	функциональная структура
ФСА	—	функционально-стоимостной анализ
ФТЭ	—	физико-технический эффект
ФУ	—	функция управления
ФЭ	—	функциональный элемент
ШЛП	—	шаг локального поиска
ЭП	—	эвристический прием
ЭФ	—	энергетическая функция

История развития человечества — это прежде всего история изобретения, создания и совершенствования различных изделий и технологий. Систематическое использование и обработка нашими далекими предками камня и палки, начавшиеся около миллиона лет назад, технология добывания и использования огня, возникшая примерно 100 тыс. лет назад, лук и стрелы с кремниевыми наконечниками, появившиеся около 10 тыс. лет назад, повозка с колесами, выплавка бронзы, водяное колесо, токарный станок, скрипка, паровая машина, пластмассы, телевизор, вычислительная машина, космический аппарат, искусственное сердце и необозримо многое другое — все это результаты удивительного, мучительного и величественного процесса, называемого *творчеством*.

Тысячи известных и безымянных изобретателей и рационализаторов породили необъятный теперь мир техники и технологии. Этот мир действительно велик. Только в нашей стране номенклатура выпускаемых изделий превышает 20 млн. единиц!

Если говорить в целом об истории инженерного творчества (ИТ), то прежде всего вызывают удивление темпы его роста, которые иллюстрируются табл. 1, где под классом изделий подразумеваются технические объекты, имеющие одинаковые или очень близкие функции (например, класс молотков, болтов, стульев, стиральных машин, токарных станков, паровых турбин и т. д.). При взгляде на табл. 1 невольно возникает вопрос, какие же показатели по числу классов и сложности изделий будут через 100 лет?! Что изменится за этот, с одной стороны, малый промежуток времени (по сравнению со всей историей технического прогресса), а с другой — очень большой, если учесть современные, заметные каждому темпы развития техники, которые продолжают ускоренно возрастать?!

Т а б л и ц а 1

Возрастание числа изделий и их сложности

Время	Приближенное число классов изделий	Среднее число различных деталей в наиболее сложных изделиях
100 000 лет назад	5	1
10 000 » »	50	10
1 000 » »	1 000	100
Настоящее	50 000	10 000
2088 год	?	?

Что Вы, дорогой читатель, запишите в последней строке табл. 1? Каков будет мир техники через 25, 50 и 100 лет?

Цели и задачи настоящей учебной дисциплины — обучение навыкам постановки и решения задач поиска (изобретения) новых, более эффективных конструкторско-технологических решений, в том числе решений, превосходящих мировой уровень. Такие задачи возникают при разработке новых машин, приборов, технологического оборудования и технологий, при выполнении плановых работ по реконструкции и модернизации. Решение проблемы интенсивного развития экономики выдвинуло большое число дополнительных творческих инженерных задач, связанных с экономией трудовых ресурсов, сырья, материалов и энергии.

Другая не менее важная цель изучения дисциплины — подготовка к овладению *интенсивной технологией инженерного творчества*, основанной на использовании методов ИТ, специально подготовленной информации и вычислительной техники.

Почему с возрастающей настойчивостью ставится вопрос массового обучения молодежи методам ИТ?

В возрасте до 20—25 лет значительно легче формируется творческая личность, осваиваются психология и методология ИТ, нежели после 30 лет. Известно, что революционные идеи создания новых высокоэффективных машин, аппаратов, приборов и технологий чаще выдвигают и разрабатывают люди до 30 лет. Ускорение научно-технического прогресса, экономическая мощь страны находятся в прямой зависимости от ее творческого потенциала, т. е. от числа творчески работающих конструкторов.

торов, технологов, ученых. Широкое и активное участие молодежи в инженерном творчестве многократно увеличивает творческий потенциал страны.

Другая причина связана с возрастанием сложности изделий, что было уже показано в табл. 1, в глобально-историческом разрезе. Однако особый интерес вызывают последние десятилетия, в течение которых наблюдаются быстрый рост сложности изделий по числу деталей и используемых физических эффектов, расширение номенклатуры используемых материалов и комплектующих элементов, рост разнообразия самих технических систем, сокращение времени их создания и морального старения, возрастание объема патентной и научно-технической информации и т. д. Эти факторы привели к такому положению, когда объем работ по выбору новых улучшенных проектно-конструкторских решений, т. е. по ИТ, начиная с середины XX века *возрастает за каждые 10 лет примерно в 10 раз* (при условии сохранения качества разработок). Это по существу не прекращающееся во времени взрывообразное увеличение объема работ все более не согласуется с фактическим ростом числа научных и инженерно-технических работников, призванных обеспечивать технический прогресс. Ниже показано относительное возрастание объема работ по ИТ и максимально возможные темпы роста кадрового потенциала, призванного заниматься ИТ:

	1950 г.	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1990 г.
Нормальный рост объема работ по ИТ	1	10	100	1000	10 000
Рост кадрового потенциала	1	3	9	20	20

Заметим, что среди всех инженеров, техников и рабочих без обучения методам ИТ результативно занимаются ИТ не более 20%, т. е. абсолютный прирост кадрового потенциала в соответствии с приведенными данными нужно умножить на коэффициент 0,1—0,2.

Несоответствие между нормальным ростом объема работ и качеством подготовки инженерных кадров породило ряд негативных последствий, в первую очередь снижение качества многих новых изделий. В ближайшем будущем наиболее высокие темпы технического прогресса (в смысле

повышения показателей эффективности изделий) будут в тех странах, в которых объем работ по ИТ в наибольшей мере приближается к нормальному росту. В связи с этим мы сможем справиться с быстро нарастающим объемом работ по ИТ и обеспечить нормальные темпы технического прогресса при выполнении двух условий:

при введении массового обучения ИТ;

при широком использовании вычислительной техники в решении трудоемких и сложных задач ИТ.

Существует мнение, что умение находить, ставить и решать изобретательские и рационализаторские задачи — это «божий дар», которому нельзя обучить. Как относиться к такой точке зрения? *Может ли каждый научиться изобретать?*

По мнению ряда авторитетных педагогов обучение ИТ заметно повышает творческий потенциал *каждого человека*. Конечно, у одаренных людей при одинаковом обучении со всеми творческий потенциал остается относительно более высоким. Здесь вполне можно провести аналогию со спортом. Каждого здорового человека можно научить достаточно хорошо играть в волейбол или шахматы, но у спортсменов, имеющих соответствующие природные данные, результаты будут выше.

Если говорить конкретнее, то основная цель обучения заключается в *выявлении и раскрытии творческих наклонностей и способностей*, о которых многие обучаемые не подозревают (и может быть до конца своей жизни не узнали бы!). Обучение ускоряет приобретение опыта и мастерства одаренными (в смысле ИТ) специалистами. Для людей, имеющих слабые природные задатки, обучение дает в руки инструмент и навыки, которые позволяют успешно решать довольно широкий круг творческих инженерных задач. И еще один нюанс, который лучше передать словами английских проф. М. Тринга и Э. Лейтуэйта: «Как показал наш собственный опыт, лишь немногие из тех, кто наделен талантом изобретателя, умеют развивать талант и пользоваться им» [13].

Таким образом, необходимость массового обучения молодежи ИТ кроме всего прочего сильно связана с поднятием престижа инженера, популярности инженерного труда и повышением качества обучения во вузе. Дело в том, что многие инженеры, не умея ставить и решать творческие задачи, вынуждены заниматься утомительной и неинтересной рутинной работой. Приобретение навыков

постановки и решения творческих инженерных задач значительно увеличит долю творческого труда. Хорошо известно, что с ИТ обычно связаны наиболее яркие страницы внутренней жизни человека, работающего в области техники. Кроме того, ИТ часто приносит еще дополнительное моральное и материальное вознаграждение и глубокое удовлетворение полученным результатом. Поэтому массовое обучение методам ИТ — это один из наиболее действенных путей повышения интереса к инженерному труду.

Ответим на ряд вопросов. *Какие в настоящее время существуют методы ИТ?* Известно довольно большое число методов, которые условно можно разделить на две группы:

1. Эвристические методы технического творчества, основанные на использовании достаточно четко описанных методик и правил поиска новых технических решений. Эти методы начали разрабатывать еще с древних времен [9] (Сократ, Архимед); особое внимание им уделили выдающиеся ученые XVII—XVIII вв. Ф. Бэкон, Р. Декарт и Г. Лейбниц. Начиная с 40-х гг. нашего столетия резко возросли исследования и разработки по созданию и применению эвристических методов, методик, приемов, принципов, правил и т. п. В настоящее время известно более 100 эвристических методов, методик, подходов и их модификаций.

2. Компьютерные методы поискового конструирования, основанные на использовании ЭВМ в решении творческих инженерных задач. Эти методы начали разрабатывать и применять в 60-х годах. В настоящее время известны десятки различных подходов и методов поискового конструирования.

Обзор эвристических и компьютерных методов ИТ достаточно широко освещен в литературе [1, 5, 9, 25, 41].

Принимая во внимание довольно большое разнообразие методов ИТ и то, что их число продолжает расти (в силу молодости самой дисциплины), зададимся вопросом: *Какому методу или каким методам рекомендуется в первую очередь обучать?*

Как считают опытные педагоги и методисты, нецелесообразно обучать какому-либо одному методу или стараться освоить все имеющиеся подходы и методы. Студент или специалист на первом этапе или на первой ступени овладения методами ИТ должен научиться свободно поль-

зоваться небольшим набором из трех — пяти методов. Дальнейшее повышение эффективности деятельности творчески работающего инженера связано с приобретением собственного опыта и расширением набора используемых методов и систем методов решения творческих инженерных задач.

Настоящий курс направлен на изучение трех эвристических методов (методы мозговой атаки, эвристических приемов, морфологического анализа и синтеза) и трех компьютерных методов (методы синтеза технических решений на И—ИЛИ графах, синтеза физических принципов действия, математического программирования — синтеза оптимальных структур и форм). Имеются и другие эффективные методы и системы методов инженерного творчества: метод синектики [24, 26], метод контрольных вопросов [41], алгоритм решения изобретательских задач [2], специальные объектно ориентированные компьютерные методы синтеза и анализа конструкторско-технологических решений и др.

Какие принципиальные отличия имеют эвристические методы технического творчества и методы поискового конструирования?

В 1977 г. было проведено условное разделение между эвристическими и компьютерными методами (с помощью первых решают задачи технического творчества, с помощью вторых — задачи поискового конструирования). К задачам технического творчества были традиционно отнесены такие, при которых человек решает поставленную задачу способом «проб и ошибок» или с помощью эвристических методов без использования ЭВМ. К задачам поискового конструирования отнесены такие творческие инженерные задачи, которые человек решает с использованием ЭВМ.

Если бы все задачи поискового конструирования одновременно можно было решать с помощью эвристических методов, то, конечно, не имело бы смысла их особо выделять. Однако, как показали не только теория, но и практика, множество задач технического творчества не включает в себя полностью множество задач поискового конструирования, а только пересекаются с ним, т. е. существует некоторое подмножество задач поискового конструирования, которые человек не может решить без ЭВМ или решение их без машинной поддержки (при эквивалентном результате) вызывает значительные труд-

Различия четко определенных и творческих инженерных задач

Показатели сравнения задач	Инженерные задачи	
	четко определенные	творческие
Постановка задачи	Имеется	Как правило отсутствует
Метод (способ) решения	Как правило, указан	Не указан
Обучающий пример	Имеется	Отсутствует
Результат решения	Как правило, однозначен и известен преподавателю	Как правило, многозначен и неизвестен преподавателю

ности. Это непосильные для естественного интеллекта творческие задачи. Особенно это относится к изделиям, созданным на основе новых физических принципов действия, затруднительных для мысленного моделирования, а также к таким сверхсложным техническим комплексам, о которых человек без ЭВМ уже не может иметь цельного и ясного представления. Число подобных задач со временем будет расти, что и оправдывает выделение специальных методов поискового конструирования в особую группу и заставляет стимулировать их развитие.

Чем отличается настоящий курс по основам ИТ от традиционных учебных курсов?

Почти все учебные курсы, начиная от математики и механики и кончая специальными дисциплинами, дают знания и навыки решения *четко определенных инженерных задач* (например, вычисление объема тела сложной формы, расчет вала на прочность, определение параметров редуктора, выбор технологического оборудования и т. п.). Курс по методам ИТ призван дать знания и привить навыки в постановке и решении *творческих инженерных задач*. Эти два класса задач имеют принципиальные отличия (табл. 2), из которых видно, что творческие инженерные задачи несоизмеримо труднее и сложнее четко определенных задач. Отличия между этими типами задач требуют принципиально по-новому ставить обучение ИТ. И здесь предстоят долгие годы педагогических поисков и находок.

Обучая(-ясь) умению ставить и решать творческие задачи, мы должны всегда помнить, что умение быстро и правильно решать четко определенные инженерные задачи является не менее важным, поскольку без него ИТ превращается в беспочвенную фантазию, а результат ИТ, как правило, не может быть доведен до практической реализации.

Другая особенность настоящего курса состоит в том, что обучение нельзя ставить только на повторяющихся из года в год учебных задачах, как это делается в большинстве традиционных дисциплин. Вслед за рассмотрением учебных задач обучаемый должен обязательно выполнить курсовую работу по решению реальной задачи. Реальная задача, в отличие от абстрактной, имеет конкретного заказчика (завод, КБ, комбинат бытового обслуживания, само учебное заведение и т. д.), т. е. имеются заинтересованные живые люди, с кем можно обсудить постановку задачи, на месте можно познакомиться с проблемной ситуацией, можно показать полученные решения, а удачные решения практически реализовать.

Только такие реальные задачи вызывают большой интерес и высокую активность у обучаемых, прочно закрепляют знания и навыки и одновременно дают значительную практическую пользу. Освоение методов ИТ только на учебных задачах аналогично обучению плаванию в бассейне без воды.

Выскажем некоторые рекомендации преподавателям.

1. Задача курса по основам ИТ заключается не в подготовке специалистов для выполнения стандартных операций, а в воспитании *творческих личностей*. Поэтому здесь обязателен *индивидуальный подход* к обучаемым, как это принято в театральной студии, консерватории или художественной мастерской. В связи с этим преподаватель *сам должен быть творческой личностью*, умеющей ставить и решать задачи ИТ. Ибо никто из нас не пошел бы (или не отдал своих детей) учиться игре на скрипке к учителю, который только хорошо знает нотную грамоту, но не умеет играть на инструменте.

Главная цель изучения основ ИТ заключается не в том, чтобы «натаскать» студентов применять отдельные методы. Во-первых, механическое применение методов без эмоционального творческого подъема, без большого внутреннего желания решить задачу мало что дает. Во-вторых, изучаемые методы выделяют только отдельные

стороны и моменты в очень сложном и весьма отличающемся у отдельных людей творческом процессе. Поэтому главная цель настоящей дисциплины — подготовить и сформировать специалистов со своей индивидуальной системой творческого мышления. При этом изучаемые методы ИТ ускоряют формирование творческой личности и расширяют ее потенциальные возможности.

2. При воспитании творчески мыслящих инженеров особое внимание должно быть уделено их *эстетической подготовке*. Здесь не имеется в виду изучение и понимание принципов художественного конструирования и технической эстетики, излагаемых в соответствующих учебниках; речь идет об умении понимать, чувствовать и руководствоваться (при поиске новых технических решений) *внутренней функциональной красотой изделий*.

Дело в том, что показатель функциональной красоты до XVIII в., когда еще не существовало развитых расчетных методов, был единственным интегральным критерием, по которому осуществлялся поиск наиболее совершенных конструкций сооружений, механизмов и машин. И в наше время, когда значительно возросли сложность изделий и требования к ним, когда расчетные методы и математические модели не могут охватить всей этой сложности, соответственно возросла актуальность интегрального критерия красоты. Этим критерием особенно важно руководствоваться на начальных концептуальных стадиях разработки новых изделий.

3. Как относиться к имеющемуся опыту преподавания методов ИТ и что из него имеет смысл заимствовать?

В нашей стране и за рубежом имеется более чем двадцатилетний опыт обучения эвристическим методам. Этот период можно назвать периодом «алхимии»; он сыграл большую положительную роль и имеет свои методические и педагогические находки и достижения. Эти находки, несомненно, должны быть использованы в дальнейшем.

Наряду с этим в последние годы велись разработки и апробация *новой методологии обучения* основам ИТ, отличающейся большей научной и педагогической обоснованностью. В нашем курсе обучения планируется по возможности реализовать эту методологию, которая характеризуется следующими особенностями.

Во-первых, все методы ИТ должны иметь *единую научно обоснованную понятийную основу*, согласованную с понятийной основой инженерных, математических и

других дисциплин, изучаемых в техническом учебном заведении.

Во-вторых, все эвристические методы должны иметь *двойную ориентацию*. Это значит, что они могут быть использованы как обычные эвристические методики, а также в них должна быть грамотно заложена возможность использования ЭВМ. Как показали исследования, каждый эвристический метод может быть реализован в виде диалоговой программы с применением ЭВМ.

В-третьих, наряду с эвристическими методами представляется целесообразным и необходимым использование *специальных методов поискового конструирования*, которые не могут быть реализованы без ЭВМ. Это направление позволяет использовать уже имеющиеся теоретические и методические результаты в области искусственного интеллекта.

В-четвертых, методы технического творчества и поискового конструирования должны быть реализованы в виде комплекта документации, обеспечивающего и облегчающего их широкое внедрение в учебную и проектно-конструкторскую работу на достаточно высоком научно-методическом уровне. Такой комплект, называемый *обучающе-рабочим модулем*, основывается на каком-либо методе ИТ, ориентирован на конкретную инженерную специальность (группу специальностей) и включает:

- четко описанную методику постановки и решения задачи, имеющую межотраслевой или проблемно-ориентированный характер;

- необходимое информационное обеспечение;

- наборы учебных задач и заданий, обычно имеющих предметную или объектную ориентацию;

- программное обеспечение с инструкциями по использованию и развитию;

- рекомендации по использованию обучающе-рабочего модуля в учебной работе, НИР, ОКР и в САПР.

И еще есть одна отличительная особенность, о которой уже говорилось: после разбора учебных задач обучаемые должны обязательно решить реальные задачи.

Сейчас всем, кто занимается обучением ИТ, нельзя оставаться на, казалось бы, хорошо отработанных позициях 70-х гг. Нужно приложить большие усилия для реализации новой более перспективной методологии обучения основам ИТ.

4. Содержание настоящего учебного пособия состоит как бы из двух частей. Первую часть (гл. 1—10, 14) можно изучать без использования вычислительной техники, однако применение ЭВМ несомненно повысит уровень и эффективность обучения. Что касается глав 11—13, то их не имеет смысла изучать без проведения лабораторных и курсовых работ на ЭВМ. По отношению к этим главам заметим, что в них даны в основном общие методы поискового конструирования. При изучении курса на определенной специальности рекомендуется наряду с общими давать специализированные методы поискового конструирования, ориентированные на соответствующие классы изделий и технологий. Где взять программное обеспечение? Его нетрудно сделать самим (силами студентов) на основе изложенных методов и алгоритмов или получить более развитые системы в институтах страны.

При изложении теоретических вопросов и самих методов ИТ в пособии в качестве примеров были использованы простые, общедоступные и понятные каждому студенту устройства и технические объекты. Наряду с ними при изучении настоящего курса рекомендуется рассматривать также более сложные примеры, относящиеся к инженерной специальности обучаемых.

5. С какими дисциплинами имеет связь настоящий курс? В первую очередь следует отметить специальные инженерные дисциплины по изучению отдельных классов машин, аппаратов, приборов, сооружений, технологий и технологических процессов. В каждой из этих дисциплин нужно давать не статику сегодняшнего или вчерашнего дня, как это часто бывает, а диалектику прогрессивного развития техники. В соответствии с рекомендациями гл. 3—6 необходимо показать, почему и благодаря каким творческим решениям прошлое поколение машин или приборов было заменено настоящим. Какие сегодня стоят задачи совершенствования техники и технологии, каким требованиям должно удовлетворять следующее поколение машин? Решению этих задач должно уделяться повышенное внимание при выполнении учебной исследовательской работы студентов (УИРС), курсовых и дипломных работ и проектов, в том числе с использованием методов ИТ. В этом в первую очередь и состоит углубленное проблемное изучение специальных дисциплин, которое со студенческой скамьи мобилизует и подключает большой творческий потенциал к работе по ускорению технического прогресса.

При изучении дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» (САПР) рекомендуется отмечать, что при выборе конструкторско-технологических решений необходимо использовать машинные методы ИТ. Это значительно расширяет возможности САПР и повышает их эффективность [1].

В курсе «Математическое моделирование изделий и технологий» особое внимание следует уделять изучению наиболее универсальных методов, которые позволяют проводить оперативное моделирование и анализ технических объектов с произвольными, в том числе и новыми, принципами действия и техническими решениями. Такие методы и соответствующие автоматизированные системы моделирования значительно повышают эффективность использования методов ИТ.

В курсе «Автоматизированные банки данных и банки знаний» необходимо уделить внимание формированию баз данных и банков знаний по патентной информации и техническим решениям, физико-техническим эффектам, материалам и т. п. При этом следует показать полезность этих баз данных и знаний для отдельных методов ИТ.

После решения творческой инженерной задачи, как правило, приходится рассматривать серию четко определенных рутинных инженерных задач, однако часто для новых конструкторско-технологических решений нет готовых или подходящих методов расчета и оценки нужных показателей и характеристик. В этих случаях возникают задачи научного творчества, которые чаще всего связаны с разработкой математической модели или проведением экспериментальных исследований нового устройства или технологии. Методы постановки и решения таких задач рассматривают в дисциплине «Основы научных исследований». При изучении этого курса необходимо выделить возникающие в таких случаях типичные ситуации и подробно их рассмотреть, чтобы будущий инженер знал, как проверить и обосновать жизнеспособность новой технической идеи.

Курс «Основы патентоведения» должен изучаться параллельно и в увязке с дисциплиной по основам ИТ. Наряду с умением составлять заявки на изобретения, обучаемые должны получить четкое представление о мировом техническом уровне и патентно-лицензионной коммерческой деятельности.

Итак, Вы закончили читать «Введение» и задумались над вопросом: еще одна дисциплина; как отнестись к методам ИТ среди множества других дисциплин и дел?

К ответу на каждый кардинальный вопрос обычно ведет цепочка вырабатывающих свою точку зрения рассуждений. В данном случае это будут и такие примерно мысли...

Изучая этот предмет, я познаю одну из скрытых и очень важных сторон моего «я» — имею ли я природные способности к ИТ? Какое место занимаю по этим способностям среди друзей и знакомых? Если они не достаточно проявятся сразу, то этот предмет поможет их раскрыть и развить.

Говорят, состояние творческого поиска и возбуждения, момент открытия истины и нового решения — ни с чем не сравнимое и ничем не заменимое особое удовольствие и наслаждение, которое интересно испытать...

Ускорение научно-технического прогресса, всесторонняя интенсификация производства, непрерывное коренное повышение качества продукции — это прежде всего возрастающее число разнообразных задач ИТ. Поэтому как инженер и специалист могу принести наибольшую пользу Отечеству своей творческой деятельностью с доведением найденных новых конструкторских и технологических решений до практической реализации.

Психологи утверждают, что каждое изобретение и рационализаторское предложение — это ничем не восполнимые ступеньки духовного роста человека как личности, его самоутверждения в жизни, подъема его авторитета среди друзей и знакомых, руководства и подчиненных...

Эти рассуждения можно продолжить дальше, поскольку обсуждаемая проблема весьма многогранна. Например, мы еще не коснулись возможных мыслей о том, что плодотворно работающий изобретатель и рационализатор может сам удвоить свою зарплату только своей инициативной творческой работой.

Но все эти рассуждения ни к чему, если Вы не примете решения стать «альпинистом», т. е. если с энтузиазмом и терпением не станете осваивать первые уроки техники восхождения к вершинам конструкторской мысли. Желаю Вам испытать муки и радости покорения своих вершин.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ИНВАРИАНТНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕХНИКИ

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 доста-
точным основанием учения.

Н. И. Лобачевский

1. О ПРИНЦИПАХ ВЫБОРА ПОНЯТИЙ

В основе любой сформировавшейся научной или учебной дисциплины лежит относительно небольшой набор четко определенных понятий, которые служат строительными блоками всего здания определенного раздела науки. Эти понятия, как правило, связаны между собой и с понятиями фундаментальных наук. Правильно выбранные и правильно определенные понятия живут, можно сказать, вечно в соответствующей дисциплине и способствуют ее прогрессивному развитию. К таковым можно отнести, например, понятия вида и рода, органа и клетки, гена и экологической ниши в биологии, массы и ускорения, электрического заряда и напряженности поля, атома и электрона в физике и т. д. Введение ошибочных понятий, напротив, затормаживает развитие науки или способствует возникновению ложных построений, которые затем отбрасываются.

В настоящей главе сделана попытка определить основные понятия техники в рамках обобщенных методов ИТ. Система таких понятий позволит рассуждать на одном языке о разных объектах техники и достаточно четко сопоставлять их свойства. При формировании основных понятий руководствовались следующими принципами:

каждое понятие должно иметь отношение ко всем известным (или почти ко всем) техническим объектам (ТО)

и методам ИТ; в этом и заключается инвариантность понятия;

понятия должны описывать основные свойства ТО, с которыми приходится иметь дело при проектировании, конструировании и изучении ТО;

понятия должны описывать по возможности измеримые свойства ТО, имеющие количественную характеристику;

вводимые понятия должны в наибольшей мере использовать и учитывать сложившуюся в технических науках терминологию;

число основных понятий должно быть минимальным.

2. ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ И ТЕХНОЛОГИЯ

Результатами ИТ чаще всего являются новые, более совершенные и эффективные технические объекты и технологии или, выражаясь языком патентоведов, новые устройства и способы.

Техническим объектом (ТО) будем называть созданное человеком или автоматом реально существующее (существовавшее) устройство, предназначенное для удовлетворения определенной потребности. К ТО можно отнести отдельные машины, аппараты, приборы, ручные орудия труда, одежду, здания, сооружения и т. п. устройства, выполняющие определенную функцию (операцию) по преобразованию объектов живой и неживой природы¹, энергии или информационных сигналов. К ТО будем также относить любой из *элементов* (агрегат, блок, узел, деталь), из которых состоят машины, аппараты, приборы и т. д., а также любой из комплексов взаимосвязанных машин, аппаратов, приборов. Это может быть технологическая линия, цех, завод и т. п.

Как видно из определения, ТО представляет собой весьма широкое понятие. Так, например, к ТО можно отнести самолет и кофемолку, мачту ЛЭП и лопату, ЭВМ и туфли, завод и выпускаемые им болты и гайки.

Как синоним понятия «технический объект» в литературе часто используют еще понятие «техническая система».

Существует иерархическое соподчинение ТО различных уровней. Так, например, машины или станки, явля-

¹ Условно объекты живой и неживой природы будем называть *веществом*.

ющиеся элементами технологической линии или цеха, могут быть разделены на агрегаты или блоки, которые, в свою очередь, состоят из узлов и деталей. В связи с этим введем понятие *надсистемы*, которое используется в ряде методов ИТ. Почти у любого ТО существует надсистема, т. е. другой ТО, в который он функционально включается или входит как отдельный элемент.

Обработка вещества, энергии или сигналов представляет собой выполнение с помощью ТО некоторой четко определенной последовательности операций. В связи с этим *технологией* будем называть способ, метод или программу преобразования вещества, энергии или информационных сигналов из заданного начального состояния в заданное конечное состояние с помощью определенных ТО.

Разнообразие технологий так же велико, как и разнообразие ТО, и благодаря ИТ продолжает быстро возрастать. Существуют технология добычи угля открытым способом, различные технологии изготовления болтов и гаек, технологии изготовления блинов или тортов и т. д.

В книге рассмотрена понятийная основа и методы решения творческих задач, относящиеся в первую очередь к ТО. Наряду с этим приводимые методологические разработки по совершенствованию устройств подходят также для рассмотрения и совершенствования технологий. Тем более, что описание ТО отражает не только его структуру, но и функционирование, т. е. содержит более или менее подробное описание технологии, реализуемой с помощью этого ТО.

3. ИЕРАРХИЯ ОПИСАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Каждый ТО может быть представлен описаниями, имеющими иерархическую соподчиненность. Описания характеризуются двумя свойствами:

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

каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Такие свойства имеют следующие описания: потребность, или функция *ТО*; техническая функция (*ТФ*); функциональная структура (*ФС*); физический принцип

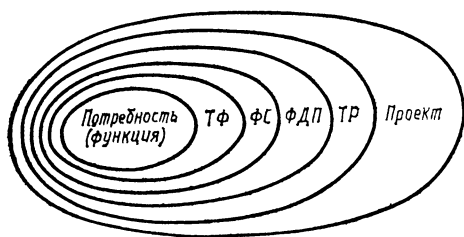


Рис. 1. Иерархия описаний ТО

действия (ФПД); техническое решение (ТР); проект. Иерархия этих описаний показана на рис. 1. Рассмотрим подробнее эти понятия.

Потребность. Это общепринятое и краткое описание на естественном языке назначения ТО или цели его создания (существования). При описании потребности отвечают на вопрос: «Что (какой результат) желательно иметь (получить) и каким особым условиям и ограничениям при этом нужно удовлетворить?»

Если рассматривать более детально описание потребности, то оно должно включать следующую информацию: необходимое действие (наименование действия); объект (предмет обработки), на которое направлено это действие;

особые условия и ограничения.

Описание потребности формализованно можно представить в виде трех компонент:

$$P = (D, G, H), \quad (1)$$

где D — указание действия, производимого рассматриваемым ТО и приводящего к желаемому результату, т. е. к удовлетворению (реализации) интересующей потребности; G — указание объекта, или предмета обработки¹, на который направлено действие D ; H — указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие D . В табл. 3 приведены примеры покомпонентного описания потребности.

Наряду с понятием потребности в инженерной практике также широко используется понятие функции ТО. В работе [1] было показано, что описания потребности и функции ТО тождественно совпадают. Различие между

¹ Понятие «предмет обработки» значительно шире известного в политекономии понятия «предмет труда» и включает его в себя. Действительно, затруднительно отнести к предметам труда, например, такие предметы обработки (см. табл. 3), как «комната» в описании функции светильника, «автомобиль» в функции путепровода, «температура среды» в функции термометра.

Примеры описания потребности

Наименование ТО	<i>D</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
Светильник	освещение (освещает)	помещение (помещение)	—
Электроплитка	нагревание (нагревает)	емкость с жидкостью	—
Мельница	размалывание (размалывает)	зерна (зерно)	на муку
Грузовой авто- мобиль	перевозка (пе- ревозит)	грузы (грузы)	по дороге
Путепровод	обеспечение движения (обе- спечивает движе- ние)	автомобили	через пре- пятствие
Термометр	измерение (измеряет)	температура среды (темпе- ратура среды)	—

потребностью и функцией состоит в том, что понятие потребности всегда связано с человеком или автоматом (коллективом людей, автоматов), *поставившим задачу реализации* потребности и выполняющим проектирование соответствующего ТО и его изготовление. Понятие функции всегда связано с ТО, *реализующим* эту потребность. В связи с этим интересно отметить, что человек часто выступает в двух качествах: как субъект, формулирующий потребность, и как элемент ТО, реализующий эту потребность. Мы будем отличать эти понятия только тем, что в описании потребности действия будем пользоваться отглагольным существительным, а функции — глаголом. В табл. 3 в скобках указаны описания функции.

Техническая функция (ТФ). Описание ТФ содержит следующую информацию:

потребность, которую может удовлетворить ТО;
физическая операция (физическое превращение, преобразование), с помощью которой реализуются потребности.

Таким образом, описание ТФ состоит из двух частей:

$$F = (P, Q), \quad (2)$$

где *P* — удовлетворяемая потребность, описываемая по формуле (1); *Q* — физическая операция.

Т а б л и ц а 4

Примеры описания физических операций

Наименование ТО	A_T	E	C_T
Светильник	Электрический ток	Преобразование	Световой ток
Электроплитка	Электрический ток	Преобразование	Теплота
Мельница	Зерно + механическая энергия	Соединение	Мука
Грузовой автомобиль	Топливо	Преобразование	Движение груза
Путепровод	Масса транспорта (воспринимает проезжающую часть)	Передача	Масса транспорта (воспринимают устойчивости моста)
Электрический термометр	Температура среды	Преобразование и сравнение	Электрический ток

Описание физической операции (ФО) формализованно можно представить состоящим из трех компонент:

$$Q = (A_T, E, C_T), \text{ или } Q = (A_T \rightarrow E \rightarrow C_T), \quad (3)$$

где A_T , C_T — соответственно входной или выходной поток (фактор) вещества, энергии или сигналов; E — наименование операции Коллера по превращению A_T в C_T . Это описание отвечает на вопросы «что» (A_T), «как» (E), «во что» (C_T) преобразуется с помощью описываемого ТО. Число входов A_T , действий E и выходов C_T в общем случае произвольное. Иначе говоря, под физической операцией будем подразумевать физическое преобразование заданного входного потока, или фактора, в выходной поток (фактор). В табл. 4 приведены примеры описания ФО для ТО, указанных в табл. 3.

Функциональная структура (ФС). Подавляющее большинство ТО состоит из нескольких элементов (агрегатов, блоков, узлов) и могут быть естественным образом разделены на части. Каждый элемент как самостоятельный ТО выполняет определенную функцию и реализует определенную физическую операцию (ФО), т. е. между элементами имеют место два вида связей и соответственно два вида их структурной организации.

Во-первых, элементы имеют определенные функциональные связи друг с другом, которые образуют конструктивную функциональную структуру. *Конструктивная ФС* представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименования элементов, а ребрами — функции элементов. Методика и примеры построения конструктивных ФС даны в гл. 2.

Кроме функциональных связей, между элементами ТО имеются еще *потокосые связи*, т. е. элементы, реализуя определенные физические операции, образуют поток преобразуемых или превращаемых веществ, энергии, сигналов или других факторов. Например, в прокатном стане на входе такого потока имеются заготовки сечением 200×200 мм, а на выходе — стальная лента толщиной 1 мм, шириной 2 м; в гидроэлектростанции на входе — поток воды с напором 20 м и расходом $150 \text{ м}^3/\text{с}$, а на выходе — электрический ток напряжением 380 В и частотой 50 Гц.

Такие потоки определенным образом объединяют и связывают элементы ТО и соответственно их ФО. В сложных ТО часто присутствуют несколько взаимосвязанных потоков.

Взаимосвязанный набор ФО, реализующих один определенный поток преобразований вещества, энергии или сигналов, либо несколько взаимосвязанных потоков будем называть *потокосой функциональной структурой*. Потокосая ФС представляет собой граф, вершинами которого являются наименования элементов ТО или наименования операций Коллера Е, а ребрами — входные A_T и выходные C_T потоки (факторы).

Различают две разновидности потокосой ФС: *конкретизированная* потокосая ФС, у которой в вершинах графа указаны наименования элементов; *абстрагированная* потокосая ФС, у которой в вершинах графа указаны наименования операций Коллера. Абстрагированную потокосую ФС называют также *структурой физических операций*. Примеры потокосых ФС и методика их построения изложены в гл. 2.

Таким образом, существуют функциональные структуры ТО двух видов: конструктивная ФС и потокосая ФС, которые дополняют друг друга. При решении различных прикладных задач (койструирования, обучения и т. д.) используют или только конструктивную ФС, или потокосую ФС, или одновременно обе разновидности.

Т а б л и ц а 5

Примеры описания физических эффектов

Наименование физико-технического эффекта	А	В	С
Закон Гука	Сила	Твердое тело	Линейная деформация
Закон Джоуля—Ленца	Электрический ток	Проводник	Теплота
Термоэлектронная эмиссия	Теплота (нагревание)	Оксидная суспензия	Поток электронов
Пьезоэлектрический эффект	Деформация (сила)	Пьезокристалл	Электрическое поле
Ультразвуковой капиллярный эффект	Ультразвук	Жидкость в капилляре	Подъем жидкости

В потоковой ФС каждый элемент реализует определенную ФО. Такая реализация происходит на основе одного или нескольких физико-технических эффектов.

Под *физико-техническими эффектами* будем понимать различные приложения физических законов, закономерностей и следствий из них, физические эффекты и явления, которые могут быть использованы в технических устройствах. Как правило, в физико-технических эффектах имеет место определенная причинно-следственная связь между «входом» и «выходом». Физико-технический эффект должен иметь стандартное формализованное (имеющее определенную структуру) описание, удобное для технических приложений и машинной обработки.

Наиболее обобщенное качественное описание физико-технического эффекта состоит из трех компонент:

$$(A, B, C), \text{ или } (A \rightarrow B \rightarrow C), \quad (4)$$

где A — входной поток вещества, энергии или сигналов; C — выходной поток; B — физический объект, обеспечивающий или осуществляющий преобразование A в C . Для входного A и выходного C потоков, так же как и для компонент A_t , C_t в формуле (3), можно указать носители потоков и их качественные и количественные характеристики. В табл. 5 приведены примеры описания физико-технических эффектов по формуле (4). Более подробно описание физико-технических эффектов и другие примеры даны в гл. 2, 4, 11.

Физический принцип действия (ФПД). Под ФПД будем понимать ориентированный граф, вершинами которого являются наименования физических объектов *B*, а ребрами входные *A* и выходные *C* потоки вещества, энергии и сигналов. Таким образом, во многих случаях ФПД легко построить с помощью потоковой ФС путем замены наименований элементов или физических операций на наименования объектов *B*. Примеры ФПД и методика их построения приведены в гл. 2, 4, 11.

Описание ФПД, как правило, содержит изображение *принципиальной схемы* ТО, в которой в упрощенно-идеализированной форме показаны основные конструктивные элементы, обеспечивающие реализацию ФПД, и указаны направления потоков и основные физические величины, характеризующие используемые физико-технические эффекты. Принципиальная схема облегчает последующую разработку (конструирование) технического решения.

Техническое решение (ТР). Оно представляет собой конструктивное оформление ФПД или ФС. ТР конкретного ТО, как правило, описывается в виде двухуровневой структуры через характерные признаки ТО в целом и его элементов. При этом используют следующие группы признаков [34]:

- указание (перечень) основных элементов;
- взаимное расположение элементов в пространстве;
- способы и средства соединения и связи элементов между собой;
- последовательность взаимодействия элементов во времени;
- особенности конструктивного исполнения элементов (геометрическая форма, материал и т. д.);
- принципиально важные соотношения параметров для ТО в целом или отдельных элементов.

В зависимости от вида рассматриваемого ТО элементом может быть часть детали, деталь, узел, блок, агрегат, техническая система (ТС), комплекс ТС. При описании ТР некоторых ТО может использоваться только часть признаков.

ТР конкретного ТО может быть описано с *любой степенью детализации*. Для этого используют иерархический набор двухуровневых описаний ТР, т. е. сначала описывают ТР устройства в целом, затем ТР каждого блока, затем — каждого узла и т. д. Описание ТР на естественном языке, как правило, дополняют его графическим изобра-

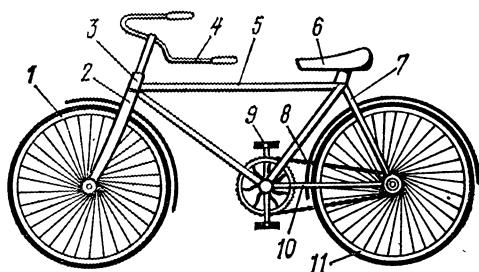


Рис. 2. Дорожный велосипед

жением. Способы описания ТР достаточно хорошо разработаны и изложены в методических и инструктивных материалах по патентоведению, поскольку во всех патентах и авторских свидетельствах на устройства дается описание ТР прототипа и нового решения. Для большей ясности рассматриваемого понятия приведем следующий пример (фрагмент) описания ТР широко известного ТО.

Дорожный велосипед (рис. 2) состоит из следующих элементов:

переднего колеса 1, на ось которого опираются концы вилки 2;

передней вилки 2, соединенной с рамой шарниром 3, обеспечивающим поворот вилки вокруг вертикальной (или близкой к вертикальной) оси;

руля 4, жестко соединенного с вилкой 2;

ромбовидной рамы 5, сваренной из металлических трубок, и имеющих сзади вилок 7, 10, концы которых соединены между собой;

седла 6, жестко соединенного с верхним узлом рамы;

педалей 9, соединенных цепной передачей 8 с задним колесом;

заднего колеса 11, на ось которого опираются концы вилок 7, 10.

При вращении педалей 9 вращающий момент посредством цепной передачи 8 передается от оси педалей на заднее колесо, которое служит двигателем и обеспечивает движение велосипеда с сидящим на нем человеком. Руль 4 обеспечивает управление движением на поворотах.

Если требуется более детальное описание велосипеда, то аналогично описывают ТР выделенных элементов. Например, переднее колесо состоит из оси, опирающейся через два шарикоподшипника на втулку; металлического

обода с резиновой пневмошиной; 36 спиц, соединяющих с предварительным натяжением втулку с ободом. Здесь ввиду простоты и ясности изображение колеса не дается.

ТР представляет собой как бы *безразмерное описание* ТО, которое может иметь самые различные реализации по параметрам. К параметрам будем относить размеры ТО и его элементов, количественные характеристики входных и выходных потоков и другие важные измеряемые свойства ТО. Например, асинхронный электродвигатель при одинаковом ТР имеет десятки модификаций по размерам, силе тока, напряжению, частоте, частоте вращения, мощности и другим параметрам.

В отличие от ТР в проекте указываются значения параметров ТО и всех элементов до деталей. Он содержит всю необходимую информацию для изготовления и эксплуатации ТО. В зависимости от сложности ТО описание проекта составляет от нескольких до сотен томов, т. е. проекты ТС — это многотомные уникальные собрания сочинений, недоступные широкому читателю, но, как правило, осязаемые в виде готовых изделий и сооружений.

Следует отметить, что здесь под проектом подразумеваются рабочие чертежи и конструкторская документация. Для сложных ТО часто предварительно разрабатывают менее детальные проекты (техническое предложение, эскизный проект, технический проект и т. д.). В этих промежуточных проектах степень детальности описания ТР обычно возрастает от технического предложения к рабочим чертежам. С понижением сложности ТО число промежуточных проектов сокращается.

4. СИСТЕМАТИКА ЗАДАЧ ПОИСКА И ВЫБОРА ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ

При разработке любого ТО, когда ставится цель получить изделие выше уровня лучших мировых образцов, конструктору предстоит решить иерархическую последовательность задач выбора проектно-конструкторских решений. Эта последовательность имеет полное соответствие с иерархией описаний ТО (см. рис. 1). Рассмотрим различные типы задач.

1. Составление или уточнение описания потребности (функции). Наряду с качественным описанием указывают основные количественные характеристики действия *D*, объекта *G*, условий и ограничений *H*.

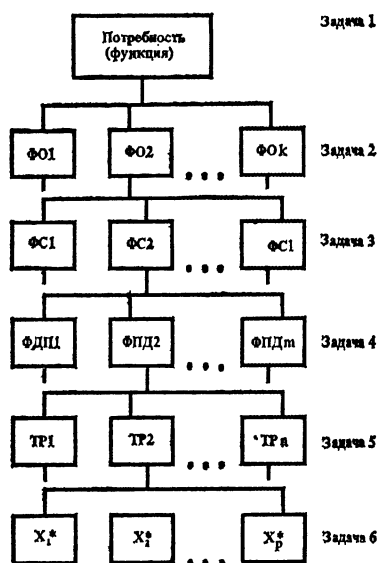


Рис. 3. Иерархия задач выбора проектно-конструкторских решений

2. Выбор ФО. Чаще всего для реализации одной и той же потребности существует несколько альтернативных ФО (рис. 3, 4). Проектировщику предстоит выбрать наиболее перспективную из них.

3. Выбор ФС. Для реализации одной и той же технической функции исходя из описаний потребности и ФО и с учетом ФС, близких и аналогичных ТО, возможно построение нескольких альтернативных ФС (см. рис.

3), из которых также предстоит выбрать наиболее рациональную.

4. Выбор ФПД. 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 (см. рис. 3, 4).

5. Выбор ТР. Один и тот же ФПД может быть реализован несколькими, а иногда очень большим числом (сотни и тысячи) практически приемлемых вариантов ТР, из которых предстоит выбрать лучшее решение (см. рис. 3, 4).

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 (см. рис. 3).

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

Выделенные типы задач и последовательность их решения имеют определенную идеализацию и условность,

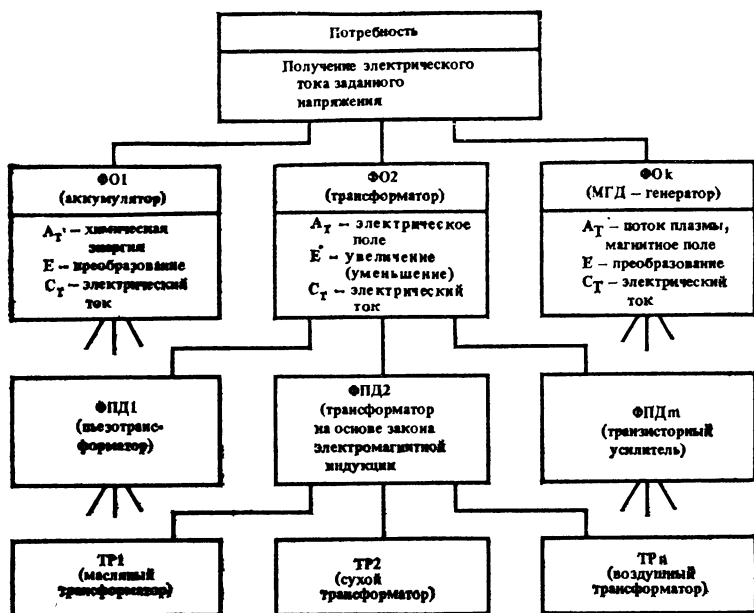


Рис. 4. Пример иерархии или систематики ТО

поскольку на практике проектирование и конструирование идут итерационно с многочисленными возвратами, а решение смежных задач часто совмещается.

Перечисленные задачи поиска и выбора проектно-конструкторских решений имеют одно интересное свойство. С повышением уровня задачи (от типа 6 до типа 1) 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 обычно улучшает интересующие технико-экономические показатели изделий на 10—15 %, решение задачи 5 — на 20—30 %, задачи 4 — на 30—50 % (иногда в несколько раз). Еще более важным оказываются изобретение и обоснование новых ФО и потребностей.

На фоне такой относительной значимости задач типов 1—6 представляются весьма парадоксальными следующие два факта:

1. Несмотря на происходящую научно-техническую революцию, в высшей технической школе, как и 100 лет

назад, будущим инженерам дают теоретические знания и прививают навыки в основном только для решения задач типа 6.

2. Если сравнить различные уровни описания ТО (см. рис. 1), то можно отметить, что существуют многочисленные стандарты, инструкции и методические материалы по описанию технических и рабочих проектов; в области патентоведения и в специальной технической литературе имеются инструкции и методики по описанию ТР. 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.

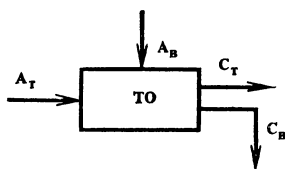
Это еще раз говорит об актуальности методологической и методической разработки указанных иерархических уровней описания ТО и задач выбора проектно-конструкторских решений. Особо хотелось бы отметить, что изложенная иерархия проектно-конструкторских задач может служить основой для разработки методов выбора проектно-конструкторских решений и систем автоматизированного проектирования, реализующих идеологию сквозной машинной поддержки работы конструктора. Часть этих вопросов рассмотрена в книгах [1, 9, 59, 60]. Однако еще большая часть нерешенных вопросов и проблем открывает весьма широкое и важное поле деятельности для теоретических и прикладных исследований и разработок.

5. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Каждый ТО находится в определенном взаимодействии с окружающей средой. Для конкретного ТО в качестве *окружающей среды* могут выступать его надсистема, объекты неживой и живой природы и другие ТО, которые находятся в функциональном или вынужденном взаимодействии с рассматриваемым ТО и оказывают заметное влияние на его проектно-конструкторское решение.

Взаимодействие ТО и окружающей среды может происходить по нескольким каналам связи, которые легко разделить на две группы. Первая группа включает потоки

Рис. 5. Взаимодействие ТО с окружающей средой



вещества, энергии и сигналов, передаваемые от окружающей среды к техническому объекту. К ним относятся (рис. 5):

A_T — функционально обусловленные входные воздействия (входные потоки в ΦO);

A_B — вынужденные входные воздействия (температура, влажность, пыль, деятельность насекомых и т. д.).

Вторая группа — это потоки, которые передаются от рассматриваемого ТО окружающей среде (рис. 5):

C_T — функционально обусловленные выходные воздействия (выходные потоки в ΦO);

C_B — вынужденные выходные воздействия (загрязнение воды, земли и воздуха, токи СВЧ и т. д.).

6. СПИСОК ТРЕБОВАНИЙ

При разработке и проектировании ТО всегда имеет место определенный *список требований*, которым ТО должен удовлетворять. Здесь речь идет о *необходимом и достаточном наборе* требований, при выполнении которых изделие будет иметь допустимую (ожидаемую) работоспособность, эффективность, ремонтпригодность и т. п. Если в таком наборе не будет учтено и выполнено хотя бы одно требование, то в созданном ТО проявится хотя бы один существенный недостаток или он будет неработоспособен. Отсюда следует важность необходимого и достаточного списка требований, который в инженерных разработках составляет ядро технического задания.

Следует отметить, что в процессе разработки и проектирования ТО задают и уточняют несколько иерархически взаимосвязанных списков требований, которые соответствуют определенным этапам разработки. При этом каждый последующий список больше предыдущего и включает его в себя.

В общем случае представляется естественным иерархию указанных списков (рис. 6) поставить в соответствие с выделенными в п. 4 задачами выбора проектно-конструкторских решений (см. рис. 3). Дадим краткую характеристику содержания списков требований для каждого типа задач (этапа разработки).

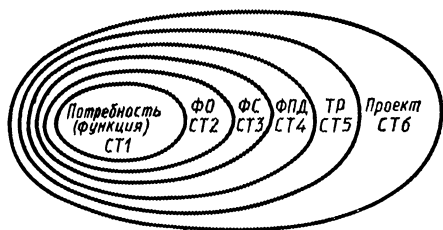


Рис. 6. Иерархия списков требований (СТ)

Список требований 1 (СТ 1) включает функциональные требования, т. е. перечень количественных показателей

производимого действия, количественных показателей объекта (предмета обработки), на который направлено действие ТО, количественных показателей особых условий и ограничений, при которых выполняется действие. К таковым в первую очередь относятся надежность, вид и показатели используемой энергии, особые воздействия окружающей среды и т. п.

СТ 2 может включать дополнительно (рис. 6) перечень потоков веществ, энергии, сигналов на входе и выходе ТО или перечень требований и условий к выбору таких потоков; значения физических величин, характеризующих потоки; условия и ограничения на потоки, вызванные взаимодействием ТО с надсистемой и окружающей средой; условия и ограничения на потоки, связанные с их преобразованием внутри ТО. Уточненный список требований в основном зависит от выбранных потоков на входе ТО.

СТ 3 включает дополнительно наборы требований, аналогичные СТ 1, СТ 2, но относящиеся к функциональным элементам, из которых состоит ТО. Уточненный СТ 3 зависит от принятой функциональной структуры.

СТ 4, в дополнение к СТ 1—СТ 3, составляют для каждого выбранного ФПД отдельно. В СТ 4 входят условия и ограничения, накладываемые на выбор основных материалов, используемых при реализации физико-технических эффектов, а также условия и ограничения, вызванные сопутствующими (дополнительными) воздействиями реализуемых эффектов как на элементы ТО, так и на окружающую среду. Кроме того, СТ 4 может еще включать ограничения по энергопотреблению, обрабатываемым материалам или информации и т. д.

СТ 5 содержит дополнительно наборы требований и соответствующих количественных показателей по массе, форме, габаритным размерам и компоновке; выбору используемых материалов и комплектующих изделий; способам и средствам соединения и связи элементов между

собой; управлению и регулированию; безопасности эксплуатации; патентоспособности; лимитной цене и т. д. СТ 5 в большой мере зависит от ТР.

СТ 6 включает набор требований по выбору оптимальных параметров ТО, запасам прочности, устойчивости, надежности, серийности изготавливаемого ТО, используемому технологическому оборудованию, взаимозаменяемости, стандартизации и унификации, условиям эксплуатации, транспортирования и хранения, сроку окупаемости на разработку и освоение и т. д.

Для техники в целом также существует список требований. Попытку составления такого списка в 1950 г. предпринимал Ф. Кессельринг, который составил список, включающий более 700 требований. Даже для того времени это был неполный список, а за прошедшее время число требований в полном списке увеличилось в несколько раз. Составление полного списка требований для техники в целом является важной задачей. Однако прежде чем приступить к такой работе, необходимы:

разработка грамматики и синтаксиса описания требований и выделение их основных типов по форме описания (как это сделано в первом приближении для описания технических функций);

разработка систематики и классификация требований по их содержанию.

От решения этих задач в большой мере зависит создание эффективного искусственного интеллекта для автоматизации начальных стадий проектирования.

7. КРИТЕРИИ РАЗВИТИЯ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА И СПИСОК НЕДОСТАТКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Среди параметров и показателей, характеризующих любой ТО, всегда имеются один или несколько таких, которые на протяжении длительного времени (иногда всей истории существования рассматриваемого класса ТО) имеют тенденцию монотонного изменения или тенденцию поддержания на определенном уровне при достижении своего предела. Эти показатели всеми осознаются как мера совершенства и прогрессивности, и они оказывают очень сильное влияние на развитие отдельных классов ТО и техники в целом. Такие параметры и показатели будем далее называть *критериями развития* ТО. К таковым

можно отнести степень механизации какого-либо технологического процесса, удельную материалоемкость или энергоемкость ТО, внешний вид ТО и т. д. Более подробная характеристика критериев развития и их систематика приведены в гл. 3.

Наряду с критериями развития, существуют еще *показатели качества* (критерии качества) ТО, к которым в первую очередь относятся критерии развития и некоторые параметры, определенное изменение которых может приводить к улучшению качества и эффективности этого ТО. Кроме того, показатель качества позволяет выбрать из двух альтернативных вариантов ТО или их описаний лучший вариант при равенстве или эквивалентности других показателей.

У любого ТО в процессе изготовления и эксплуатации сразу или со временем появляются определенные *недостатки* (дефекты), которые возникают чаще всего по следующим причинам:

при проектировании ТО некоторые требования были занижены (например, оказался недостаточным объем резервных емкостей) или завышены (чрезмерный запас прочности в отдельных элементах);

в список требований не включены какие-либо существенные требования (например, защита от насекомых одного из блоков);

список имел лишние требования (введена обратная связь в автоматическом управлении, которая снижает эффективность работы оператора);

значения некоторых параметров, и в первую очередь критериев развития, имеют показатели ниже мирового уровня, т. е. изделие оказалось неконкурентоспособным.

Если говорить кратко, к недостаткам относятся неучтенные требования, неудовлетворенные требования и требования, которые могут улучшить какой-либо показатель качества.

В итоге для каждого используемого ТО формируется *список недостатков*, который служит основой для составления списка требований при разработке и проектировании нового поколения ТО. Выявление и устранение недостатков (дефектов) ТО более подробно рассмотрено в книге И. Мюллера [9].

8. МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Модель ТО позволяет получить ответы на два вопроса:

соответствует ли рассматриваемый ТО или его описание (ТФ, ФС, ФПД, ТР или проект) данному требованию или списку требований?

какой из двух альтернативных вариантов ТО лучше по данному показателю качества?

Для оценки соответствия требования и выбора лучшего варианта используют три типа моделей и соответственно три способа и средства моделирования.

1. Мысленные, или интуитивные, модели. Их реализует человек (эксперт), который на основе имеющихся знаний и опыта проводит мысленные эксперименты с ТО с целью выявить его соответствие требованиям или выбрать из двух вариантов наилучший по определенному показателю качества. Например, глядя на чертежи двух различающихся по конструкции путепроводов, эксперт может ответить на вопросы: выдержат ли они задаваемую нагрузку или нет; у какой конструкции меньше трудоемкость изготовления или расход бетона и т. д.

2. Математические модели. Они позволяют оценить требования и критерии качества с помощью расчетных формул, систем уравнений, алгоритмов и т. п. Для случая с путепроводом на основании формул и уравнений строительной механики и сопротивления материалов можно вычислить разрушающую и допустимую нагрузки. Используя формулы определения объемов тел, можно определить расход бетона, а с помощью специальной методики (алгоритма) — трудоемкость их строительства.

3. Физические модели. С их помощью можно оценить требования и критерии качества путем реализации и испытания самого ТО или его уменьшенных (иногда увеличенных) и часто упрощенных образцов. Так, построенный путепровод можно подвергнуть испытанию заданной нагрузкой; при строительстве можно провести хронометраж и точно определить трудоемкость изготовления. Еще до строительства можно изготовить (на основе критериев подобия) уменьшенную модель путепровода и также провести ее испытание в целях проверки соответствия требованиям.

Исторически с незапамятных времен человек пользовался мысленными и физическими моделями. Около

Т а б л и ц а 6

Относительная оценка различных способов моделирования ТО

Показатели	Модели		
	мысленные	математические	физические
Точность оценки требований	Низкая	Средняя (высокая)	Высокая
Временные затраты на оценку требований	Малые	Средние (малые)	Большие
Стоимость оценки требований	Низкая	Средняя	Высокая
Вид задач	Выбор ФО, ФС, ФПД, ТР	Выбор ФПД, ТР, параметров	Выбор ТР, параметров

2 тыс. лет назад для оценки отдельных требований уже применяли математические модели. Начиная с XVII—XVIII веков стало быстро расширяться использование математических моделей в связи с бурным развитием математики, механики, термодинамики и других наук. Еще большие возможности в создании математических моделей принесли появившиеся в середине XX века быстродействующие вычислительные машины.

У математических моделей в последнее время значительно расширилась область применения. Многие ТО сейчас можно создавать уже без использования физических моделей (например, ряд строительных конструкций и сооружений, электрических машин, элементов автоматики и т. д.). Однако существует большое число ТО, для которых математические модели не вытеснили и, очевидно, долго еще не смогут вытеснить мысленные и физические модели (например, при разработке реактивных двигателей). Это объясняется двумя причинами. Во-первых, существующие возможности математических моделей пока недостаточны для описания явлений и процессов в некоторых ТО. Во-вторых, темпы развития и возрастания сложности ТО опережают возрастание возможностей математических моделей.

В настоящее время выбор того или иного типа моделей обуславливается требованиями по точности, временным

затратам и стоимости моделирования. В табл. 6 приведена приближенная относительная оценка по этим показателям разных типов моделей, где в скобках отмечены отдельные отклонения от большинства случаев. В этой же таблице в нижней строке указаны задачи наиболее частого использования моделей.

В инженерной практике наряду с использованием в чистом виде указанных трех типов моделей используют также их различные комбинации. Например, аналоговое моделирование представляет собой комбинацию математического и физического моделирования. Имеет также место комбинирование мысленных и математических моделей, когда в методике (алгоритме) расчета используют предварительные или последующие экспертные оценки.

Существует иерархия моделей, соответствующая иерархии списков требований (см. рис. 6). При этом для каждого ТО существует такая же иерархия моделей, в которой каждая последующая модель более детально оценивает ТО и содержит все предыдущие оценки. Иерархия моделей согласуется также с иерархической последовательностью задач выбора проектно-конструкторских решений (см. п. 4).

Моделирование ТО достаточно глубоко изучено. Однако отдельные места в этой области знаний разработаны слабо или вообще не затронуты. Несмотря на бурное развитие математических моделей, они пока мало используются в задачах выбора ФО, ФС, ФПД и даже ТР. Слабо исследованы пока вопросы мысленного и интуитивного моделирования, актуальность которого со временем не понижается, а способности мысленного моделирования у выпускаемых инженеров по ряду причин со временем снижаются, что также заставляет заняться исследованием этих вопросов.

9. ЗАКОНЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕХНИКИ

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 должны

быть близки к законам и закономерностям, известным в биологии, физике и химии, т. е. законы техники должны формулироваться на уровне законов природы.

Подробное рассмотрение понятия «закон техники» с научной точки зрения приведено в книге [12]. Здесь дадим некоторые пояснения в контексте уже введенных понятий.

Закономерности строения и развития техники имеют отношения к ТО с одинаковой или близкими функциями. *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 ФС, в физической структуре (ФПД) и ТР, 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 ФС, в физической структуре и ТР.

ГЛАВА 2. ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Во всех машинах имеются определенные части, *фактически выполняющие ту работу, ради которой строилась машина ...*

К. Маркс, Ф. Энгельс

Конструирование есть искусство, опирающееся на научные основы.

Проф. А. И. Сидоров

1. ПОСТРОЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

В настоящей главе дается методика углубленного изучения конструкции и структуры ТО, который требуется усовершенствовать. При таком изучении в первую очередь необходимо понять и уточнить следующее:

какие функции выполняет каждый элемент ТО и как элементы функционально связаны между собой;

какие физические операции (преобразования) выполняет каждый элемент и как они взаимосвязаны между собой;

на основе каких физико-технических эффектов работает каждый элемент ТО и как они взаимосвязаны между собой.

При выяснении этих вопросов появляется четкое и цельное представление об устройстве ТО (которое требуется усовершенствовать) с функциональной и физической точек зрения. Без такого представления затруднительно заниматься поиском наиболее эффективного нового технического решения.

Построение конструктивной ФС основывается на законе соответствия между функцией и структурой ТО (см. п. 3 гл. 5).

Разделение ТО на элементы. В основу анализа функций ТО и построения конструктивной ФС положен принцип выделения и рассмотрения структур с двухуровневой иерархией, т. е. любой ТО можно разделить на несколько элементов, каждый из которых имеет вполне определенную функцию (или функции) по обеспечению работы ТО или его элементов. При этом рассматриваемый ТО представляет собой верхний уровень, а выделенные функциональные элементы — нижний.

Если требуется продолжить (углубить) анализ, то каждый из выделенных элементов нижнего уровня рассматривается как самостоятельный ТО, который также можно разделить на несколько функциональных элементов и т. д. Объединение таких структур с двухуровневой иерархией позволяет получить многоуровневую структуру. Однако мы будем рассматривать в основном двухуровневые структуры, поскольку конструктивные ФС, построенные на основе многоуровневых структур, получаются сложными и труднообозримыми, тем более, что человек при изучении, анализе и синтезе ТО обычно выделяет и рассматривает двухуровневые структуры, переходя по горизонтали или вертикали от одной структуры к другой. В связи с этим акад. Г. С. Поспелов пишет: «Двухуровневые системы могут использоваться как основные элементы (модули) при синтезе более общих многоуровневых систем».

Глубина многоуровневого разделения ТО на элементы обычно определяется характером решаемой проектно-конструкторской задачи или задачей изучения ТО. Предельное детальное разделение ТО возможно до неделимых (в функциональном смысле) элементов.

Неделимым элементом будем называть деталь (или часть детали) с минимальным числом функций (не менее одной) по обеспечению работы других элементов, при любом делении которой появляются элементы, не имеющие самостоятельных функций или с одинаковыми функциями. Примерами таких элементов являются шарик в подшипнике или шариковой авторучке, труба, проводящая жидкость, жидкость в гидроцилиндре, конусная заостренная часть гвоздя и т. п.

Таким образом, любой ТО (кроме неделимых элементов) может быть разделен на несколько укрупненных функциональных элементов, каждый из которых должен иметь минимальное число (не менее одной) определенных функций. Такое разделение обычно соответствует установившемуся в инженерной практике конструктивному разделению на агрегаты, блоки, узлы, детали, части деталей. В работе [1] даны определение и характеристика наиболее распространенных функциональных элементов, указанных в табл. 23.

Одновременно с разделением ТО на элементы выделяют объекты окружающей среды (ОС), с которыми рассматриваемый ТО находится в функциональном или вынужден-

Т а б л и ц а 7

Примеры главных элементов и объектов окружающей среды (ОС)

Наименование ТО	Объекты ОС V	Главные элемен- ты E_0	Функция главных элементов, совпа- дающая с функ- цией ТО
Ручка для письма	Бумага	Перо или ша- риковый узел	Образует на бумаге непре- рывный видимый след произволь- ной формы
Экскаватор	Грунт	Ковш	Зачерпывает, транспортирует от забоя до от- вала и выгружает грунт
Лампа нака- ливания	Окружаю- щие объекты	Нить накали- вания	Освещает окружающие объекты
Двигатель внутреннего сгорания	Вал	Поршни и ци- линдры	Вращает вал
Трансфор- матор	Перемен- ный элект- рический ток	Первичная обмотка, вторич- ная обмотка и ферромагнитный сердечник	Изменяет на- пряжение пере- менного элект- рического тока

ном взаимодействии и которые существенно влияют на конструкцию ТО. В первую очередь к ОС относятся объекты, воспринимающие действие ТО [компонента G см. формулу (1)]. К объектам ОС также могут относиться подводимая энергия, управляющие сигналы, объекты, на которые действуют отработанные вещества, неблагоприятные излучения и другие воздействия, оказывающие существенное влияние на конструкцию ТО, и т. д.

Среди всех выделенных элементов ТО при проектно-конструкторских разработках особое внимание чаще всего уделяют *главным элементам* (или первичным, исходным элементам), которые можно выделить у большинства ТО. К главным элементам будем относить рабочие органы и другие элементы, которые непосредственно взаимодействуют с предметом обработки G и другими объектами ОС. При выделении главных элементов и соответствующих им объектов ОС рекомендуется иметь в виду следующие свойства:

Анализ функций шарикоподшипника.
Функция шарикоподшипника:
 снижает момент вращения втулки вокруг оси

Элемент		Функция	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_0	Шарики	Φ_0	Снижает момент вращения втулки (V_1) вокруг оси (V_2)
E_1	Наружное кольцо	Φ_1	Обеспечивает качение втулки (V_1) по шарикам (E_0)
E_2	Внутреннее кольцо	Φ_2	Обеспечивает качение шариков (E_0) по оси колеса (V_2)
E_3	Сепаратор	Φ_3	Обеспечивает равное удаление шариков (E_0) друг от друга

функция главных элементов, как правило, совпадает с функцией ТО или в решающей мере зависит от функции ТО;

объекты ОС для главных элементов, как правило, совпадают с объектами, на которые направлено действие ТО.

В табл. 7 приведены примеры главных элементов и соответствующих им объектов ОС.

Главным элементам присваивают обозначение E_0 (если их несколько, то E_{01}, E_{02}, \dots). Остальным элементам присваивают обозначения E_1, E_2, \dots, E_n . Объекты ОС, с которыми взаимодействуют ТО и его элементы, обозначают через V_1, V_2, \dots

В табл. 8 и 9 приведены примеры разделения на элементы различных ТО с указанием, где это возможно, объектов ОС и главных элементов.

Описание функций элементов. Функции элементов описывают в соответствии с методическими указаниями, изложенными в п. 3 гл. 1. При этом в качестве обучающих примеров, приведенных в табл. 3, можно использовать примеры, данные в табл. 7—9.

При описании функций элементов целесообразно в скобках дублировать обозначения объектов ОС и других элементов, которые участвуют в описании функции. Сами функции будем обозначать буквами $\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \dots$ (индексы соответствуют обозначениям элементов).

Анализ функций электроплитки.
Функция электроплитки: нагревает емкость
с жидкостью до кипения

Элемент		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_0	Спираль	Φ_0	Нагревает емкость с жидкостью (V_2) до кипения
E_1	Провод	Φ_1	Проводит ток от электросети (V_1) до спирали (E_0)
E_2	Разъем	Φ_2	Соединяет и разъединяет провод (E_1) с электросетью (V_1)
E_3	Огнеупорный элемент	Φ'_3	Уменьшает тепловое воздействие спирали (E_0) на стол (V_3)
		Φ''_3	Поддерживает спираль E_0 в определенном положении
		Φ'''_3	Изолирует спираль (E_0)
E_4	Корпус	Φ_4	Передает воздействие массы емкости с жидкостью (V_2) на стол (V_3)

Результаты разделения ТО на элементы и описание их функций оформляют в одной таблице анализа функций. Примеры составления таких таблиц для различных ТО приведены в табл. 8, 9. Поскольку результаты разделения ТО на элементы и описания функций элементов оформляются в одной таблице, то их целесообразно выполнять одновременно.

Построение конструктивной функциональной структуры. Конструктивная ФС представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименования элементов ТО и объектов ОС, а ребрами — функции элементов.

При построении ФС сначала изображают вершины. Первая сверху вершина — наименование самого ТО. Во втором ряду (по горизонтали) предпочтительно располагать вершины-объекты ОС, в третьем ряду вершины-элементы. В вершинах, представляющих собой овалы или прямоугольники, указывают обозначения (в соответствии с табл. 8, 9) и наименования объектов ОС и элементов.

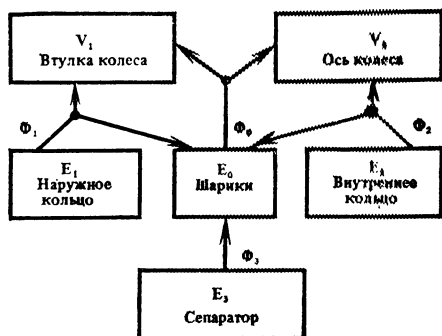


Рис. 7. Конструктивная ФС шарикоподшипника

После этого строят направленные ребра графа. Ребра выходят из вершин-элементов, чьи функции они описывают, и заканчиваются в вершинах-элементах, работу которых они обеспечивают, или в

вершинах-объектах ОС, взаимодействующих с рассматриваемым элементом. Из каждой вершины-элемента выходит столько ребер, сколько функций имеет элемент. Вершины, в которых заканчиваются ребра-функции, указаны в описании функции (в скобках). Конструктивная ФС может иметь ребра двух типов. Первый тип — простые ребра, начинающиеся в одной вершине и заканчивающиеся в другой единственной вершине. Ребра второго типа описывают функции элементов, которые обеспечивают соединение или взаимодействие между другими несколькими элементами и объектами ОС. Такие ребра имеют один «выход» и несколько «входов», соединенных между собой И-вершиной, т. е. они начинаются в одной вершине-элементе и через абстрактную И-вершину заканчиваются в двух и более вершинах-элементах (объектах ОС).

Всем ребрам на графе присваивают обозначения, совпадающие с обозначениями соответствующих функций элементов. Вершины графа (при их изображении) рекомендуется располагать в таком порядке, чтобы было минимальное число пересечений ребер и чтобы вершины, связанные ребрами, были ближе друг к другу. При этом можно допустить расположение элементов и в четвертом ряду.

На рис. 7, 8 изображены конструктивные ФС, построенные по табл. 8, 9. Конструктивная ФС позволяет получить более наглядное и цельное представление о ТО с функциональной точки зрения.

Иногда может оказаться целесообразным построение и использование единой конструктивной ФС для многоуровневого иерархического разделения ТО на элементы.

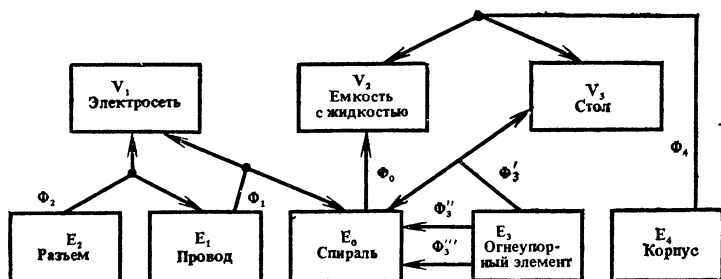


Рис. 8. Конструктивная ФС бытовой электроплитки

Методика и примеры построения таких усложненных ФС приведены в книге [1].

Построение конструктивной ФС технологического процесса, материала или вещества. Аналогично анализу функций ТО может быть проведен анализ технологических процессов, материалов и веществ. При этом для технологических процессов ФС представляет собой граф, вершинами которого являются обрабатываемые объекты E , а ребрами — элементарные операции Φ с указанием режимов обработки. У материалов (веществ) к вершинам относятся компоненты E , из которых состоит материал, а ребрами — функции компонентов Φ . Представляется возможность читателю построить самостоятельно ФС интересующего технологического процесса или материала.

2. ПОСТРОЕНИЕ ПОТОКОВОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Разделение ТО на элементы. Такое разделение выполняется с учетом рекомендации, данной в п. 1 гл. 2. Однако при этом не выделяют главные элементы, а компоненты ОС обычно считают источником входящих в ТО потоков или стоком выходящих потоков. Объектам ОС присваивают номера 0—1, 0—2, ...

Полученные при разбиении конструктивные элементы следует по возможности пронумеровать в том порядке, в котором преобразуемый поток проходит через эти элементы. Следует также иметь в виду, что при разделении ТО на основные элементы последние могут представлять собой достаточно сложные агрегаты или узлы, для которых может быть построена своя потоковая ФС.

Таблица 10

**Описание физических операций (ФО)
элементов бытовой электроплитки**

ФО электроплитки: A_r — электрический ток; E — преобразование; C_T — теплота						
Номер элемента и объекта ОС	Наименование элемента и объекта ОС	ФО				
		Вход A_r	Номер «источника»	Операция Коллера К	Выход C_T	Номер «приемника»
1	2	3	4	5	6	7
0—1	Электрическое напряжение	—	—	—	—	—
0—2	Емкость с жидкостью	Тепловая энергия	3	Поглощение	—	—
0—3	Стол	—	—	—	—	—
1	Разъем	1. Электрическое напряжение U , В 2. Перемещение (длина L , м)	0—1	Связь — прерывание	1. Электрическое напряжение U , В 2. Отсутствие электрического напряжения	2
2	Провод	Электрическое напряжение U , В	1	Проведение и преобразование	Электрический ток (сила тока I , А; напряжение U , В)	3
3	Спираль	Электрический ток (сила тока I , А; напряжение U , В)	2	Преобразование	Тепловая энергия (теплота, Дж)	4 0—2

Номер элемента и объекта ОС	Наименование элемента и объекта ОС	ФО				
		Вход A_T	Номер «источника»	Операция Коллера	Выход C_T	Номер «приемника»
1	2	3	4	5	6	7
4	Огнеупорный элемент	Тепловая энергия (температура, T_1 , °C)	3	Уменьшение	Тепловая энергия (температура, T_2 , °C)	0—3
		Электрическое напряжение $U \neq 0$	3	Изолирование	Электрическое напряжение $U = 0$	4
5	Корпус	1) Вес постоянный (P , Н)	0—2 4	Проведение	Сила реакции стола ($R = -P$, Н)	0—3
		2) Степень свободы перемещения элемента 4 ($m = 6$)	4	Уменьшение	Степень свободы перемещения ($m = 0$)	4

Пример разделения ТО на элементы с выделением объектов окружающей среды дан в табл. 10.

Если устройство ТО труднообозримо, то изображают его принципиальную схему, на которой номерами указывают выделенные элементы ТО.

Описание физических операций (ФО) элементов ТО. При описании ФО для каждого выделенного элемента необходимо указать в соответствии с формулой (3) компоненты A_T , E , C_T . Дадим более подробные рекомендации по их описанию.

Описание входного A_T и выходного C_T потоков или факторов должно содержать следующую информацию:

а) наименование потоков вещества, энергии или сигналов либо другого фактора:

б) качественную характеристику потока (фактора), существенно влияющую на техническое решение ТО; например, для потока «электрический ток» качественная характеристика может обозначать «переменный», для потока «электромагнитное излучение» — «видимый свет»;

№№	Наименование прямой операции Е	Обобщенная структурная формула	Наименование обратной операции Е	Обобщенная структурная формула
1	Излучение	$G_A \rightarrow$	Поглощение	$G_A \leftarrow$
2	Проводимость	$G_A \rightarrow G_A$	Изолирование	$G_A \rightarrow G_A^*$
3	Сбор	$G_A \rightarrow G_A$	Рассеяние	$G_A \rightarrow G_A$
4	Проведение	$G_A \rightarrow G_A$	Непроведение	$G_A \rightarrow G_A$
5	Преобразование	$G_A \rightarrow G_B$	Обратное преобразование	$G_B \rightarrow G_A$
6	Увеличение	$G_{A1} < G_{A2}$	Уменьшение	$G_{A1} > G_{A2}$
7	Изменение направления	$G_A \rightarrow G_A$	Изменение направления	$G_A \rightarrow G_A$
8	Выравнивание	$G_A \rightarrow G_A$	Колесания	$G_A \rightarrow G_A$
9	Связь	$G_A \leftrightarrow G_A$	Прерывание	$G_A \leftrightarrow G_A$
10	Соединение	$G_A + G_B \rightarrow G_{AB}$	Разъединение	$G_{AB} \rightarrow G_A + G_B$
11	Объединение	$G_{A1} + G_{A2} \rightarrow G_{A1 + A2}$	Разделение	$G_{A1 + A2} \rightarrow G_{A1} + G_{A2}$
12	Накопление	$G_A \rightarrow$	Выдача	$G_A \leftarrow$

Дополнительные операции Е

13	Отображение	$G_A \rightarrow G_B$	Обратное отображение	$G_B \rightarrow G_A$
14	Фиксирование	$G_A \rightarrow \bullet \leftarrow G_A$	Расфиксирование	$G_A \leftarrow \bullet \rightarrow G_A$

в) основную физическую величину (величины), характеризующую поток (фактор), ее стандартное обозначение, единицу измерения;

г) количественную характеристику потока (фактора) — значение физических величин, оказывающих существенное влияние на техническое решение ТО. При необходимости указывают диапазоны изменения A_T , C_T .

При описании A_T , C_T обычно нецелесообразно выделять сведения рубрик а) — г), поскольку на практике используется весьма экономный естественный язык, который позволяет одним-двумя словами выражать наименование потока и физической величины, характеризующей поток (например, «температура») или значение физической величины («температура кипения») и т. д. Важно, чтобы короткое естественное описание содержало сведения, указанные в рубриках а) — г).

Следует также помнить, что сведения рубрик а) — г) не являются обязательными во всех случаях, поскольку полнота описания по этим рубрикам зависит в первую очередь от характера решаемой задачи по изучению ТО или разработке нового ТО. Например, в некоторых случаях нет смысла указывать единицы измерения, количественные характеристики потока и т. д. И возможен также случай, когда наряду со сведениями, данными

в рубриках а) — г), имеет смысл включить дополнительные сведения.

При постоянной работе с каким-либо классом (классами) ТО представляется целесообразным составить и развешивать объектно или проблемно ориентированный словарь входов-выходов A_T, C_T , который должен также согласовываться со словарем входов-выходов A, C , используемых при описании физико-технических эффектов. Такой словарь значительно облегчает и стандартизирует описание компонент A_T, C_T , а главное — повышает эффективность поиска новых физических принципов действия.

Компонента E в описании ФО должна обозначать действие, производимое над входным потоком (фактором), которое превращает A_T в C_T . Р. Коллер предложил [48, 59] 12 пар операций E (табл. 11), которые, по его мнению, позволяют описывать ФО любого ТО или его элемента независимо от их физического принципа действия.

В табл. 11 приняты следующие обозначения:

G_A, G_B — два качественно отличающихся вида энергии, вещества или сигнала, имеющих различные свойства, измеряемые различными физическими величинами;

G_{A1}, G_{A2} — два количественно отличающихся состояния энергии, вещества или сигнала, измеряемые одной и той же физической величиной;

G_{AB} — энергия, вещество или сигнал, представляющие собой композицию из двух разнородных компонент G_A, G_B , имеющих качественное различие;

G_{A1+A2} — энергия, вещество или сигнал, представляющие собой композицию из двух однородных компонент G_{A1}, G_{A2} , различающихся количественно.

В операциях 10, 11 может участвовать и более двух компонент. При построении цепочек, комбинирующих различные основные операции, индексы в структурных формулах выбирают исходя из логики преобразования потоков энергии, веществ или сигналов.

Для облегчения выбора наиболее подходящей операции Коллера из табл. 11 в прил. 1 даны характеристика и отличительные признаки каждой операции. Сразу же заметим, что несмотря на пояснения в прил. 1 в некоторых случаях невозможно однозначно указать наиболее подходящую операцию Коллера. В этих случаях не следует затруднять себя выбором и обоснованием единственно правильной операции E , а нужно брать ту, которая по интуитивным соображениям кажется более верной. При этом

Примеры описания физических операций (ФО)

Наименование ТО	ФО		
	Выход A_T	Операция E	Выход C_T
Рефлектор	Луч света	Рассеяние	Расходящийся пучок света
Инвертор	Постоянный ток	Колебание	Переменный ток
Зеркало	Луч света	Изменение направления	Луч света другого направления
Сепаратор	Молоко	Разъединение	1. Сливки 2. Обрат
Насос	1. Жидкость 2. Механическая энергия	Соединение	Энергия движущейся жидкости
Двигатель внутреннего сгорания	Химическая энергия топлива	Преобразование	1. Механическая энергия вращения вала 2. Тепловая энергия
Соленоид	Ф01 электрический ток Ф02 электрическое напряжение на обмотке	1. Преобразование 2. Разделение Изолирование	1. Магнитное поле 2. Тепловая энергия Отсутствие электрического напряжения на сердечнике
Трансформатор (активная часть трансформатора)	Переменное электрическое напряжение	Увеличение—уменьшение	Переменное электрическое напряжение

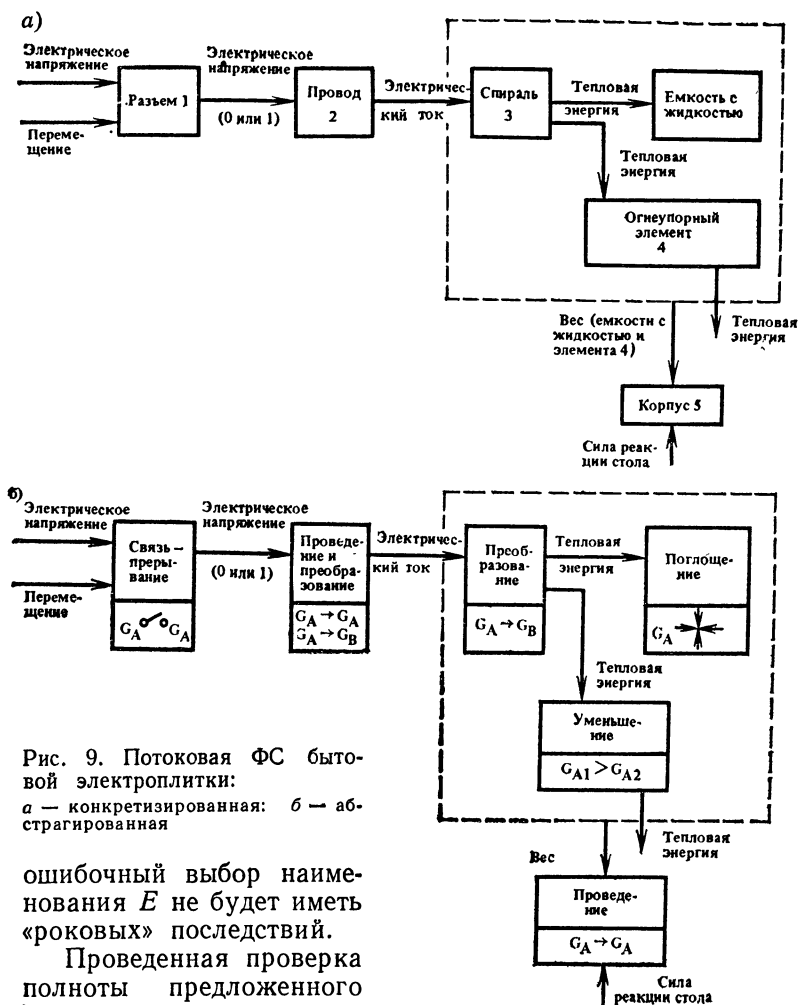


Рис. 9. Поточная ФС бытовой электроплитки:

а — конкретизированная; б — абстрагированная

ошибочный выбор наименования E не будет иметь «роковых» последствий.

Проведенная проверка полноты предложенного Р. Коллером списка операций E показала, что может встретиться ТО, для которого более уместны будут другие операции E . Поэтому при затруднениях в выборе операции из списка Коллера (табл. 11) можно давать свое подходящее наименование и обозначение. В связи с этим в табл. 11 даны две часто встречающиеся дополнительные операции E под номерами 13, 14, а их пояснение также приведено в прил. 1.

Примеры описания ФО даны в табл. 10, где не указаны количественные характеристики потоков (факторов). Другие более разнообразные случаи описания ФО приведены в табл. 12, где компоненты A_T , C_T описаны еще более сокращенно. Из табл. 12 видно, что ФО может иметь более одного входа A_T или выхода C_T ; некоторые ТО могут одновременно реализовывать более одной операции E или даже более одной ФО.

Построение потоковой функциональной структуры. В процессе описания ФО элементов ТО составляют таблицу по аналогии с табл. 10, где кроме наименований компонент A_T , C_T , в столбцах 4, 7 указывают адрес следования потока: для A_T — номер «источника» (элемента или объекта окружающей среды), откуда «пришел» поток (вход); для C_T — номер «приемника» (элемента или объекта окружающей среды), куда «ушел» поток (выход). Эти данные нужны для построения потоковой ФС.

Определение потоковой ФС дано в п. 3 гл. 1. В соответствии с этим определением и таблицей описания ФО элементов (которая определяет порядок соединения ФО) выполняется построение потоковой ФС. Методика построения вполне понятна из примеров, приведенных на рис. 9. Возможно также совмещенное изображение конкретизированной и абстрагированной потоковой ФС.

Следует заметить, что если потоковая ФС состоит из нескольких потоков вещества, энергии или сигналов, то она имеет более сложную разветвленную или сетевую структуру.

3. ОПИСАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

Введем понятие *элементарной физической операции*, под которой будем понимать только такие ФО, которые могут быть реализованы с помощью одного физикотехнического эффекта (ФТЭ).

Для описания физического принципа действия рассматриваемого ТО (согласно определению ФПД, данного в п. 3 гл. 1) необходимо иметь потоковую ФС, которая состоит только из элементарных ФО. В связи с этим построение ФПД выполняют в следующем порядке.

1. Строят и описывают абстрагированную потоковую ФС по рекомендациям п. 2 гл. 2.

Описание ФТЭ, действующих в электроплитке

Номер элементарной ФО и ФТЭ	Компоненты описания ФТЭ			Наименование ФТЭ
	А	В	С	
1	Электрическое напряжение Перемещение	Два проводника	Электрическое напряжение (0 или 1)	Эффект соединения—разъединения электрической цепи
2	Электрическое напряжение	Проводник	Электрический ток	Закон Ома
3	Электрический ток	Проводник	Тепловая энергия	Закон Джоуля—Ленца
4а	Тепловая энергия (температура T_1)	Твердое тело	Тепловая энергия (температура $T_2 < T_1$)	Закон теплопроводности Фурье
4б	Электрическое напряжение $U \neq 0$	Изолятор	Электрическое напряжение $U = 0$	Электронизляционный эффект
5	Сила P	Твердое тело	Сила реакции $R = -P$	Эффект равновесия сил
0—2	Тепловая энергия (теплота)	Жидкость (температура T_1)	Тепловая энергия (температура жидкости $T_2 > T_1$)	Закон теплопроводности Фурье

2. Проводят анализ потоковой ФС и выявляют сложные ФО, которые реализованы с помощью нескольких ФТЭ.

3. Для узлов ТО, имеющих сложные ФО, выполняют построение потоковой ФС, состоящей только из элемен-

тарных ФО. При этом получают таблицу описания элементарных ФО по форме табл. 10.

Следует заметить, что не всегда узел, реализующий сложную ФО, легко удастся разделить на конструктивные элементы, соответствующие элементарным ФО. При значительных затруднениях этого можно не делать. В таком случае в следующем п. 4 на основе анализа сложной ФО и соответствующей ей конструкции элемента выявляют набор взаимосвязанных ФТЭ, реализующих эту ФО. Допускается также для сложной ФО ввести реализующий ее комплексный ФТЭ, который состоит из нескольких элементарных ФТЭ.

4. Для каждой элементарной ФО определяют реализующий ее ФТЭ и составляют таблицу описания ФТЭ по форме табл. 13. Поскольку имеется соответствие между компонентами A_t, C_t (в описании элементарных ФО) и компонентами A, C в описании ФТЭ, то таблицу описания ФТЭ составляют на основе таблицы описания элементарных ФО, откуда берутся номера ФО (ФТЭ), описания компонент A_t, C_t , а вместо E указывают B .

5. На основе таблиц описания ФТЭ и структуры ФО изображают ФПД в виде графа, который отличается от структуры элементарных ФО в основном тем, что в вершинах вместо наименования операций E указывают соответствующие физические объекты B и по возможности — названия самих ФТЭ. Указание названий ФТЭ на графе значительно облегчает восприятие и понимание ФПД.

Следует заметить, что в целях показа в ФПД наиболее важных (для показателей ТО) и сильно влияющих (на конструкцию ТО) физико-технических эффектов иногда целесообразно не включать в структуру ФПД тривиальные и малозначащие ФТЭ. В этом случае ФПД не отражает реализацию некоторых элементарных ФО. Такое упрощение имеет смысл для сложных, содержащих много ФТЭ, и трудно обозримых структур ФПД.

При выполнении пп. 2—4 может возникнуть затруднение с определением ФТЭ, реализующих элементарные ФО. Такие затруднения связаны в первую очередь с названием ФТЭ. В связи с этим рекомендуется пользоваться фондом ФТЭ, из которого (используя соответствия $A_t \sim A, C_t \sim C$) вручную по каталогу или с помощью ЭВМ выбирают ФТЭ, формально соответствующий рассматривае-

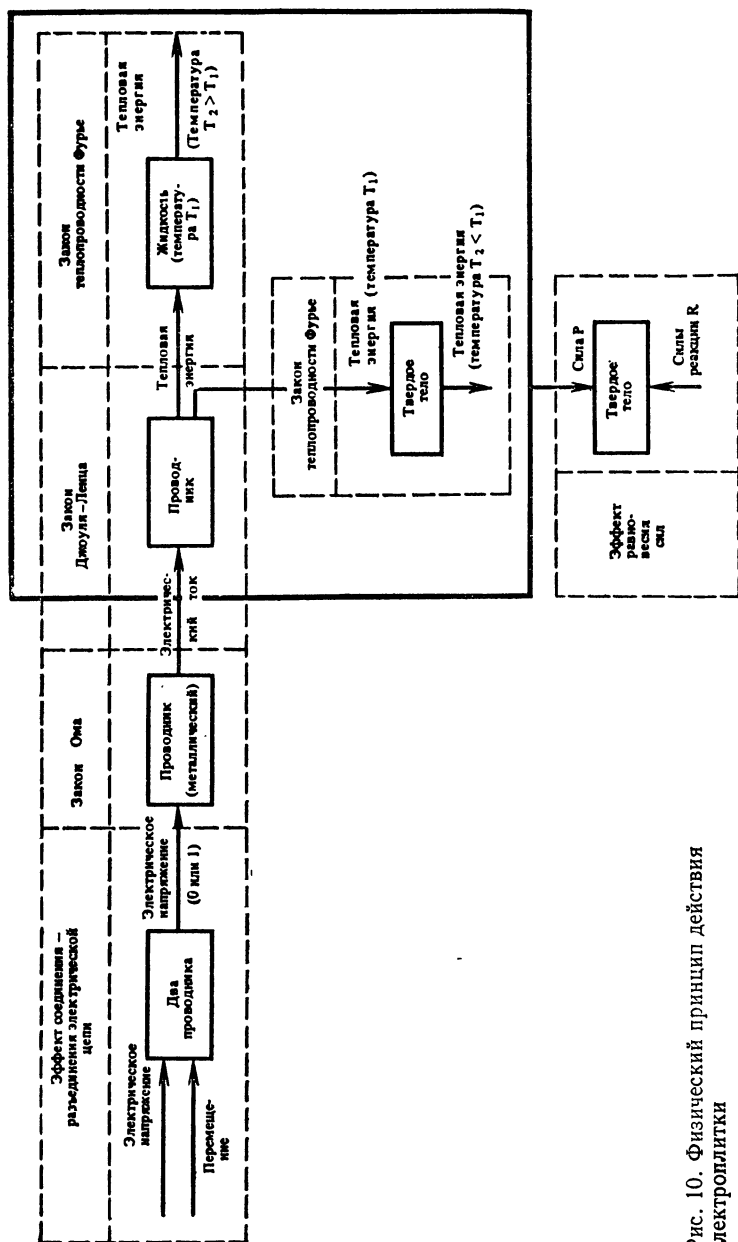


Рис. 10. Физический принцип действия электролитки

мой ФО. После выбора одного или нескольких ФТЭ устанавливают, какой из выбранных ФТЭ на самом деле реализует данную ФО. Если при этом оказывается, что информации недостаточно для установления (распознавания) ФТЭ, то обращаются к дополнительным источникам или экспертам (специалистам по данному классу ТО или физикам).

В табл. 13 и на рис. 10 дано описание и изображение ФПД бытовой электроплитки. В этом примере потоковая ФС в табл. 10 представляет собой структуру элементарных ФО. Поэтому при построении ФПД выполнялась работа только по пп. 1, 2, 4, 5.

ГЛАВА 3. КРИТЕРИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

...Все в природе подлежит измерению,
все может быть сосчитано.

Н. И. Лобачевский

Забота о самом человеке и его судьбе
должна быть в центре внимания при разра-
ботке всех технических усовершенствований.

А. Эйнштейн

1. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫБОРУ И ОПИСАНИЮ КРИТЕРИЕВ РАЗВИТИЯ ТО

Определение критерия развития ТО дано в п. 7 гл. 1, где также показано, что критерии развития являются одновременно важнейшими показателями, или критериями качества, т. е. имеют большое значение при оценке качества ТО. Значение критериев развития особенно важно для специалистов, которые стремятся при разработке новых изделий превзойти уровень лучших мировых достижений или приобрести изделия на уровне лучших мировых достижений. Для решения этих задач критерии развития играют роль компаса, указывающего направления магистрального прогрессивного развития изделий и технологий.

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

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

Этот единый набор включает следующие четыре группы критериев:

функциональные критерии, характеризующие важнейшие показатели реализации функции ТО;

технологические критерии, связанные только с возможностью и простотой изготовления ТО;

экономические критерии, определяющие только экономическую целесообразность реализации функции с помощью рассматриваемого ТО;

антропологические критерии, связанные с вопросами человеческого фактора или воздействия положительных и отрицательных факторов на людей, вызванного созданным ТО.

На рис. 11 показана систематика критериев развития ТО, реализующих различные функции. Этот перечень не претендует на исчерпывающую полноту. Цель настоящей главы — помочь конструктору или технологу сформировать и описать набор критериев развития для интересующего класса ТО.

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

Условие измеримости. За критерии развития могут быть приняты только такие параметры ТО, которые допускают возможность количественной оценки по одной из шкал измерений [55]: шкале отношений, шкале интервалов, шкале порядка. Предпочтение отдается шкале отношений, но, если она неприемлема, то шкале интервалов и в последнюю очередь шкале порядка.

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

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

возникновению нежелательных путей развития рассматриваемого класса ТО;

полному отсутствию развития;

значительно меньшей мере удовлетворения потребностей человека (пользователя) или вообще полному неудовлетворению.

При рассмотрении условия исключения полезно обратиться к материалам гл. 5.

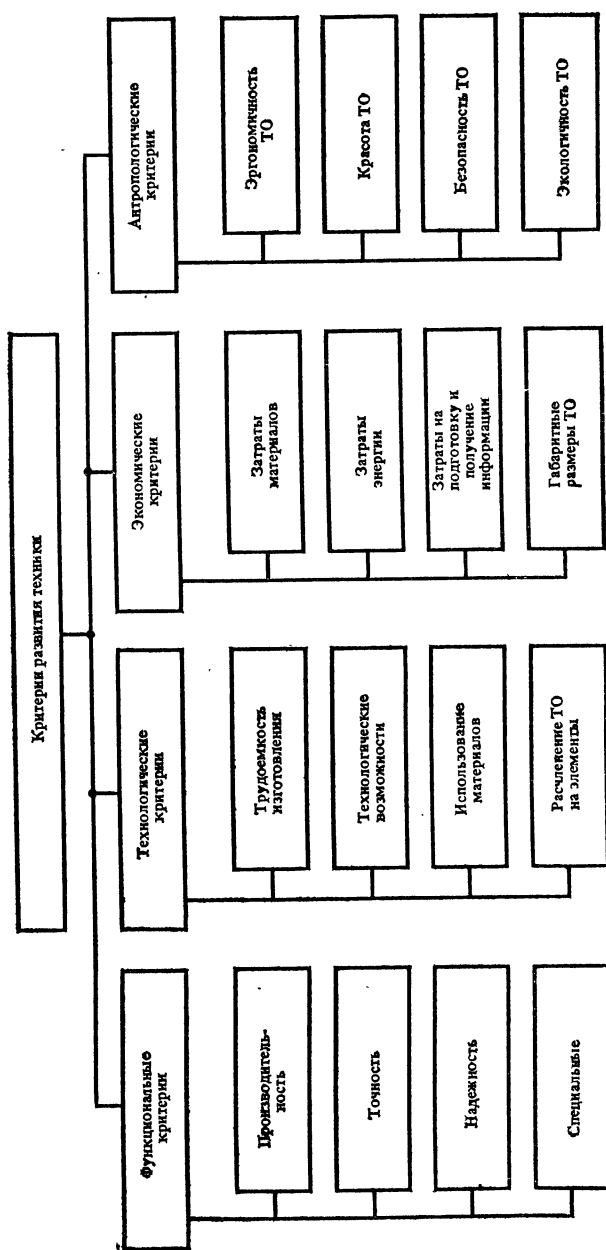


Рис. 11. Систематика критериев развития техники

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

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

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

1. Сущность критерия, время и причины его возникновения.

2. Формула или способ измерения критерия, включая указание шкалы или единицы измерения.

3. Диапазон и характер изменения значений критерия во времени.

4. Оценка степени общности критерия по трехбалльной шкале:

а) критерий имеет отношение к рассматриваемому классу ТО с одинаковыми или близкими функциями;

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

в) критерий имеет отношение к ТО с любой функцией.

Оценка степени общности критерия указывает на возможности заимствования улучшенных технических решений из других областей техники.

5. Оценка изменения относительной значимости (актуальности) критерия в прошлом и обозримом будущем по трехбалльной шкале:

а) актуальность возрастает; б) остается неизменной;

в) снижается.

6. Основные способы и средства улучшения критерия.

Ниже приводится обобщенная характеристика всех групп критериев развития, которая, во-первых, дает общее представление о критериях развития техники, во-вторых, может служить методическим материалом при описании критериев развития по пп. 1—6 интересующего класса ТО.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ РАЗВИТИЯ ТО

Для каждого ТО функциональные критерии развития представляют собой количественную характеристику основных показателей реализации функции ТО,

Примеры формул критерия производительности

Наименование ТО	Структура формулы	Единица измерения
Электробритва	$1/T$	человек/ч
Чайник	V/T	л/ч
Автомобиль	$G \cdot v$	т · км/ч
Токарный станок	M	м ² /с
Мельница	q	кг/ч
Двигатель внутреннего сгорания	$M \cdot \omega$	Н · м/с
Насос	$Q \cdot h$	л · м/с
Трансформатор	N	кВ · А

т. е. эти критерии выявляют на основе анализа описания функции ТО. Поскольку функции ТО характеризуются самыми различными показателями, то практически невозможно дать исчерпывающий перечень функциональных критериев. В связи с этим рассмотрим только некоторые наиболее часто действующие функциональные критерии. Среди них можно выделить три группы критериев (см. рис. 11): производительности, точности и надежности.

Критерий производительности всегда может быть измерен или вычислен. Структура формулы для вычисления критерия и единица измерения производительности могут быть самыми различными. Примеры приведены в табл. 14, где приняты следующие обозначения: T — время; V — объем; G — грузоподъемность; v — скорость; M — момент на валу; ω — угловая скорость; Q — расход; h — высота подъема; N — мощность.

Критерий производительности представляет собой интегральный показатель уровня развития техники, который непосредственно зависит от ряда параметров, определяющим образом влияющих на производительность труда. Эти параметры представляют собой как бы частные функциональные критерии; к ним относятся:

1) скорость обработки объекта (число оборотов или операций в единицу времени, скорость движения рабочих органов машины, транспортной машины, протекания химической реакции и т. п.);

2) физические и химические параметры (температура, давление, напряжение и др.), определяющим образом влияющие на интенсивность обработки объекта (предмета обработки);

- 3) степень механизации труда;
- 4) степень автоматизации труда;
- 5) непрерывность процесса обработки.

Определим критерии пп. 3) — 5), которые в отличие от критериев пп. 1), 2) являются комплексными и зависят от многих факторов.

Критерий механизации равен отношению механической работы, выполняемой только ТО, ко всей механической работе, выполняемой суммарно ТО и человеком (коллективом людей) при получении определенной продукции.

Критерий автоматизации равен отношению числа управляющих операций, выполняемых только ТО, к общему числу управляющих операций, выполняемых суммарно ТО и человеком при получении определенной продукции.

Критерий непрерывности процесса обработки, связанный с получением определенной готовой продукции, равен отношению числа операций, выполняемых с использованием непрерывных процессов, к общему числу операций с использованием непрерывных и прерывистых процессов воздействия на предмет обработки. Под непрерывными процессами здесь понимаются вращательное, поступательное и поточное движения без существенного снижения скорости или безостановочная обработка; под прерывистыми процессами — возвратно-поступательное движение, операции с остановками или прерываниями технологического процесса при переходе к следующей операции и т. п. Следует заметить, что в основе критерия непрерывности процесса обработки лежит один из главных способов повышения производительности труда.

Критерии точности включают следующие частные критерии:

- точности измерения;
- точности попадания в цель;
- точности обработки материала или вещества;
- точности обработки потока энергии;
- точности обработки потока информации.

Для этих частных критериев имеются развитые способы измерения и оценки точности, которые легко найти в специальной литературе.

Критерии надежности включают частные критерии:

- безотказности;
- долговечности;
- сохраняемости;
- ремонтпригодности.

Определение этих критериев для различных ТО легко найти в специальной литературе.

Под надежностью ТО обычно подразумевают способность без отказов выполнять свою функцию с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени. Критерий надежности возрастает с увеличением времени и вероятности безотказной работы.

Критерии производительности, точности и надежности представляют собой монотонно возрастающие функции. Актуальность и вес этих критериев всегда были выше по сравнению с другими группами критериев (см. рис. 11) и со временем продолжают возрастать.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РАЗВИТИЯ ТО

Группа технологических критериев главным образом обеспечивает *всестороннюю экономию живого труда* при изготовлении ТО и подготовке их к эксплуатации. Кроме того, эти критерии направлены на экономию материалов, зависящую от технологических факторов, что опять же вносит определенную долю в экономию живого труда. Можно выделить четыре основных технологических критерия.

Критерий трудоемкости изготовления ТО. Критерий равен отношению суммарной трудоемкости T_c проектирования, изготовления и подготовки к эксплуатации изделия к его главному показателю эффективности Q , т. е. представляет собой удельную трудоемкость изготовления на единицу получаемой эффективности:

$$K_T = T_c/Q.$$

Главный показатель эффективности Q выбирают таким образом, чтобы критерий K_T объективно отражал прогрессивное развитие рассматриваемых ТО. В табл. 15 приведены примеры выбора показателя Q для различных ТО. Критерий K_T представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений ТО ведется по одному и тому же показателю эффективности Q .

Критерий трудоемкости является одним из самых древних, поскольку он действует и в сильной степени влияет на развитие ТО, начиная с каменного века, с первых искусственно изготавливаемых орудий — ручных рубил. Ак-

Примеры показателя эффективности ТО

Наименование ТО	Показатели эффективности	
	Наименование	Размерность
Двигатели, генераторы, трансформаторы и т. п.	Мощность	кВт
Средства транспорта	Масса перевозимого груза (число пассажиров) в единицу времени	т·км/ч (чел·км/ч)
Экскаваторы, прокатные станы и другие обрабатывающие машины	Производительность	м ³ /ч, т/ч, м/ч, шт/ч и т. п.
Автомобильные, железнодорожные мосты	Полезная нагрузка	Н
Муфты, редукторы	Крутящий момент	Н·м
Сельскохозяйственные плуги	Ширина захвата	м
Оружие и артиллерийские системы	Энергия пули, снаряда	Дж

туальность этого критерия на протяжении всей истории техники всегда была и остается весьма высокой и неизменной.

Имеются все основания утверждать, что критерий K_T проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО.

Критерий технологических возможностей. Любой ТО, разработанный только с учетом функциональных и антропологических критериев (требований), может содержать не более пяти типов элементов (агрегатов, узлов, деталей):

A_c — стандартные или покупные элементы, получаемые в готовом виде;

A_y — унифицированные элементы, заимствованные из существующих ТО;

A_{n1} — оригинальные (новые) элементы, изготовление которых не вызывает затруднений (могут быть изготовлены на имеющемся оборудовании), но требует разработки и отработки технологии их изготовления;

A_{n2} — оригинальные элементы, изготовление которых вызывает значительные, но преодолимые трудности (требуется разработка новой технологии с предварительным

изготовлением сложной технологической оснастки, приобретение дефицитного оборудования и т. п.);

A_{H3} — оригинальные элементы, изготовление которых вызывает принципиальные, пока непреодолимые трудности (отсутствует в принципе или нельзя приобрести необходимое технологическое оборудование или подходящие материалы, требуется предварительное проведение НИР и ОКР и т. п.).

Критерий технологических возможностей, который должен отражать простоту и принципиальную возможность изготовления ТО, можно определять по формуле

$$K_{Т. в} = \varepsilon \frac{k_c A_c + k_y A_y + k_{H1} A_{H1} + k_{H2} A_{H2}}{A_c + A_y + A_{H1} + A_{H2} + A_{H3}}, \quad (5)$$

$$\text{где } \varepsilon = \begin{cases} 1, & \text{если } A_{H3} = 0; \\ 0, & \text{если } A_{H3} > 0; \end{cases}$$

k_c, k_y, k_{H1}, k_{H2} — весовые коэффициенты, причем $k_c = 1$, $k_c > k_y > k_{H1} > k_{H2}$ (например, $k_y = 0,5$, $k_{H1} = 0,2$, $k_{H2} = 0,01$); $A_c, A_y, A_{H1}, A_{H2}, A_{H3}$ — соответственно число наименований стандартных, унифицированных и оригинальных элементов в ТО (под одним наименованием может быть несколько одинаковых элементов).

На практике широко используют частные случаи этого обобщенного критерия: критерий стандартизации, когда в числителе формулы (5) берется только A_c ; критерий унификации, когда в числителе берется $A_c + A_y$.

Критерий технологических возможностей в любой форме представления изменяет свои значения на отрезке $0 \leq K_{Т. в} \leq 1$. Хотя улучшение критерия связано с возрастанием значения $K_{Т. в}$, все же его нельзя отнести к монотонно возрастающим функциям, поскольку часто в новых поколениях ТО для улучшения более важных критериев приходится ухудшать критерий технологических возможностей. Основная форма представления критерия (5) стимулирует исключение абсолютно нетехнологичных элементов A_{H3} и минимизацию элементов A_{H2}, A_{H1}, A_y в соответствии с их весовыми коэффициентами.

Критерий технологических возможностей отражает *фактор наследственности в технике*, аналогичный фактору наследственности в живой природе, определяемому законом Дарвина. При переходе от одного поколения ТО к другому критерий $K_{Т. в}$ заставляет в наибольшей мере сохранять и использовать проверенные практикой функ-

циональные элементы, отработанную технологию их изготовления и существующее технологическое оборудование. Поскольку за каждое конструктивное изменение в новом поколении ТО приходится «платить» значительными дополнительными затратами, связанными с изменением технологического процесса и созданием соответствующего технологического оборудования, приспособлений и инструмента, тем более имеется риск, что новые элементы не оправдают себя на практике.

Критерий технологических возможностей начал оказывать влияние на развитие техники с конца XVIII века, когда значительно возросла сложность ТО и в достаточной степени развилось «машинное производство машин», орудий труда и оружия, выпускаемых большими сериями. Актуальность критерия технологичности сильно возросла в первой половине XX века и продолжает расти во второй половине нашего столетия.

Критерий технологических возможностей имеет отношение к любому классу ТО. Способы и средства улучшения этого критерия, которые следуют из структуры формулы (5), приведены в прил. 2 (разд. 12).

Критерий использования материалов. Для изготовления элементов ТО используют различные природные материалы, отлитые заготовки, сортовой и листовой прокат, трубы различных профилей, специальные профильные заготовки (валы, шары, шестерни и т. п.) и др. В процессе обработки исходного материала и заготовок появляются обрезки, стружка и другие отходы, в результате чего масса готовых деталей и, соответственно, ТО получается меньше массы израсходованных материалов. В связи с этим потери, например, черных металлов в машиностроении составляют 20—25 %, отходы металла в стружку при обработке резанием — до 28 %, т. е. 4,5 млн. тонн в год. В целом коэффициент использования металла не превышает 0,55.

Поскольку доля отходов в большей мере зависит от технологических процессов и технологического оборудования, существует и действует технологический критерий использования материалов $K_{и.м.}$, равный отношению массы изделия G к массе израсходованных материалов P (при этом покупные комплектующие элементы не учитываются):

$$K_{и.м.} = G/P. \quad (6)$$

В случае, когда в ТО используются материалы, значительно различающиеся по стоимости, при вычислении критерия $K_{и.м}$ рекомендуется пользоваться следующими зависимостями:

$$G_n = \sum_{i=0}^m k_i q_i, \quad (7)$$

$$P_n = \sum_{i=0}^m k_i p_i, \quad (8)$$

где $i = 0, 1, \dots, m$ — номера используемых различных материалов; q_i — масса i -го материала, используемого в ТО; k_i — весовой коэффициент i -го материала (можно принять $k_i = c_i/c_0$, где $i = 1, 2, \dots, m$); c_i — стоимость единицы массы i -го материала; c_0 — стоимость единицы массы основного материала; p_i — масса i -го материала, израсходованного на изготовление элементов ТО.

Критерий $K_{и.м}$ представляет собой монотонно убывающую функцию, которая принимает значения в интервале $0 < K_{и.м} < 1$. Несмотря на тенденцию монотонного убывания, функция (6) иногда имеет ступенчатые (скачкообразные) возрастания, обычно связанные с переходом на новые технологические процессы со значительно большей производительностью или новые более дешевые материалы.

Критерий $K_{и.м}$ можно назвать *коэффициентом полезного использования материалов*, поскольку по содержанию, характеру и диапазону изменения он близок к энергетическому коэффициенту полезного действия.

Критерий использования материалов начал проявлять свое действие в конце мустьерской эпохи (40 тыс. лет назад), когда более совершенные разнообразные каменные орудия стали в значительно большем количестве изготавливать в основном из кремня, обсидиана, агата и других нешироко распространенных и находящихся в ограниченных количествах минералов. В это время сформировалась технология экономного использования материалов. Актуальность критерия $K_{и.м}$ на протяжении всей истории техники всегда была и остается высокой и неизменной по отношению к любому классу ТО.

Способы и средства улучшения критерия даны в прил. 2 (разд. 1, 6).

Критерий расчленения ТО на элементы. Почти каждый ТО можно выполнить из существенно меньшего числа

элементов (узлов и деталей), чем он сделан на самом деле. Например, некоторые простые узлы можно изготовить в виде одной неразъемной детали, отдельные узлы объединить одной станиной и т. п. Такая минимизация числа элементов дает, казалось бы, определенный выигрыш за счет исключения элементов сопряжения и соединения (уменьшается общая масса изделия, повышается его жесткость и надежность, уменьшается трудоемкость механической обработки и сборки и т. д.). Однако такое кажущееся упрощение конструкции, наряду с указанными положительными моментами, часто приносит несоизмеримо большие потери. Дело в том, что большее расчленение часто сокращает время и трудоемкость разработки и доводки изделия в целом, поскольку в каждом новом изделии, как бы хорошо оно ни было спроектировано, имеются более или менее совершенные узлы. Поэтому в процессе разработки и доводки нового изделия экономичнее и проще устранять недостатки отдельных более простых узлов, чем сложных узлов или изделия в целом. Большее расчленение ТО на узлы и детали облегчает и расширяет унификацию и стандартизацию с присущими им преимуществами, позволяет чрезмерно сложные (с точки зрения изготовления) по конструкции элементы собирать из простых однотипных элементов.

Следует также отметить, что при чрезмерно мелком дроблении ТО на элементы многие из этих достоинств оборачиваются недостатками.

Кроме указанных технологических причин, на расчленение ТО влияют также функциональные, экономические и антропологические факторы. Это влияние рассматривается при обслуживании соответствующих критериев.

Таким образом, всегда существует *оптимальное расчленение* ТО на узлы и детали, которое значительно упрощает технологию разработки, доводки, изготовления, ремонта и модернизации изделий, является основой для унификации и стандартизации.

Критерий K_p расчленения ТО на элементы обеспечивает в каждом новом поколении изделий приближение к оптимальному разделению на элементы. Ввиду сложности определения этого критерия не будем давать его аналитического выражения, которое при необходимости можно взять из книги [47].

Критерий K_p имеет отношение к любому классу ТО, которые состоят более чем из одного элемента, серийно

изготавливаются и от поколения к поколению претерпевают прогрессивные конструктивные изменения. Способы и средства его улучшения даны в прил. 2 (разд. 2, 12).

4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РАЗВИТИЯ ТО

Критерий расхода материалов. Всесторонняя экономия материалов при разработке и изготовлении ТО вызвана рядом факторов. К основным причинам уменьшения расхода материала относятся:

снижение стоимости ТО, поскольку стоимость материалов в ТО составляет 25—65 % их себестоимости;

снижение транспортных и погрузочно-разгрузочных расходов при перевозке исходного сырья и материалов для изготовления ТО и при транспортировании готовых ТО к месту их использования;

экономия энергии при эксплуатации ТО (таких, как транспортные, обрабатывающие и другие машины и устройства), в которых значительная часть энергии затрачивается на обеспечение поступательного, возвратно-поступательного, вращательного и других видов механического движения.

Критерий расхода материала K_m равен отношению массы технической системы G к ее главному показателю эффективности Q :

$$K_m = G/Q, \quad (9)$$

т. е. представляет собой удельную массу материалов на единицу получаемой эффективности.

Показатель эффективности Q выбирают в соответствии с рекомендациями п. 3 данной главы.

Следует заметить, что формула (9) в случаях использования в ТО материалов с значительно различающейся стоимостью оказывается малочувствительной к изменению массы дорогих материалов, которые обычно применяют в небольших количествах. В таких случаях рекомендуется определять приведенную массу G_n по формулам (7), (8), данным для критерия использования материалов.

Критерий расхода материалов является одним из самых древних. Актуальность его на протяжении всей истории техники всегда была и остается весьма высокой и неизменной.

Критерий K_m , как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставле-

ние различных поколений ТО ведется по одному показателю эффективности Q . Имеются все основания утверждать, что критерий K_m проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО. В прил. 2 (разделы 1, 2, 6, 10) указаны основные, широко используемые способы абсолютного снижения расхода материалов.

Критерий расхода энергии. При изготовлении и (или) эксплуатации ТО, как правило, расходуется определенное количество энергии. Поскольку удовлетворение возрастающих потребностей людей обычно жестко ограничивается имеющимися энергетическими возможностями, то указанные затраты энергии всегда стремятся свести к минимуму. В связи с этим существует и действует критерий расхода энергии:

$$K_a = \frac{W_n + E}{TQ}, \quad (10)$$

где W_n — полная затрата энергии за время эксплуатации ТО; E — затраты энергии при изготовлении ТО; T — время эксплуатации ТО.

Формулу (10) рекомендуется использовать в случаях, когда величины W_n и E соизмеримы. Для многих ТО $W_n \gg E$. В таких случаях используется более простая формула критерия:

$$K_a = W/Q, \quad (11)$$

где W — затраты энергии при эксплуатации ТО в единицу времени.

Поскольку большинство конструктивных мероприятий по улучшению критерия (11) сводится к повышению доли энергии, используемой непосредственно для выполнения полезной работы, то в инженерной практике широко используют еще одну модификацию критерия расхода энергии, называемую *коэффициентом полезного действия*. Эта модификация критерия равна отношению полезной работы (энергии) W_0 к затраченной работе (энергии) W :

$$K_a = W_0/W. \quad (12)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) в какой-то мере можно назвать частным случаем критерия (11), тем более, что, например, для двигателей, генераторов, трансформаторов и других ТО, производящих энергию, крите-

рий (12) равен обратной величине критерия (11). Несмотря на частный характер критерия (12), он имеет самостоятельное значение и особенно удобен при разработке улучшенных (по энергетическим показателям) модификаций ТО.

Критерии (10), (11), как правило, представляют собой монотонно убывающую во времени функцию при условии, что сравнение различных поколений ТО ведется по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Критерий (12) является монотонно возрастающей функцией, которая принимает значения в интервале $0 \leq K_0 \leq 1$; при этом подразумевается сравнение ТО с одинаковыми физическими принципами действия. История техники знает немало случаев, когда переход на более перспективный источник энергии происходил со снижением КПД. Ярким примером может служить переход в XVIII веке от водяных колес с КПД порядка 60—70 % к паросиловым установкам с КПД 0,6—0,7 %.

Критерий расхода энергии является также одним из самых древних, поскольку, начиная с каменного века, люди стремились при получении единицы продукции минимизировать затраты энергии. Актуальность этого критерия на протяжении всей истории техники была и остается весьма высокой и неизменной.

Имеются все основания утверждать, что критерий (10) проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО.

Критерий затрат на информационное обеспечение. В последнее время в связи с широким использованием вычислительной техники появились и возросли затраты на подготовку и обработку информации при создании и эксплуатации многих ТО. Эти затраты становятся сопоставимыми с затратами на материалы и энергию, а прибыли от них быстро возрастают. В связи с этим появилась необходимость введения критерия затрат на информационное обеспечение в виде отношения

$$K_{\text{и. о}} = S/Q, \quad (13)$$

где S — затраты на подготовку и обработку информации, включающие стоимость или эксплуатацию вычислительной техники, разработку (или аренду) программного и информационного обеспечения и т. д.

Критерий (13) представляет собой монотонно убывающую функцию. Однако критерий может иметь скачки,

когда дополнительные значительные затраты S связаны с переходом на принципиально новую перспективную вычислительную технику, которая сразу не дает опережающего повышения эффективности ТО.

Критерий габаритных размеров ТО. Снижение габаритных размеров ТО и их элементов связано в первую очередь с получением следующих выгод:

- уменьшение площади и объема зданий и помещений, в которых постоянно или временно находятся ТО;

- уменьшение площади земли, занимаемой непосредственно ТО или зданиями, в которых находятся ТО;

- увеличение полезного объема в ТО типа летательных и космических аппаратов, судов, подводных лодок и т. п.;

- сокращение расходов по защите ТО (расходы на материал корпуса, кожухи, чехлы, лакокрасочные покрытия и т. п.) и уходу за ними;

- сокращение расходов по транспортированию ТО.

Критерий габаритных размеров равен отношению основных габаритных размеров технического объекта V к его эффективности

$$K_r = V/Q.$$

Если наиболее важным является снижение объема ТО, то $V = LBH$; если снижение занимаемой площади представляется более важным показателем, чем объем, то $V = LB$, если наиболее важным из габаритных параметров является уменьшение некоторого линейного размера, то $V = L$ (L, B, H — соответственно длина, ширина и высота ТО). За эффективность Q принимают те же показатели, что и в критерии использования материалов.

Критерий K_r , как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии сопоставления различных поколений ТО по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Актуальность этого критерия все время монотонно возрастает.

Критерий K_r имеет влияние на развитие подавляющего большинства ТО за исключением тех, у которых уменьшение габаритных размеров функционально ограничено, например, размерами человека, животных и других объектов, имеющих неизменные размеры.

Основные способы и средства улучшения критерия габаритных размеров даны в прил. 2 (разд. 1, 2, 3).

5. АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РАЗВИТИЯ ТО

Группа антропологических критериев обеспечивает по возможности наибольшее соответствие и приспособление ТО к человеку, снижение дискомфорта и повышение положительных эмоций, снижение или исключение вредных и опасных (непосредственных или опосредственных) воздействий ТО на человека.

Критерий эргономичности ТО. Эффективность многих ТО в значительной степени зависит от того, насколько они приспособлены к психофизиологическим качествам человека-оператора, использующего этот ТО или управляющего им при воздействии на предмет обработки, т. е. насколько в системе человек—машина использованы физические, психические и интеллектуальные возможности человека.

Свойство системы человек-машина изменять свою эффективность в зависимости от степени использования возможностей человека-оператора называют эргономичностью. Эффективность ТО при этом в первую очередь выражается через функциональные критерии развития ТО (см. п. 2 гл. 3), например, производительность, надежность, точность и др.

Критерий эргономичности для конкретного ТО равен отношению реализуемой эффективности системы человек—машина к максимально возможной эффективности этой системы. Он представляет собой зависящую от времени монотонно возрастающую функцию, стремящуюся к своему пределу, равному единице. В книге [47] дан способ вычисления критерия эргономичности.

Критерий эргономичности можно интерпретировать как коэффициент полезного действия человека в системе человек—машина, тем более, что граница и характер изменения значений этого критерия такие же, как у энергетического коэффициента полезного действия.

Критерий эргономичности действует с древнейших времен по отношению ко всем ТО, с которыми взаимодействует человек-оператор. Актуальность и значимость этого критерия оставалась стабильной до начала XIX века. Начиная со второй половины XIX века стали быстро возрастать разнообразие и сложность машин, станков, аппаратов, в результате чего стали также расти и расширяться требования к человеку-оператору. Особенно усилился

этот процесс во второй половине XX века, т. е. актуальность и значимость критерия эргономичности в последнее столетие возрастала и продолжает расти, что вызвало формирование и развитие новой научной дисциплины — эргономики, основная прикладная ориентация которой заключается в проектировании и создании оптимальных по эффективности сложных человеко-машинных систем.

Критерий красоты ТО. Эстетическое влияние ТО здесь понимается шире, чем принято в дисциплине по технической эстетике и художественному конструированию. Концепция построения критерия красоты с более широких позиций изложена в гл. 6. В книге [47] предлагается способ количественной оценки критерия красоты.

Критерий безопасности ТО. Многие ТО, а также выпускаемая ими продукция и используемое сырье оказывают или могут оказать на работающих и окружающих людей различные вредные или опасные воздействия:

повреждение или поражение органов, приводящие к временной потере трудоспособности;

тяжелые повреждения или поражения, приводящие к постоянной потере трудоспособности (перевод на инвалидность);

смертельный исход (исходы).

В связи с этим существует критерий безопасности, под действием которого ТО в своем развитии имеет тенденцию понизить или исключить вредные и опасные воздействия на окружающих людей.

Критерий безопасности ТО можно определять по формуле

$$K_6 = \sum_{i=1}^n \beta_i \gamma_i \frac{S_i}{S_i^n},$$

где n — число вредных и опасных факторов; β_i — весовой коэффициент i -го фактора, который выбирается в соответствии с градацией по тяжести вредных и опасных воздействий ТО при условии, что $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$; γ_i — весовой коэффициент i -го вредного или опасного фактора, который принимает следующие значения: $\gamma_i = 1$ при $S_i = S_i^n$, $\gamma_i = 1/\min(\beta_i)$, S_i — величина i -го вредного или опасного фактора, вызванного рассматриваемым ТО (это может быть вероятность легкой или тяжелой травмы, уровень радиации, звуковая или вибрационная нагрузка,

концентрация отравляющих веществ в воздухе и т. д.); S_i^H — нормативное (предельно допустимое) значение i -го вредного или опасного фактора (будем так задавать значения величин S_i , S_i^H , чтобы всегда иметь $S_i^H \gg 0$, а допустимое значение $S_i \leq S_i^H$).

Для каждого нового класса ТО требуется проведение специальных исследований и обоснований для выбора совокупности факторов S_i ; их нормативных значений S_i^H и весовых коэффициентов β_i .

Легко видеть, что при условии ненарушения нормативов, когда все $S_i \leq S_i^H$, критерий K_6 принимает значения $0 \leq K_6 \leq 1$. При нарушении любого из нормативов получаем $K_6 > 1$ и, если нарушение связано с фактором, имеющим относительно большой вес β_i , то $K_6 \gg 1$.

Следует заметить, что когда ведется оценка вредных действий ТО на окружающих людей, то часто наряду с рассматриваемым ТО аналогичные вредные воздействия оказывают и другие существующие ТО. В таких случаях рассматривают вопрос не только о невозможности создания проектируемого ТО, но и об исключении существующих ТО, которые имеют свою долю в нарушении нормативов.

Критерий безопасности имеет отношение ко всем классам ТО, которые своим функционированием, выпускаемой продукцией или используемым сырьем оказывают или могут оказать на окружающих людей вредное или опасное воздействие.

Критерий экологичности. Критерий экологичности, или критерий сохранения окружающей среды, должен регулировать взаимоотношения между естественной природой и ТО с точки зрения комфортности и возможности жизни людей.

Критерий экологичности в общем виде можно выразить зависимостью

$$K_{\text{э}} = (S_{\text{н}} + S_{\text{к}})/S_0, \quad (14)$$

где $S_{\text{н}}$ — площадь территории (суши и воды), на которой по одному или нескольким факторам имеются *недопустимые* (выше нормы, но ниже критических) загрязнения или изменения; $S_{\text{к}}$ — площадь территории, на которой по одному или нескольким факторам имеются *критические* загрязнения и изменения, при которых жизнь человека ста-

новится смертельно опасной или невозможной; S_0 — вся площадь страны (или интересующего региона, области и т. д.), которая должна быть постоянной величиной.

К факторам загрязнения и изменения среды относятся:

А. Инородные примеси, вносимые в атмосферу, воду и землю в виде *новых* веществ, физических полей и воздействий; различные газы и пыль, выделяемые заводами и транспортными машинами; загрязнение воды и земли промышленными сбросами, пестицидами; радиоактивное, шумовое и тепловое загрязнение среды и многое другое.

Б. Изменения в неживой природе в виде отклонений от *естественной нормы* концентрации веществ, характеристик физических полей и воздействий, рельефа и структуры поверхности земли и др.

В. Изменения в живой природе в виде отклонений от естественной нормы числа особей существующих видов на единицу площади, исчезновения существующих видов или появления новых.

До начала XIX века отношение (14) по существу не действовало как критерий. В XIX веке его действие постепенно возрастало, а в первой половине XX века стало ускоренно расти, и это ускорение усилилось в последнее время особенно за счет составляющей S_k . В это время собственно и возникла проблема охраны окружающей среды и стали вводить соответствующее законодательство.

Следует отметить, что жесткое влияние критерия $K_{эж}$ не подразумевает абсолютного прекращения нежелательных загрязнений и изменений природы, поскольку первейшие потребности растущего народонаселения нельзя удовлетворить, не производя таких изменений. Этот критерий в первую очередь должен влиять на выбор средств минимального воздействия на природу, на серьезное обоснование нормативов загрязнения и изменения среды, нарушение которых приносит несоизмеримо больший вред по сравнению с пользой или вообще недопустимо. Под средствами минимального воздействия на природу понимается также широкое использование компенсационных мероприятий, которые обеспечивают в целом уменьшение или стабилизацию критерия $K_{эж}$. Например, одновременно с созданием интересующих ТО, которые повышают критерий экологичности, исключают некоторые существующие ТО или проводят специальные мероприятия по восстановлению природы и т. д.

Сфера действия критерия экологичности весьма широкая. Он имеет отношение ко всем классам ТО, производство и функционирование которых загрязняет и изменяет природу.

В вопросах сохранения окружающей среды решающее значение имеет психологический фактор. Здесь в первую очередь должна быть в принципе изменена *психологическая установка* всех лиц, которые непосредственно вносят или могут внести определенное загрязнение и изменение природы, приносящее к повышению $K_{\text{эж}}$. Этот круг лиц для краткости назовем вредителями природы. Такие люди и в отдаленные времена сознавали, что их действия вызовут некоторые нежелательные изменения окружающей среды. Однако при этом, как правило, считалось, что природа справится с вносимыми загрязнениями и изменениями, которые будут иметь сугубо локальный характер и в итоге не окажут существенного влияния на здоровье и самочувствие людей.

Психологическая установка вредителей природы должна теперь в принципе измениться, поскольку природа в последнее время в результате суммирования многих нежелательных воздействий оказалась «предельно напряжена» по отношению ко многим факторам загрязнения и изменения. В связи с этим, в отличие от прежних времен, теперь даже небольшое, казалось бы, локальное загрязнение и изменение часто оказывается «последней каплей», вызывающей неожиданные крупные нежелательные или даже катастрофические изменения, которые у большинства людей (в том числе у самих вредителей природы, их родных и близких) вызывают повышение дискомфорта, ухудшение самочувствия и состояния здоровья.

Мы здесь потому остановились на важности критерия экологичности, что при решении очень многих задач поиска более эффективных конструкторско-технологических решений нужно стремиться понизить $K_{\text{эж}}$. Кроме того, в настоящее время открылось большое поле благородной творческой деятельности — улучшение экологии инженерными средствами, основывающимися на новых конструкторско-технологических решениях.

ГЛАВА 4. КОНСТРУКТИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Уважение к минувшему — вот черта, отличающая образованность от дикости.

А. С. Пушкин

В науке и технике больше, чем в каком-либо другом институте человечества, необходимо изучать прошлое для понимания настоящего и господства над природой в будущем.

Дж. Бернал

1. ОБ ИЗУЧЕНИИ КОНСТРУКТИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Изучение конструктивной эволюции связано с изучением и анализом истории развития интересующего класса ТО, имеющих одинаковые или близкие функции. Такое исследование основывается на законе *прогрессивной эволюции ТО* (см. п. 2 гл. 5), суть которого состоит в повторении следующего цикла:

1) начало изготовления и использования поколения S_i технических объектов;

2) накопление в течение времени t_i недостатков у поколения S_i ;

3) создание (разработка) нового поколения S_{i+1} , устраняющего недостатки S_i и начало его изготовления и использования.

Укажем некоторые наиболее важные цели проведения анализа конструктивной эволюции, которые, как увидим, несомненно оправдают значительные затраты на изучение и исследование истории техники.

1. При создании нового поколения ТО, как правило, имеется несколько путей дальнейшего конструктивного изменения и совершенствования ТО. Среди всех альтернативных путей обычно только один бывает наиболее правильным и перспективным. Остальные часто оказываются тупиковыми. Поэтому перед конструктором каждый раз стоит ответственная задача не только изобрести несколько альтернативных улучшенных технических решений, но, главное, *найти единственное наиболее правильное решение*.

Дальнейшее развитие и совершенствование любого ТО, как правило, основывается на всей истории его констру-

тивной эволюции. Знание этой истории лучше всего ориентирует интуицию конструктора, т. е. изучение эволюции помогает инженеру *выявить основные устойчивые факторы*, влияющие на развитие ТО, и наиболее правильно сформулировать для себя тенденции его развития.

2. Знание истории ТО часто подсказывает удачные идеи его дальнейшего совершенствования. Это связано с тем, что в области техники действует философский закон отрицания отрицания, характеризующий развитие по спирали. В инженерной практике в связи с этим существует афоризм: «Все новое — хорошо забытое старое».

Так, например, в XVII веке водяные колеса как источник энергии были вытеснены паровыми машинами, а в конце XIX века появились гидравлические турбины, которые до середины XX века нашли очень широкое распространение. С середины XX века распространение гидравлических турбин (гидроэлектрических станций) стало ограничиваться бурным развитием тепловых электростанций. В настоящее время снова повышается роль гидроэлектрических станций (приливные, прибойные и т. п.). Еще один пример. К 1870 году прекратилось использование гладкоствольных артиллерийских орудий, заряжаемых с дула. Стали господствовать нарезные пушки, заряжаемые с казенной части, но примерно через 70 лет появились минометы.

3. Анализ конструктивной эволюции позволяет выявить и кратко описать *опыт решения задач инженерного творчества*. Такой опыт часто формируют в виде обобщенных эвристических приемов (правил), подсказывающих получение от прототипа S_i улучшенного решения S_{i+1} . Ценность таких правил состоит в том, что они для данного класса ТО (и для других классов) часто срабатывают повторно, т. е. их имеет смысл сознательно использовать, тем более, что среди них оказываются и частные закономерности изменения конструкции ТО.

4. Каждый хороший художник в целях совершенствования своего мастерства считает обязательным для себя копирование работ великих мастеров. Также и хороший конструктор-изобретатель должен осмыслить в деталях и «пропустить через себя» процесс получения выдающихся изобретений, прежде всего в своей области. Анализ конструктивной эволюции позволяет получать такую мыслительную тренировку и углубленно изучать работу и опыт выдающихся конструкторов.

5. Углубленное и всестороннее изучение конструктивной эволюции интересующего класса ТО позволяет набрать необходимую сумму фактов для *формулирования закономерностей строения и развития*. Знание таких закономерностей еще более облегчит нахождение новых, эффективных и перспективных технических решений. В связи с этим можно сказать, что *наивысший уровень инженерного творчества заключается в выявлении и формулировании законов и закономерностей строения и развития ТО и сознательном их использовании в поиске улучшенных технических решений*.

2. МЕТОДИКА ОПИСАНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ И АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Цель анализа конструктивной эволюции технических объектов с одинаковыми или близкими функциями заключается:

в выявлении устойчивых (постоянно действующих) критериев развития ТО и показателей их качества;

в формулировании закономерностей строения и развития ТО;

в формулировании правил (приемов) получения улучшенных технических решений путем преобразования прототипа.

Анализу конструктивной эволюции предшествует изучение и описание истории развития интересующего класса ТО, которую можно представить в виде последовательности преобразований, называемой *эволюционной цепочкой*:

$$\begin{aligned} S_0 &\rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_k; \\ S_i &\rightarrow S_{i+1}, \quad (i = 0, \dots, k), \end{aligned} \quad (15)$$

где S_i — ТО i -го поколения, являющийся прототипом по отношению к улучшенному ТО; S_{i+1} — ТО последующего поколения; S_k — последнее (сегодняшнее) поколение ТО.

При построении эволюционной цепочки и отборе для нее поколений S_i технических объектов рекомендуется руководствоваться следующими правилами:

1) взять S_i , лежащие на прямой линейной эволюционной цепочке и построить ее ретроспективно в обратном направлении:

$$\dots \leftarrow S_{k-2} \leftarrow S_{k-1} \leftarrow S_k,$$

при этом для каждого S_i выбрать основной (базовый) прототип S_{i-1} , на основе которого был создан S_i ; цепочку строить до первого пионерного решения S_0 (оно может относиться ко временам далекого прошлого);

2) отобрать только S_i , относящиеся к серийно или массово производимым. Это, конечно, не касается уникальных ТО, для них остается условие изготовления и использования;

3) отобрать только те S_i , которые имеют существенные отличия от прототипов, это требование позволяет очистить эволюционную цепочку от малоинтересных (в смысле конструктивной эволюции) модификаций.

При построении эволюционной цепочки для реального класса ТО могут встретиться и более сложные случаи по сравнению с линейными цепочками (15). Типичным усложнением является ветвление цепочки, а точнее, случай, когда поколение S_{i+1} создавалось на основе нескольких прототипов S_i^d, S_i^r, \dots . В этих случаях выбирают главный базовый прототип S_i^r , а остальные относят к дополнительным прототипам S_i^d . Далее цепочка продолжается от S_i^r , например,

$$\begin{array}{c} S_i^d \leftarrow \text{---} \\ | \\ S_{i-1} \leftarrow S_i^r \leftarrow S_{i+1}. \end{array}$$

Эволюционная цепочка может строиться на основе мирового опыта развития техники, или на основе национальной истории развития техники, или на основе разработок отдельных предприятий. Однако в любом случае нужно стремиться выполнить одно условие: при описании (реконструкции) каждого перехода $S_i \rightarrow S_{i+1}$ должен быть использован *истинный* прототип S_i , от которого действительно отталкивались создатели поколения S_{i+1} . Конечно, во многих случаях (особенно, если это касается далекого прошлого) установить истинный прототип затруднительно. Тогда выбирают наиболее вероятный прототип.

Для каждого поколения S_i дается описание ТР, критериев развития и показателей качества, конструктивной и потоковой ФС, ФПД. Приведем основные рекомендации по составлению таких описаний.

При составлении описания поколения S_i (от S_0 до S_n) сначала заполняют табл. 16 (см. п. 3 гл. 4):

1) в столбце 1 дают описание ТР поколения S_i или только его отличительные признаки по сравнению с S_{i-1}

при условии, что это дает достаточно полное представление о ТР; при необходимости описание иллюстрируют изображением ТР; указывают год создания или начала серийного производства S_i ;

2) в столбце 2 указывают главные недостатки, из-за которых возникла необходимость создания следующего поколения S_{i+1} ;

3) в столбце 3 на основе главных недостатков формируют критерии развития и показатели качества (с указанием тенденции их изменения), улучшение которых привело или могло привести к устранению недостатков в поколении S_{i+1} ;

4) в столбце 4 дается перечень показателей качества, которые были улучшены в S_i по сравнению с S_{i-1} . Столбец 4 заполняется на основе сведений столбцов 2 и 3, соответствующих поколению S_{i-1} . Кроме того, в столбце 4 указывают еще показатели, которые были попутно улучшены в поколении S_i , что нередко случается, когда в новом ТР, наряду с устранением главного недостатка, улучшается еще ряд показателей.

Если, кроме изучения конструктивной эволюции рассматриваемого ТО в целом представляет интерес изучение эволюции каких-либо его функциональных элементов, то для них также составляют описание по форме табл. 16.

После составления табл. 16 проводят анализ функций каждого поколения S_i . Результаты такого анализа представляют в виде таблицы (табл. 17) и изображений конструктивных ФС. Рекомендации по анализу функций ТО даны в гл. 2. При необходимости анализ функций проводят и для отдельных элементов ТО.

Затем описываются потоковая ФС и ФПД поколения S_i . Для этого по рекомендациям, данным в гл. 2, составляют табл. 19 по описанию физических операций элементов и табл. 20 с описанием используемых в ТО физико-технических эффектов. Табл. 19 и 20 иллюстрируют изображениями потоковых ФС и ФПД для каждого S_i . При этом изображение потоковой ФС можно совмещать с изображением ФПД.

После составления описаний по формам табл. 16—20 начинается анализ переходов $S_i \rightarrow S_{i+1}$ и всей эволюционной цепочки в целом.

Первый этап. С учетом рекомендаций гл. 3 составляют перечень критериев развития для рассматриваемого класса ТО по всей эволюционной цепочке и с прогнозом на буду-

щее. В дополнение к этому перечню дают список существенных показателей качества, обращая особое внимание на показатели, которые представляют интерес для дальнейшей совершенствования рассматриваемых ТО.

Второй этап. Заключается в изучении переходов $S_i \rightarrow S_{i+1}$ по табл. 16—20 с целью определить правила получения улучшенных ТР (табл. 21). Эти правила обычно формулируют как эвристические приемы. При этом имеется в виду улучшение определенных показателей, выделенных на первом этапе. Методические рекомендации по определению и формулировке эвристических приемов и их примеры даны в работах [1, 2, 41] и в гл. 9, откуда можно заимствовать также готовые формулировки приемов. Для каждого перехода $S_i \rightarrow S_{i+1}$ можно дать несколько примеров, облегчающих получение такого перехода.

Третий этап. Анализируются результаты первых двух этапов и вся эволюционная цепочка в целях выявления закономерностей строения и развития рассматриваемого класса ТО. Здесь можно использовать рекомендации п. 9 гл. 1 и гл. 5.

В п. 3 гл. 4 приведен методический пример описания и анализа конструктивной эволюции ТО.

Вопросы изучения конструктивной эволюции ТО рассмотрены также в работах [12, 40, 41, 50].

В заключение отметим, что здесь дана методика достаточно полного изучения и описания конструктивной эволюции. Такое подробное изучение не всегда имеет смысл (или возможность) проводить. Так, например, для некоторых ТО нет смысла изучать потоковые ФС и ФПД, поскольку они не дают интересной информации. В некоторых случаях (при ограниченном времени) приходится выбирать только наиболее важные и результативные аспекты изучения конструктивной эволюции.

3. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ВЕЛОСИПЕДА

Велосипед — одна из самых распространенных машин XX века, удивительно совмещающая в себе простоту и эффективность. В настоящее время он переживает второе рождение: в 60-е и 70-е годы значительно возрос спрос на велосипеды и найдены его улучшенные конструкции. Исторически велосипед интересен тем, что в конце XIX века он, как индивидуальная высокоскоростная машина, привлек всеобщее внимание не только с точки зрения использования. Вокруг него возник известный интеллектуальный бум, как около вечного двигателя. В это время на различные конструкции и усовершенствования

Анализ конструктивной эволюции велосипеда

Описание поколения S_i	Главные недостатки поколения S_i	Критерии развития и показатели качества	Улучшенные показатели качества в S_i по сравнению с прототипом
1	2	3	4
Велосипед поколения S_0 (1813 г.) имел (см. рис. 12) два деревянных колеса, объединенных деревянной рамой 1, седло 2 и мягкий упор 3, чтобы опираться руками и грудью при движении. Движение осуществлялось путем отталкивания от земли ногами	Невозможно повернуть при движении на кривых участках	Приобретение свойства двигаться по криволинейным участкам дороги	—
Велосипед поколения S_1 (1817 г.) отличался от предыдущего тем, что вилка 1 переднего колеса (см. рис. 13) соединялась с рамой 2 через шарнир 3, обеспечивающий вращение переднего колеса вокруг вертикальной оси. Кроме того, вилка 1 имела жестко соединенный с ней руль 4, с помощью которого можно было поворачивать колесо	1. Низкий КПД двигателя в связи с торсионными в момент соприкосновения ног с землей перед отталкиванием 2. Даже на пологих подъемах приходилось слезать, что дополнительно снижало скорость	Приобретение двигателем свойства, исключающего отталкивание ногами от земли	Возможность безостановочной езды на велосипеде поколения S_1 по криволинейным участкам дороги
В велосипеде поколения S_2 (1840 г.) на переднем колесе имелись педали 1 (см. рис. 14), с	Неполное использование силы ног при максимальной скорости вращения педалей и	Увеличение энергии, затрачиваемой при вращении педалей и	Повышение КПД движения, возможность езды без отталкивания

помощью которых ноги вращали колесо, и исключен упор 3 (см. рис. 12)	щения педалей, что ограничивало скорость езды	скорости движения	ногами от земли; отсутствие требования специальной обуви для отталкивания от земли
Велосипед поколения S_3 (1844 г.) отличался значительно большим диаметром переднего колеса (см. рис. 15), что позволило увеличить скорость езды	Велосипед стал опасен для окружающих и ездока, поскольку ноги не доставали до земли и поэтому нельзя резко замедлить движение и остановиться	Сокращение длины тормозного пути (от начала замедления до остановки)	Более полное использование мускульной энергии; повышение скорости движения
В велосипед поколения S_4 (1846 г.) появилась тормозная колодка 1 (см. рис. 15), прижимаемая рычагом 2 к ободу заднего колеса	При езде по неровной дороге человека очень трясло	Динамические усилия и ударные нагрузки, действующие на человека при езде	Повышение безопасности движения и средней скорости
В велосипед поколения S_5 (1863 г.) под сиденьем располагалась амортизирующая пластина 1 (рис. 16) и на обод надевали резиновые шины 2	При движении на больших скоростях по неровной дороге деревянные детали рамы, передней и задней вилок часто ломались	Повышение надежности на прочность рамы и конструкции вилок	Снижение динамических усилий и толчков, действующих на человека при езде по неровностям, и шума при езде по каменным мостовым и жестким покрытиям
В велосипед поколения S_6 (1870 г.) рама и вилки колес изготавливались из стали (см. рис. 17)	Относительно большая масса деревянных колес, особенно переднего колеса, имеющего больший диаметр	Снижение массы колес	Повышение надежности на прочность конструкции рамы и вилок

Продолжение табл. 16

Описание поколения S_i	Главные недостатки поколения S_i	Критерии развития и показатели качества	Улучшенные показатели качества в S_i по сравнению с прототипом
1	2	3	4
Велосипед поколения S_7 (1873 г.) имел колеса со стальными спицами, работающими на растяжение, и облегченный стальной обод (рис. 18)	Большое сопротивление сил трения в осях колес, которое ограничивает движение по инерции	Уменьшение сил трения между осью и втулкой	Снижение массы велосипеда
У велосипеда поколения S_8 (1876 г.) колеса имели шарикоподшипники (рис. 18)	Предельно максимальный диаметр переднего колеса: ограничивал дальнейшее возрастание скорости езды был опасен при резком торможении, когда велосипед легко опрокидывался	Уменьшение диаметра переднего колеса	Увеличение длины пробега по инерции и средней скорости движения; повышение КПД использования мускульной энергии
В велосипеде поколения S_9 (1882 г.) педали имели самостоятельную ось вращения в нижней части рамы и цепную передачу, вращающую заднее колесо с пе-	Большая масса крепованной рамы, детали которой работают на изгиб	Уменьшение массы рамы	Увеличение скорости движения и безопасности движения при резком торможении; снижение массы велосипеда

редаточным числом, большим 1, диаметр переднего колеса был уменьшен <i>рис 19</i>				
Велосипед поколения S_{10} (1885 г.) имел трубчатую раму в виде ромбовидной формы из двух треугольников (см. рис. 2)	Если на ободе тонкий слой резины, то на неровностях сильно трясет, а при сильных толчках и ударах деформируется обод. Если на ободе толстый слой мягкой резины, то колеса имеют чрезмерно большую массу	Снижение ударных нагрузок на жестких неровных дорогах и массы амортизирующего материала на ободе колеса	Снижение массы велосипеда	
Велосипед поколения S_{11} (1888 г.) имел пневматические шины на ободе (см. рис. 2)	Необходимость вращения педалей при езде под гору или по инерции	Приобретение свойства педалей стоять на месте при движении велосипеда	Снижение ударных нагрузок, массы амортизирующего материала и массы обода	
Велосипед поколения S_{12} (1895 г.) имел механизм свободного хода (см. рис. 2)	При постоянном передаточном отношении частоты вращения педалей и колеса сила ног используется неоптимально при движении под гору и на гору	Приобретение свойства изменять отношения частот вращения педалей и колеса	Повышение удобства езды при движении по инерции или под гору и увеличение длины пробега по инерции	

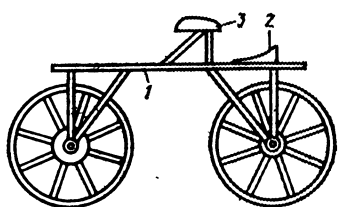


Рис. 12. Поколение S_0 (неуправляемый самокат, 1813 г.)

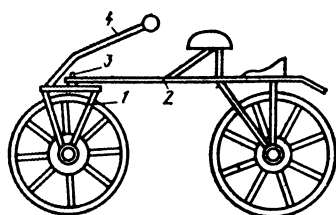


Рис. 13. Поколение S_1 (управляемый самокат, 1817 г.)

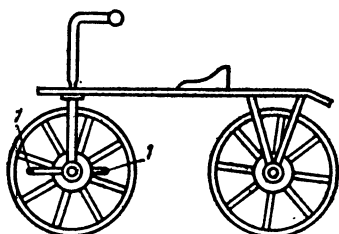


Рис. 14. Поколение S_2 (велосипед, 1840 г.)

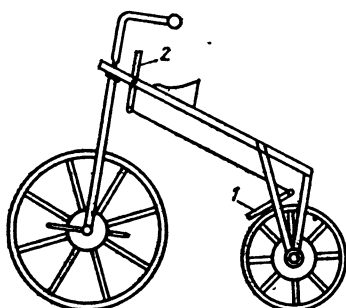


Рис. 15. Поколение S_4 (более скоростной велосипед с тормозом, 1846 г.)

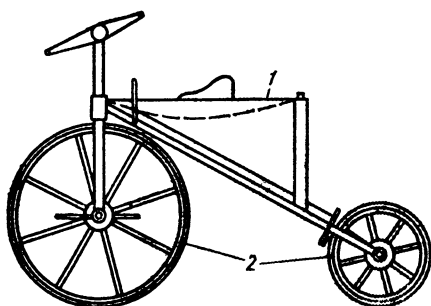


Рис. 16. Поколение S_5 (комфортный велосипед, 1863 г.)

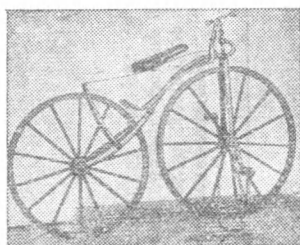


Рис. 17. Поколение S_6 (велосипед из металла, 1870 г.)

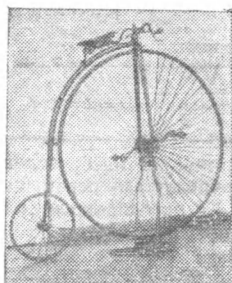


Рис. 18. Поколения S_7 , S_8 (легкий скоростной велосипед, 1873 г.)

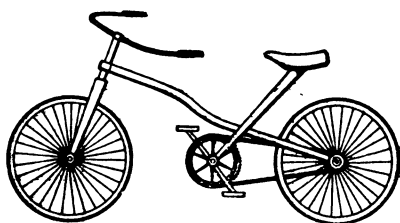


Рис. 19. Поколение S_9 (велосипед с цепной передачей на заднее колесо, 1882 г.)

ния велосипеда было выдано несколько десятков тысяч патентов, а в некоторых европейских странах почти половина заявок была связана с велосипедом. Именно в это время возникло популярное выражение «изобретает(ть) велосипед».

Неоценима роль велосипеда в развитии техники. Именно благодаря ему были впервые созданы следующие очень важные детали и конструкции: шарикоподшипник, пневматическая шина, колесо со спицами, работающими на растяжение и др.

С методологической точки зрения велосипед как объект исследования ценен тем, что вся его конструктивная эволюция проходила, можно сказать, в строго стационарных условиях, поскольку требования к нему, обусловленные параметрами человека и дороги, оставались неизменными. Кроме того, он является самостоятельной автономной машиной и относится к тем редким и достаточно сложным ТО, которые каждому понятны и почти каждому интересны в силу личного опыта взаимодействия с этой машиной.

Прежде чем начинать детальное изучение конструктивной эволюции велосипеда определим его функцию и физическую операцию.

Функция велосипеда: повышает скорость движения человека по дороге при использовании только его мускульной энергии.

Физическая операция велосипеда: вход — мускульная энергия человека; выход — перемещение человека по дороге; операция — преобразование.

В табл. 16 и на рис. 12—19 дано описание и показана конструктивная эволюция велосипеда от пионерного изобретения S_0 (1813 г.) до поколения S_{12} (1895 г.), когда сложилась классическая структура велосипеда, используемая до сих пор.

В табл. 17 и 18 приведены результаты анализа функций велосипеда и его заднего колеса. На рис. 20 и 21 показаны конструктивные ФС велосипеда для поколений S_0 — S_8 ; конструктивная ФС поколений S_9 — S_{12} отличается от конструкций, показанных на рис. 21, только тем, что ребро Φ_8 заканчивается в вершине E_2 . На рис. 22, 23 показаны конструктивная ФС заднего колеса для поколений S_0 — S_{12} . Поскольку на рис. 20—23 совмещаются изображения нескольких ФС, то при их построении целесообразно различия между ФС показывать разными цветами.

Анализ функций велосипеда

Поко- ление	Обозначение и наименование элементов	Описание функций элементов Φ_i
S_0	E_1 — переднее колесо E_2 — заднее колесо E_3 — рама E_4 — седло E_5 — упор	Φ_1 — воспринимает массу человека (V_1) и обеспечивает его перемещение по дороге (V_2) с преодолением только трения качения $\Phi_2 = \Phi_1$ Φ_3' — фиксирует положение колес (E_1, E_2) в одной плоскости и на определенном расстоянии друг от друга Φ_3'' — воспринимает вертикальную и горизонтальную нагрузку человека (V_1) и передает ее на оси колес (E_1, E_2) Φ_4' — воспринимает массу человека (V_1) и передает на раму (E_3) Φ_4'' — выравнивает напряжения, возникающие на контакте между седлом (E_4) и телом человека (V_1) Φ_5 — воспринимает горизонтальную нагрузку от рук и груди человека (V_1) и передает на раму (E_3)
S_1	E_1 — E_4 — описание по S_0 E_6 — передняя вилка E_7 — руль	Φ_6' — фиксирует переднее колесо (E_1) и обеспечивает вращение вокруг оси Φ_6'' — обеспечивает поворот переднего колеса (E_1) вокруг вертикальной оси Φ_7 — поворачивает переднюю вилку (E_6)
S_2, S_3	E_3, E_4, E_6, E_7 — описание по S_1 E_1 — переднее колесо E_2 — заднее колесо E_8 — педали	Φ_1' — воспринимает массу человека (V_1) и обеспечивает его перемещение с преодолением только трения качения Φ_1'' — образует горизонтальную силу, действующую через ось на вилку (E_6) $\Phi_2 = \Phi_1'$ Φ_8 — обеспечивает вращение переднего колеса (E_1) с помощью ног человека (V_1)

Поко- ление	Обозначение и наименование элементов	Описание функций элементов Φ_i
S_4	E_1-E_4 , E_6-E_8 — описывает- ся по S_2 , S_3 E_9 — тормоз	— Φ_9 — снижает скорость движения велосипеда
S_5	E_1-E_4 , E_6-E_9 — описывает- ся по S_4 E_{10} — аморти- зирующая пла- стина или пружина под седлом	— Φ'_{10} — снижает ударную нагрузку, действующую на человека (V_1) Φ''_{10} — передает усилия от седла (E_4) на раму (E_3)
S_6 , S_7 , S_8 , S_9 , S_{10} , S_{11} , S_{12}	E_1-E_4 , E_6-E_7 , E_9 , E_{10} — описывается по S_5 E_8 — педали	— — Φ_8 — обеспечивают вращение заднего колеса (E_2) с помощью ног человека (V_1)

Т а б л и ц а 18

Анализ функций заднего колеса E_2

Поко- ление	Обозначение и наиме- нование элементов E_2	Описание функций элементов Φ_2
S_0-S_4	E_{2-1} — ось E_{2-2} — втулка E_{2-3} — ступица деревянная E_{2-4} — спицы	Φ'_{2-1} — фиксирует колесо (E_2) и допускает его вращение; Φ''_{2-1} — передает нагрузку от рамы (E_3) на втулку (E_{2-2}) и обратно $\Phi'_{2-2} = \Phi'_{2-1}$ Φ''_{2-2} — передает нагрузку от оси (E_{2-1}) на ступицу (E_{2-3}) и обратно Φ'_{2-3} — передает нагрузку от втулки (E_{2-2}) на спицы (E_{2-4}) и обратно; Φ''_{2-3} — закрепляет концы спиц (E_{2-4}) Φ_{2-4} — передают нагрузку от ступицы (E_{2-3}) на обод (E_{2-5}) и обратно

Поко- ление	Обозначение и наиме- нование элементов E_2	Описание функций элементов Φ_2
$S_0 - S_4$	E_{2-5} — обод (де- ревянный) E_{2-6} — обрuch ме- таллический	Φ'_{2-5} — образует круглую фор- му колеса (E_2) Φ''_{2-5} — передает нагрузку от спиц (E_{2-4}) на дорогу (V_2) и обрат- но Φ'''_{2-5} — крепит концы спиц (E_{2-4}) Φ_{2-5} — стягивает обод (E_{2-5})
$S_5,$ S_6	$E_{2-1} - E_{2-6}$ по $S_0 - S_4$ E_{2-7} — резиновая шина	Φ'_{2-7} — снижает ударные на- грузки, действующие на человека (V_1) и велосипед Φ''_{2-7} — снижает шум при езде по неровной жесткой дороге (V_2)
S_7	E_{2-1}, E_{2-7} по $S_0 - S_6$ E_{2-2} — втулка— ступица E_{2-4} — спицы E_{2-5} — обод (ме- таллический)	$\Phi'_{2-2} = \Phi'_{2-1}$ Φ''_{2-2} — передает нагрузку от оси (E_{2-1}) на спицы (E_{2-4}) и обратно Φ'''_{2-2} — крепит концы спиц (E_{2-4}) Φ_{2-4} — передают растягиваю- щие усилия от втулки—ступицы (E_{2-2}) на обод (E_{2-5}) и обратно —
S_8	E_{2-1}, E_{2-2} E_{2-4} E_{2-5}, E_{2-7} — по S_7 E_{2-8} — шарико- подшипник	— — Φ'_{2-8} — снижает силу трения между осью (E_{2-1}) и втулкой (E_{2-2}) Φ''_{2-8} — передает нагрузку от оси (E_{2-1}) на втулку (E_{2-2}) и обрат- но
S_9, S_{10}	E_{2-1}, E_{2-2} E_{2-4} E_{2-5} E_{2-7}, E_{2-8} — по S_8 E_{2-9} — звездочка	— — — — Φ_{2-9} — обеспечивает передачу вращающего момента от педалей (E_8) на втулку (E_{2-2})

Поко- ление	Обозначение и наиме- нование элементов E_2	Описание функций элементов Φ_2
S_{11}, S_{12}	E_{2-1}, E_{2-2} E_{2-4} E_{2-5}, E_{2-8} — по S_9, S_{10} E_{2-7} — пневмати- ческая шина E_{2-10} — механизм свободного хода	<p>— — —</p> <p>$\Phi'_{2-7}, \Phi''_{2-7}$ — как для S_5, S_6</p> <p>Φ'''_{2-7} — равномерно распре- деляет по ободу (E_{2-5}) нагрузки, дей- ствующие на колесо (E_2) Φ_{2-10} — жестко соединяет звездочку (E_{2-9}) со втулкой (E_{2-2}) только при вращении в прямом на- правлении</p>

Т а б л и ц а 19

Описание физических операций

S_i	Элементы	Входы A_j	Выходы C_j
S_0	Упор	A_1 — горизон- тальная сила (воз- никает при оттал- кивании ногами от земли)	C_1 — горизонтальная сила (действует на раму)
	Седло	A_2 — вертикаль- ная сила (вес че- ловека) A_d — динамиче- ская (ударная) на- грузка, возникаю- щая на неровных дорогах	C_2 — вертикальная сила (действует на раму) C_d — динамическая нагрузка (действует на человека)
	Рама	$A_3 = C_1$ $A_4 = C_2$ $A_d = C_d$ (для седла)	C_3 — горизонталь- ная сила (действует на оси колес) C_4 — вертикальная сила (действует на оси колес) C_d — динамическая нагрузка (действует на седло)
	Колеса	$A_5 = C_3$ $A_6 = C_4$	C_5 — качение коле- са (по дороге) C_6 — передача веса (на дорогу)

S_i	Элементы	Входы A_j	Выходы C_j
S_0	Колеса	$A_d \approx C_d$ (для рамы)	C_d — динамическая нагрузка (действует на раму)
S_1	Руль	$A_1—A_6$ как в S_0 A_7 — момент, действующий на руль	$C_1—C_6$, как в S_0 C_7 — момент, действующий на переднее колесо
	Переднее колесо	$A_8 = C_7$ A_2, A_4, A_7, A_8 A_d как в S_1	C_8 — поворот переднего колеса на угол C_2, C_4, C_7, C_8, C_d как в S_1
S_2 S_3	Педали	A_9 — давление ноги	C_9 — вращающий момент (действует на переднее колесо)
	Переднее колесо	$A_{10} = C_9$	C'_{10} — качение колеса (по дороге) C''_{10} — горизонтальная сила (действует на ось переднего колеса)
	Заднее колесо	A''_6 — вертикальная сила (действует на ось колеса) $A''_5 = C_3$ A''_8 — вертикальная сила (действует на ось колеса)	C''_6 — передача силы (на дорогу) C''_5 — качение колеса (по дороге) C''_8 — передача силы (на дорогу)
	Рама	$A''_3 = C''_{10}$ — горизонтальная сила, переданная от оси переднего колеса	C_3 — горизонтальная сила (действует на ось заднего колеса)
S_4	По S_2, S_3 Тормоз	По S_2, S_3 A_{11} — сила (действует на тормозную колодку)	По S_2, S_3 C_{11} — вращающий момент (действует на заднее колесо в направлении, обратном вращению)
	Заднее колесо	$A_{12} = C_{11}$	C_{12} — отрицательное ускорение (действует на велосипед)
S_6	По S_4	По S_4	По S_4

S_i	Элементы	Входы A_j	Выходы C_j
S_{12}	Колеса с упругим ободом Амортизатор (платина, пружина и т. д.) под седлом	A_d^n, A_d^3 — динамическая (ударная) нагрузка (действует на обод колеса) $A_{д1}$ — динамическая (ударная) нагрузка (действует на амортизатор)	$C_{д1}^n, C_{д1}^3$ — динамическая нагрузка, действующая на оси колес ($C_{д1}^n < A_d^n, C_{д1}^3 < A_d^3$) $C_{д2}$ — динамическая нагрузка, действующая на седло и человека ($C_{д2} < A_{д1}$)

Т а б л и ц а 20

Описание физико-технических эффектов

Наименование физико-технического эффекта	Вход A	Объект B	Объект C
Передача статической силы через твердое тело	Сила A	Твердое тело	Сила C ($C = A$)
Передача статической силы через твердое тело на две опоры	Сила A	Твердое тело	Силы C_1, C_2 ($C_1 + C_2 = A$)
Эффект трения качения	Сила A , приложенная нормально к объекту	Твердые тела, движущиеся относительно друг друга	Сила трения ($C \ll A$)
Эффект рычага	Сила A	Твердое тело с осью вращения	Сила C
Закон трения Кулона	Сила A , приложенная нормально к объекту	Твердые тела, движущиеся относительно друг друга	Сила трения C ($C < A$)
Эффект колесного движителя	Момент вращения	Твердое тело в виде круга B_1 , прижатое к другому твердому телу B_2	Движение центра тяжести круга B_1 вдоль поверхности тела B_2
Второй закон Ньютона	Сила	Масса	Ускорение
Передача динамической силы через упругое тело	Сила A	Упругое тело	Сила C ($C < A$)

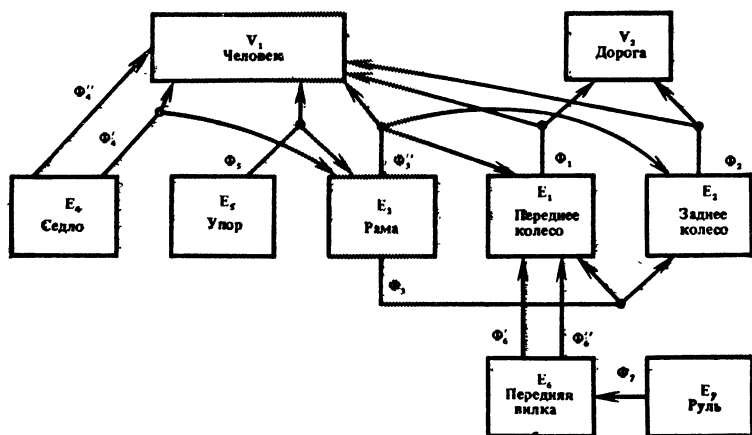


Рис. 20. Конструктивная ФС велосипеда поколения S_0 (без элементов E_6 , E_7) и S_1

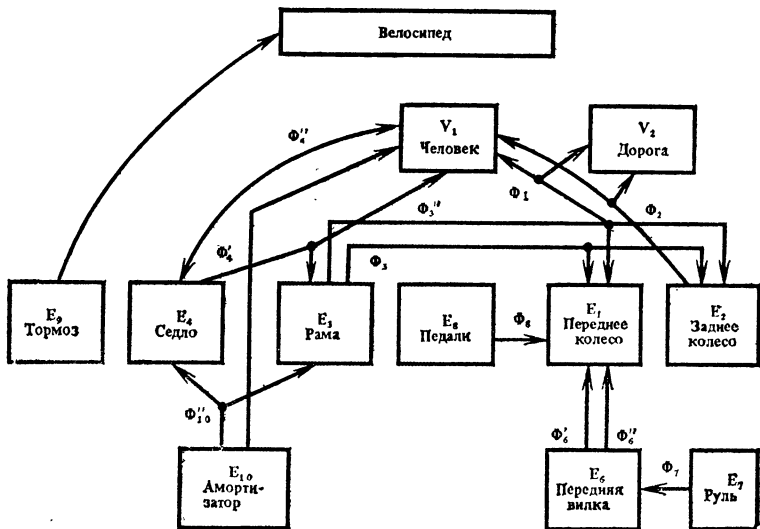


Рис. 21. Конструктивная ФС велосипеда поколений S_2 , S_3 (без элементов E_9 , E_{10}); S_4 (без элемента E_{10}); S_5 — S_8

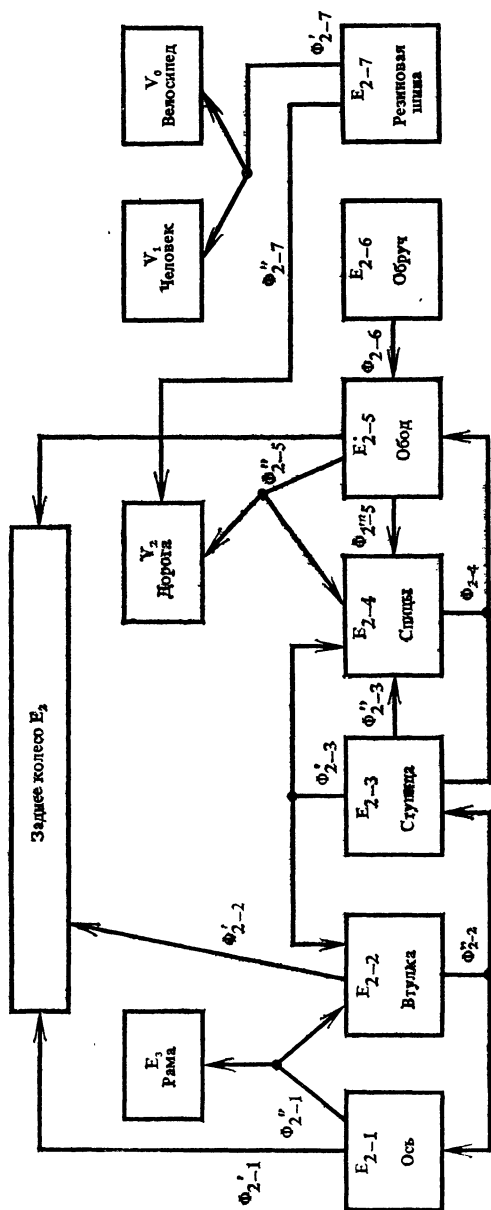


Рис. 22. Конструктивная ФС заднего колеса поколений S_0-S_4 (без вершин E_{2-6}, E_{2-7}); S_6, S_8

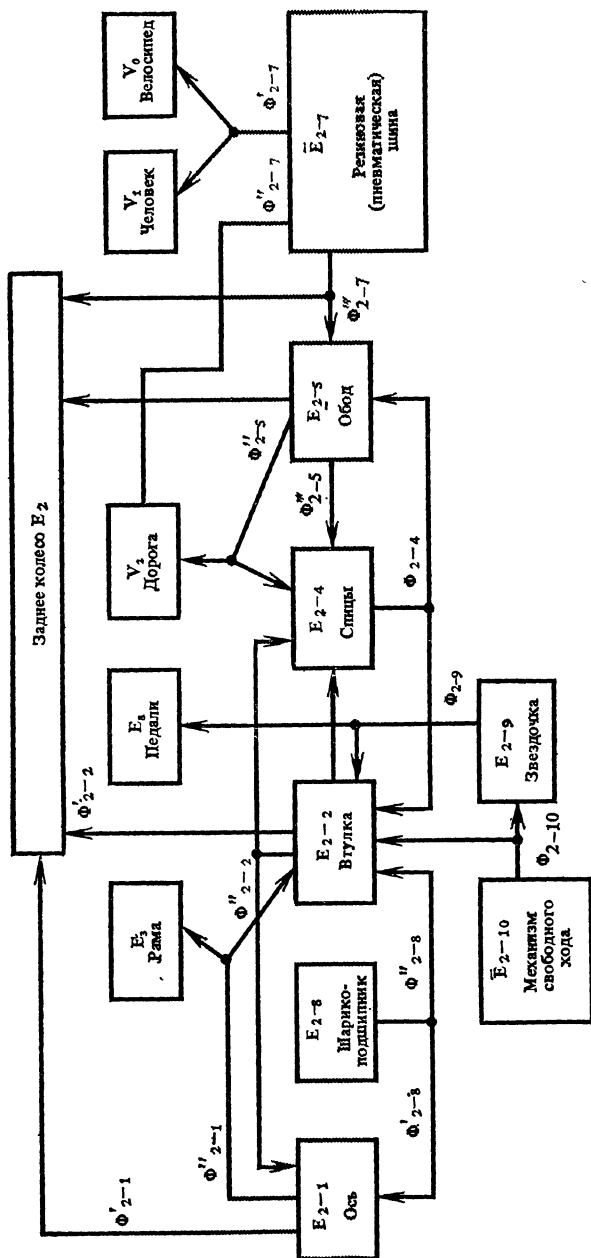


Рис. 23. Конструктивная ФС заднего колеса поколений S_7 (без вершин E_{2-8} , E_{2-9} , E_{2-10} , E_8); S_8 (без вершин E_{2-9} , E_{2-10} , E_8); S_9 , S_{10} (без вершины E_{2-10}); S_{11} (без вершины E_{2-10}); S_{12}

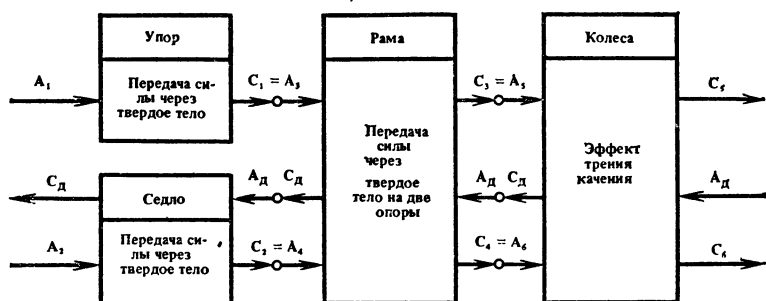


Рис. 24. Поточковая ФС и ФПД велосипеда для поколения S_0

В табл. 19 дано описание потоковых ФС для всех поколений велосипеда. На рис. 24—27 приведено совмещенное изображение потоковых ФС и ФПД велосипеда. При этом следует иметь в виду, что на рис. 27 для поколений S_9 — S_{12} педали должны быть соединены ребром с задним колесом. Краткое описание физико-технических эффектов, указанных на рис. 24—27, приведено в табл. 20.

Анализ табл. 16 позволяет выделить следующие критерии развития велосипеда:

K_1 — КПД использования мускульной энергии человека;

K_2 — средняя скорость движения;

K_3 — масса велосипеда.

Критерий K_1 , K_2 имеют монотонное возрастание, критерий K_3 — монотонное убывание. Представляется интересным собрать материалы и построить графики изменения критериев K_1 — K_3 с 1813 г. до настоящего времени.

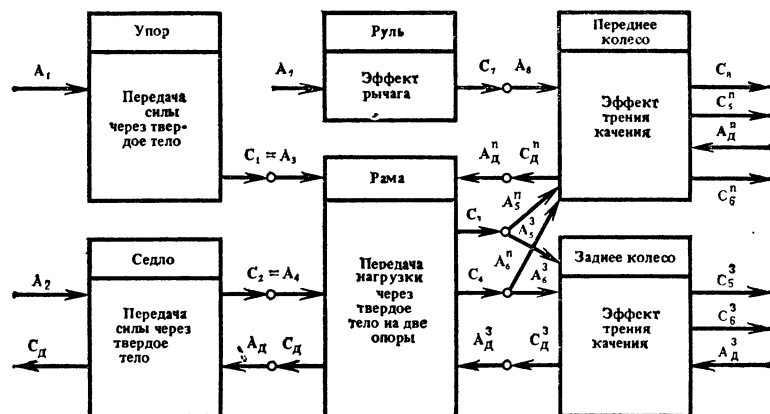


Рис. 25. Поточковая ФС и ФПД велосипеда для поколения S_1

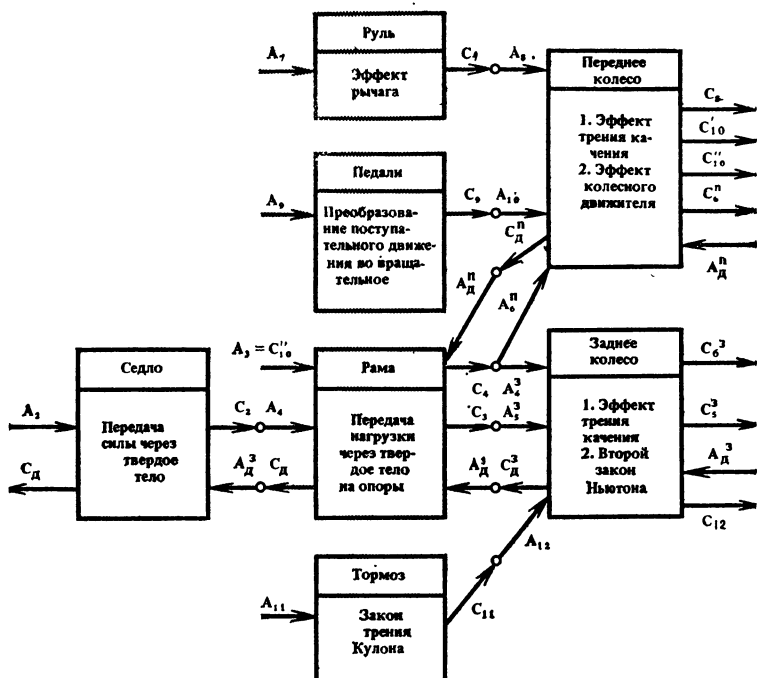


Рис. 26. Поточковая ФС и ФПД велосипеда для поколений S_2 , S_3 (без тормоза) и S_4

Из табл. 16 можно выделить следующие показатели качества:
 Q_1 — повышение долговечности и надежности безотказной работы;

Q_2 — снижение ударных нагрузок, действующих на велосипедиста при езде по неровной дороге;

Q_3 — безопасность езды;

Q_4 — увеличение длины пробега по инерции.

Правила (или эвристические приемы) получения улучшенных ТР для каждого перехода $S_i \rightarrow S_{i+1}$, а также частные закономерности изменения конструкции приведены в табл. 21, где приемы P_1 , P_2 в отличие от других, имеют следующие более развернутую формулировку и, кроме краткого правила, включают подвопросы, помогающие найти решение.

P_1 . Сделать по аналогии с другими ТО:

A — какие ТО могут быть взяты в качестве аналогов?

B — можно ли использовать идею решения в аналогичном ТО для устранения недостатка в S_i ?

B — какие требуются внести изменения в найденный аналог и как лучше это сделать?

P_2 . Использовать логику и здравый смысл:

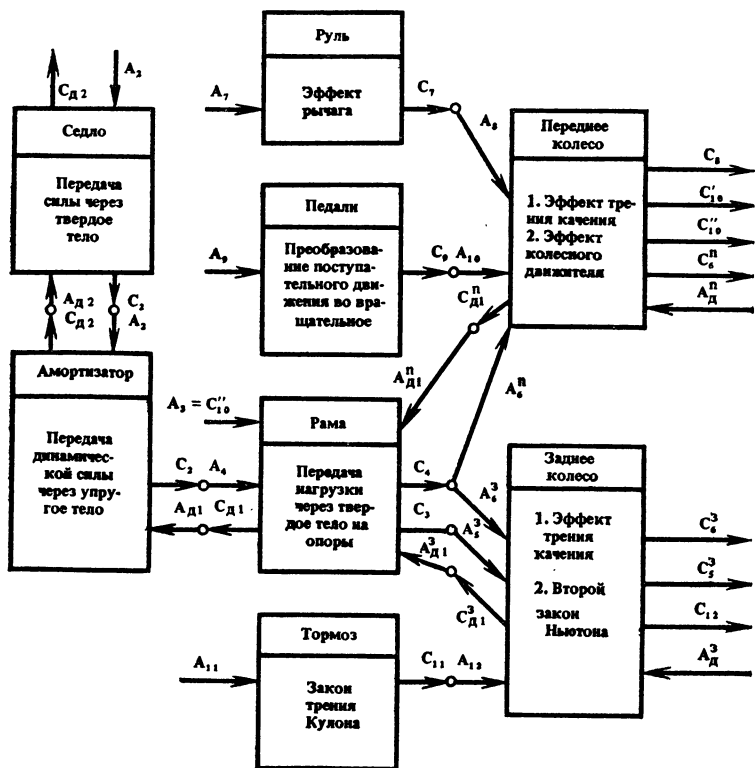


Рис. 27. Поточковая ФС и ФПД велосипеда для поколений S_6 — S_{12}

Γ — какие конструктивные элементы, параметры или факторы обуславливают рассматриваемый недостаток в S_i ?

D — что нужно сделать и как лучше сделать, чтобы недостаток был устранен или уменьшен?

E — что мешает устранению недостатка, что нужно и как лучше сделать, чтобы мешающий фактор был устранен?

Интересно отметить, что прием P_2 может быть применен при получении всех переходов от $S_0 \rightarrow S_1$ до $S_{11} \rightarrow S_{12}$, а прием P_1 использовался во всех случаях, кроме $S_6 \rightarrow S_7$, $S_7 \rightarrow S_8$ и $S_{10} \rightarrow S_{11}$, когда в технике не было аналогичного решения. В табл. 22 приведены примеры использования приемов P_1 и P_2 .

Закономерность 1 строения велосипеда. В процессе конструктивной эволюции велосипеда уже к 1863 г. сложилась стабильная обобщенная функциональная структура, не претерпевшая изменений до настоящего времени. Она включает следующий набор обобщенных функций, которые могут быть реализованы различными по конструкции узлами:

Φ_1^0 — обеспечение перемещения человека по дороге с преодолением только трения качения;

**Эвристические приемы и частные закономерности
изменения конструкции велосипеда**

Переходы $S_i \rightarrow S_{i+1}$	Получаемая конструкция	Правила улучшения ТР (эвристические приемы и частные закономерности изменения конструкции)
$S_0 \rightarrow S_1$	Самокат с поворачивающимся передним колесом	P_1, P_2 P_3 . Изменить характер соединения между элементами, повысив (понижив) степень свободы перемещения одних по отношению к другим. Например, заменить жесткое соединение шарнирным
$S_1 \rightarrow S_2$	Переднее колесо с педалями	P_4 . Добавить функцию управления при движении по криволинейным участкам P_5 . Передать мускульную энергию на колесо. Добавить соответствующую функцию P_6 . Перейти от возвратно-поступательного движения к вращательному P_7 . Использовать принцип ворота
$S_2 \rightarrow S_3$	Диаметр переднего колеса больше заднего	P_1, P_2 P_8 . Изменить значение параметра (параметров), от которого зависит показатель качества
$S_3 \rightarrow S_4$	Велосипед с тормозом	P_1, P_2 P_9 . Использовать силы трения P_{10} . Добавить функцию торможения
$S_4 \rightarrow S_5$	Амортизирующее сиденье и резиновые шины на ободе	P_1, P_2 P_{11} . Использовать силы упругости, упругие свойства материала или упругий материал P_{12} . Добавить функцию амортизации
$S_5 \rightarrow S_6$	Рама и вилки колес сделаны из стали	P_1, P_2 P_{13} . Использовать новые материалы с более подходящими свойствами
$S_6 \rightarrow S_7$	Колеса со спицами, работающими на растяжение	P_2 P_{14} . Заменить сжатие растяжением или наоборот
$S_7 \rightarrow S_8$	Колеса имеют шарикоподшипники	P_2 P_{15} . Заменить трение скольжения трением качения или наоборот

Переходы $S_i \rightarrow S_{i+1}$	Получаемая конструкция	Правила улучшения ТР (эвристические приемы и частные закономерности изменения конструкции)
$S_8 \rightarrow S_9$	Педали имеют самостоятельную ось вращения и цепную передачу на заднее колесо Рама имеет ромбовидную форму из двух треугольников	P_1, P_2 P_{16} . Использовать подходящий механизм передачи вращательного движения (измеряющий скорость, направление и т. д.)
$S_9 \rightarrow S_{10}$		P_1, P_2 P_{17} . Заменить изгиб сжатием или растяжением P_{18} . Сделать или устранить дырки или полости в элементах P_{19} . Применить решетчатую конструкцию или конструкцию в виде фермы
$S_{10} \rightarrow S_{11}$	Колеса имеют пневматические шины	P_2, P_{11} P_{20} . Использовать гибкие пневмо- и гидроконструкции P_{21} . Использовать упругость газа и свойство мгновенного выравнивания давления в газе при действии внешней силы
$S_{11} \rightarrow S_{12}$	Заднее колесо имеет механизм свободного хода	P_1, P_2 P_{22} . Использовать храповик или муфту для передачи вращения только в одну сторону

Φ_2^0 — передача мускульной энергии движителю;

Φ_3^0 — изменение направления движения;

Φ_4^0 — сообщение отрицательного ускорения;

Φ_5^0 — снижение и гашение ударной нагрузки, действующей на велосипедиста;

Φ_6^0 — снижение и выравнивание напряжений, возникающих на контакте с телом велосипедиста;

Φ_7^0 — фиксация положения конструктивных узлов, реализующих функции $\Phi_1^0 - \Phi_6^0$.

Закономерность 2 строения велосипеда. В процессе конструктивной эволюции велосипеда уже к 1863 г. сформировалась стабильная физическая структура (см. рис. 27), основывающаяся на использовании физико-технических эффектов, указанных в табл. 20.

Закономерности развития. В конструктивной эволюции велосипеда действуют следующие устойчивые закономерности, которые имели место в 1813 г. до настоящего времени и, по-видимому, будут действовать и дальше.

1. Монотонное уменьшение массы.

2. Монотонное увеличение КПД использования мускульной энергии.

Примеры использования приемов P_1 и P_2

Переход $S_i \rightarrow S_{i+1}$	Преобразование по приему P_1 (сделать по аналогии с другим ТО)	Преобразование по приему P_2 (использовать логику и здравый смысл)
$S_0 \rightarrow S_1$	<p>A — в качестве аналогов берем колесные транспортные средства, которые могут двигаться по кривым участкам дороги (карета, телега)</p> <p>B — эту идею использовать можно</p> <p>B — вилка переднего колеса должна вращаться вокруг вертикальной оси, т. е. шарнирно крепиться к раме; у вилки должна быть удобная ручка для ее поворота</p>	<p>Γ — элементом, обусловливающим недостаток (движение только по прямой), является колесо</p> <p>D — нужно сделать возможным поворот колеса вокруг вертикальной оси</p> <p>E — устранению недостатка мешает вилка, поэтому нужно сделать поворачивающейся вилку; удобнее ездить при поворачивающейся передней вилке</p>
$S_1 \rightarrow S_2$	<p>A — в качестве аналогов могут быть взяты колесные средства, приводимые в движение способом, отличным от отталкивания от земли (паровоз)</p> <p>B — эту идею использовать можно, если энергию ног или рук удастся непосредственно передавать колесу</p> <p>B — предыдущие действия не дают решения, поэтому следует повторить анализ</p> <p>A' — в качестве аналогов возьмем устройства, в которых ногами или руками вращают вертикальное колесо (ворот, точило, прялка и др.)</p> <p>B' — эту идею можно использовать, если рукоятками, приделанными ко втулке колеса, вращать колесо</p> <p>B' — вращать рукоятки можно ногами на переднем колесе</p>	<p>Γ — элементами, обусловливающими недостаток являются колеса, поскольку только они связаны с землей</p> <p>D — силу (энергию) ног нужно непосредственно передать колесам, т. е. обеспечить их принудительное вращение; из всех возможных вариантов наиболее простой и удобный — две рукоятки с разворотом на 180°, прикрепленные к оси колеса, которая должна быть жестко соединена со ступицей</p>

Переход $S_i \rightarrow S_{i+1}$	Преобразование по приему P_1 (сделать по аналогии с другим ТО)	Преобразование по приему P_2 (использовать логику и здравый смысл)
$S_2 \rightarrow S_3$	<p>A — в качестве аналогов возьмем устройства, в которых с помощью мускульной энергии вращают колесо (ворот)</p> <p>B — можно по аналогии с увеличением диаметра колеса ворота увеличить диаметр переднего колеса</p>	<p>Γ — элементом, обуславливающим недостаток, является переднее колесо, так как от его диаметра зависят отдача энергии от ног и скорость движения.</p> <p>D — увеличить диаметр переднего колеса</p>

3. Моногонное увеличение средней скорости движения.

4. Повышение комфортабельности езды.

Вся история развития велосипеда подтверждает гипотезу о законе прогрессивной эволюции техники (см. п. 2 гл. 5).

В заключение заметим, что в настоящем параграфе дан только методический пример, кратко иллюстрирующий изучение и анализ конструктивной эволюции конкретного ТО. Поэтому этот параграф не следует рассматривать как образец полного и законченного исследования по конструктивной эволюции велосипеда.

ГЛАВА 5. ЗАКОНЫ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

...понятие *закона* есть одна из ступеней познания человеком *единства* и *связи*, взаимозависимости и цельности мирового процесса.

В. И. Ленин

Во все эпохи техника создавалась и использовалась людьми в соответствии с объективными законами природы и общества, в соответствии с ее собственными объективными законами ... Основные законы техники не сформулированы достаточно полно и в наш век ускоренного научно-технического прогресса.

Проф. Б. С. Украинцев

1. ЗАКОНЫ ТЕХНИКИ В ИНЖЕНЕРНОМ ТВОРЧЕСТВЕ

Как уже было сказано, наивысший уровень инженерного творчества заключается в выявлении и формулировании законов и закономерностей строения и развития техники и сознательном их использовании при поиске более эффективных и рациональных конструкторско-технологических решений.

Наука о законах техники только начинает формироваться. И первый этап, естественно, связан с формулированием и обоснованием гипотез о законах строения и развития техники. Сегодня нет пока достаточно обоснованных общепризнанных отдельных законов техники и нет еще даже в гипотезах полной замкнутой их системы. Создание такой системы, как и обоснование отдельных законов — одно из важнейших актуальных современных направлений фундаментальных исследований, относящихся к технoзнанию и общей теории проектирования. Это направление ждет своих энтузиастов-исследователей.

Однако, в отличие от недавнего времени сегодня уже имеются теоретические и методические разработки по законам и закономерностям техники, которые представляют большой интерес для практического использования в инженерном творчестве. В первую очередь здесь имеются в виду разработки, изложенные в книгах Ю. С. Мелещенко [8], А. Ф. Каменева [6], А. И. Половинкина [12].

Законы техники, а также более частные и локальные закономерности могут иметь многоплановое приложение в инженерном творчестве. Во-первых, на основе законов и закономерностей техники могут быть разработаны наиболее эффективные методология и методы инженерного творчества. Во-вторых, привязка законов и закономерностей к конкретному классу ТО позволяет определить наиболее правильные структурные свойства, облик и характеристики ТО в следующих поколениях.

Гипотезы о законах техники и их обоснование наиболее полно на инженерном уровне изложены в книге [12]. В настоящей главе остановимся на некоторых законах и закономерностях техники и их практическом использовании в инженерном творчестве.

2. ЗАКОН ПРОГРЕССИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ТЕХНИКИ

Формулировка гипотезы о законе. Действие закона прогрессивной эволюции в мире техники аналогично действию закона естественного отбора 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.

Гипотеза о законе прогрессивной эволюции техники имеет следующую формулировку.

В ТО 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), после чего развитие опять идет по циклу а). Циклы а) и б) повторяются до приближе-

ния к глобальному экстремуму по структуре для данного принципа действия. При этом значения критериев развития, как правило, изменяются в соответствии с функцией вида

$$K = L/(a + e^{be^{-\beta t}}); \quad (16)$$

в) после исчерпания возможностей циклов а) и б) происходит переход к более рациональному физическому принципу действия, 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 (16) приняты следующие обозначения [6]: L , a , b , β — коэффициенты, определяемые по статистическим данным; t — время. Вид функции (16), называемой S -функцией, показан на рис. 28.

Используемое в формулировке закона понятие «научно-технический уровень» имеет отношение к стране или региону и к определенному моменту времени. Оно 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 ТО указывает на то,

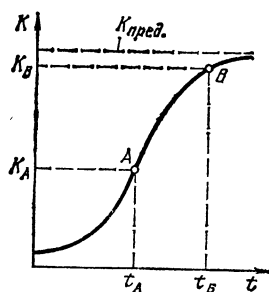


Рис. 28. Закономерность изменения значений критерия развития при неизменном принципе действия

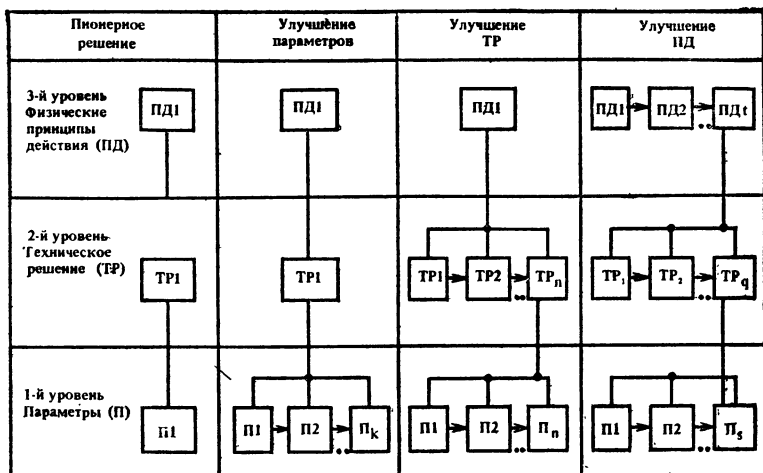


Рис. 29. Иерархическое исчерпание возможностей конструкторско-технологических решений

что, во-первых, изготовление и практическое использование ТО экономически возможно и выгодно, во-вторых, не ухудшает антропологических критериев развития техники (см. п. 5 гл. 3).

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 (рис. 29).

Сначала на 1-м уровне улучшаются параметры используемого ТР. Когда изменение параметров мало что дает, изменения осуществляют на 2-м уровне путем перехода к более эффективному ТР 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 *ПД* 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.

Методология системного иерархического выбора глобально оптимальных конструкторско-технологических решений. Самое важное приложение закона прогрессивной эволюции заключается в построении на его основе методологии системного иерархического выбора глобально оптимальных конструкторско-технологических решений. Эта методология основывается на сознательном использовании закона в управлении прогрессивной эволюции *ТО* в целях ее ускорения. При этом решается иерархическая последовательность задач поискового проектирования и конструирования, связанных с разработкой новых изделий или технологического оборудования (см. рис. 3).

На первом этапе для заданной функции (требований и условий) выбирается наиболее рациональная функциональная структура разрабатываемого прибора, машины или технологического комплекса; на втором этапе для выбранной структуры определяется наиболее эффективный физический принцип действия; на третьем этапе осуществляют поиск наиболее рационального технического решения для выбранного принципа действия; на четвертом этапе — моделирование принятого технического решения и оптимизация его параметров. Изложенные в гл. 8—14 методы предназначены для решения этих задач и позволяют реализовать методологию системного иерархического выбора глобально оптимальных конструкторско-технологических решений.

Методология системного иерархического выбора «запрещает» останавливаться на частных улучшенных решениях, как это часто делается на практике. Она ориентирована на изучение и использование всех возможных путей улучшения. Если при этом решение каждой задачи будет выполняться с достаточно полным информационным обеспечением и будет находиться глобально оптимальное решение, то можно иметь высокую гарантию, что разработанное изделие будет на уровне лучших мировых достижений.

Следует 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 техническому решению, или пока не будут исчерпаны возможности наилучшего ТО (в рамках определенного принципа действия), не может произойти переход к новому принципу действия». Закономерность иерархического исчерпания конструкции действует, как указано в формулировке закона, 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, 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 систем автоматизированного проектирования, включающих подсистемы поискового конструирования с выбором глобально оптимальных решений. При этом циклы а); а) — б); а) — б) — в) *будут происходить в основном в ЭВМ*, а автоматизированные системы научных исследований и гибкие автоматизированные производства позволяют без чрезмерных затрат проводить доводку и изготовление нового поколения ТО, значительно отличающегося от предыдущего. В этих случаях, можно сказать, закон *будет использоваться для ускорения развития техники.*

Частные закономерности изменения конструкторско-технологических решений. Закон прогрессивной эволюции включает действие частых закономерностей изменения конструкций, которые с довольно высокой вероятностью указывают возможные направления изменения технического решения для устранения обнаруженного дефекта или улучшения соответствующего критерия развития. Примеры таких закономерностей с указанием корреляционно связанных с ними критериев развития приведены в табл. 21 и в книге [12]. Кроме того, многие из эвристиче-

ских приемов, приведенных в прил. 2, представляют собой частные закономерности изменения конструкторско-технологических решений.

При разработке новых поколений ТО имеет смысл целенаправленно формулировать и использовать частные закономерности изменения конструкции. Для этого по методике, изложенной в гл. 4, выполняются ретроспективные изучения и анализ конструктивной эволюции рассматриваемого класса ТО. Целесообразно изучить также конструктивную эволюцию других классов ТО, имеющих близкие функции и опережающие темпы развития.

Такие исследования позволяют, во-первых, выделить наиболее актуальные и важные для следующего поколения критерии развития (показатели качества, потребительские свойства), под влиянием которых в основном произойдут изменения в конструкции или технологическом процессе, а во-вторых, определить частные закономерности изменения конструкции ТО, имеющие решающее влияние в последующей эволюции. Эти закономерности, корреляционно связанные с выделенными критериями развития, дают важную информацию о наиболее вероятном направлении и характере изменения ТО в следующем поколении.

Отметим, что частные закономерности изменения конструкции лежат в основе метода эвристических приемов (см. гл. 9). Поэтому при разработке объектно-ориентированных методов эвристических приемов в фонд таких приемов в первую очередь следует включать частные закономерности изменения конструкции, выделенные при проведении исследований по конструктивной эволюции интересующего класса ТО и аналогичных родственных классов.

Прогнозирование изменения значений критериев развития и другие исследования. В рамках закона прогрессивной эволюции действует очень важная закономерность изменения критериев развития на протяжении существования одного и того же физического принципа действия. Эту закономерность изменения главных показателей в соответствии с S -функцией (рис. 28) детально изучил А. Ф. Каменев, который дал методику прогнозирования значений критериев развития [6].

Прогнозирование с помощью S -функции позволяет установить, насколько недоиспользованы возможности применяемого принципа действия. Если эти возможности имеют значительные резервы (случай А), то на основе про-

гнозирования можно сформулировать реальное задание на улучшение интересующих главных показателей. Если же прогноз покажет, что возможности принципа действия практически исчерпаны (случай В), 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.

Особо хотелось бы указать на необходимость и целесообразность исследований, связанных с осмысливанием и привязкой гипотезы о законе прогрессивной эволюции к конкретному классу ТО, по которому ведется разработка новых поколений. Уточненная объектно ориентированная формулировка закона позволит конкретизировать и достаточно полно выделить критерии развития, главные дефекты, частные закономерности изменения конструкции и т. п.

Это тем более важно, что суммарное действие закона прогрессивной конструктивной эволюции даже за короткое обозримое время часто приводит к поразительным результатам. Так, например, только за 50 лет с 1910-х до 1950-х годов XX века удалось облегчить дизель—мотор в 250 раз при сохранении одной и той же мощности; расход металла на 1 л. с. мощности двигателя уменьшился в 80 раз; паросиловые установки на электростанциях облегчены в 25 раз и т. д. Исследования прогрессивной конструктивной эволюции отдельных классов ТО позволят не только объяснить такие удивительные результаты, а главное — извлечь в полной мере, обобщить и использовать в последующем ценный инженерный опыт.

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.

3. ЗАКОН СООТВЕТСТВИЯ МЕЖДУ ФУНКЦИЕЙ И СТРУКТУРОЙ

Формулировка гипотезы о законе. Закон соответствия между функцией и структурой на протяжении многих веков изучали и обсуждали на философском уровне. При этом отмечали и анализировали многочисленные факты удивительных соответствий между выполненными

функциями любого органа живого организма и его структурой (строением, конструкцией, конструктивными признаками). Такие же соответствия отмечались в деталях и узлах машин, сооружений и других ТО. Нами сделана попытка изложить рассматриваемый закон на инженерном количественном уровне.

Главная суть закона заключается в том, что в правильно спроектированном ТО каждый элемент от сложных узлов до простых деталей и каждый 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 главная 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.

Гипотеза о законе соответствия между функцией и структурой ТО имеет следующую формулировку.

Каждый элемент ТО или его конструктивный признак имеют хотя бы одну функцию по обеспечению реализации функции ТО, т. е. исключение элемента или признака приводит к ухудшению какого-либо показателя ТО или прекращению выполнения им своей функции. 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). Пояснение входящих в формулировку закона понятий дано в п. 3 гл. 1 и пп. 1, 2 гл. 2.

Выражение закона соответствия между функцией и структурой в количественной форме обеспечивает, во-первых, формализованное описание функций элементов через компоненты D , G , H , 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 сигналов, передаваемых между элементами.

Использование закона в анализе функций и построении функциональных структур ТО. На основе закона соответствия между функцией и структурой разработаны методики построения функциональных структур *конкретных* ТО (см. пп. 1 и 2 гл. 2). Эти методики используются в различных подходах и методах инженерного творчества.

Рассматриваемый закон имеет несколько практически важных следствий — закономерностей, отражающих обобщенные функциональные структуры широких классов ТО. Изложим эти закономерности.

Закономерность функционального строения обрабатывающих (технологических) машин.

ТО или соответствующие человеко-машинные системы, предназначенные для обработки материального предмета труда, состоят из четырех подсистем (элементов) S_1, S_2, S_3, S_4 (рис. 30), реализующих соответственно четыре фундаментальных функции:

Φ_1 — *технологическая функция* — обеспечивает превращение исходного материала (сырья) A_0 в конечный продукт A_K ;

Φ_2 — *энергетическая функция* — превращает вещество или извне полученную энергию W_0 в конечный вид энергии W_K , необходимый для реализации функции Φ_1 ;

Φ_3 — *функция управления* — осуществляет управляющие воздействия

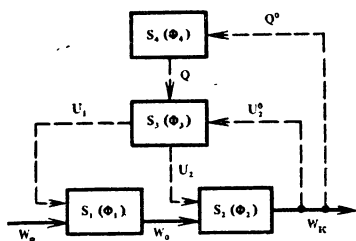
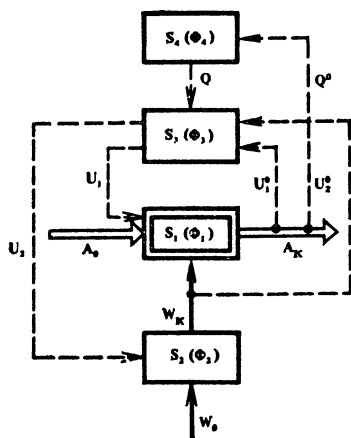


Рис. 30. Обобщенная функциональная структура обрабатывающих машин: \Rightarrow поток вещества; \longrightarrow поток энергии; \dashrightarrow поток управляющих сигналов и воздействий

Рис. 31. Обобщенная функциональная структура источников энергии и информационных приборов и систем: \longrightarrow — поток энергии; \dashrightarrow — поток управляющих сигналов и воздействий

U_1, U_2 на подсистемы S_1, S_2 в соответствии с заданной программой Q и полученной информацией U_1^0, U_2^0 о количестве и качестве выработанных конечного продукта A_k и конечной энергии W_k ;

Φ_4 — *функция планирования* — собирает (получает) информацию Q^0 о произведенном конечном продукте A_k и определяет потребные Q качественные и количественные характеристики конечного продукта.

Эта закономерность имеет явную связь с законом стадийного развития техники (см. п. 4 гл. 5).

Закономерность функционального строения преобразователей энергии и информации (источники энергии, информационные приборы и системы).

ТО или соответствующие человеко-машинные системы, предназначенные для получения и обработки энергии (информации), состоят из четырех подсистем (элементов) S_1, S_2, S_3, S_4 (рис. 31), реализующих соответственно четыре функции:

Φ_1 — *функция получения первичной энергии* (информации) — превращает вещество или извне полученную энергию (сигналы, информацию) W_v в исходный (первичный) вид энергии (информации) W_0 , удобный для дальнейшей обработки и преобразования;

Φ_2 — *функция преобразования* — превращает исходный вид энергии (информации) W_0 в конечный вид W_k , необходимый для использования;

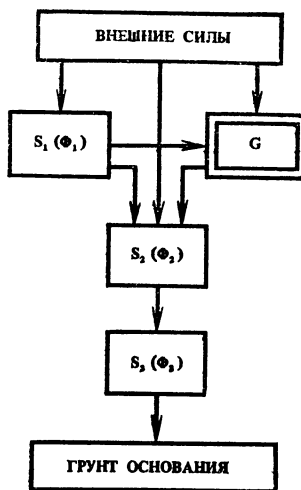
Φ_3 — *функция управления* — осуществляет управляющие воздействия U_1, U_2 на подсистемы S_1, S_2 в соответствии с заданной программой Q и получаемой информацией U_2^0 о количестве и качестве полученного вида энергии (информации) W_k ;

Φ_4 — *функция планирования* — собирает (получает) информацию Q^0 о полученной конечной энергии (информации) W_k и определяет потребные Q качественные и количественные характеристики конечной энергии (информации) W_k .

В некоторых источниках энергии подсистемы S_1, S_2 могут совмещаться. Если источник энергии является подсистемой в обрабатывающей машине, то функцию планирования в нем, а также частично или полностью функцию управления выполняют соответствующие подсистемы обрабатывающей машины.

Если информационный прибор (система) является подсистемой в обрабатывающей машине или источнике энер-

Рис. 32. Обобщенная функциональная структура сооружений



гии, то функцию планирования в нем, а также частично или полностью функцию управления обычно выполняют подсистемы планирования и управления обрабатывающей машины или источника энергии.

Рассмотрим обобщенную функциональную структуру сооружений, к которым относятся жилые дома, театры, промышленные здания, мосты, тепловоды, туннели, плотины, набережные шлюзы, телебашни, водонапорные башни, опоры ЛЭП, трубопроводы, железные дороги, автодороги и т. д.

Закономерность функционального строения сооружений.

ТО, предназначенные для ограждения каких-либо функционально обусловленных объектов G от метеорологических воздействий и (или) поддержания их в определенном положении, состоят из трех подсистем S_1 , S_2 , S_3 (рис. 32), реализующих соответственно три функции:

Φ_1 — функция ограждения — обеспечивает защиту функционально обусловленных объектов G от метеорологических воздействий (ветра, осадков, резкой смены температуры, влажности, солнечной радиации и т. п.);

Φ_2 — функция передачи усилий — обеспечивает восприятие нагрузок от функционально обусловленных объектов G , находящихся внутри сооружения (или поддерживаемых в определенном положении), действия внешних сил (ветра, осадков, давления воды, сейсмических ускорений и т. д.), силы тяжести подсистем S_1 , S_2 и передачу всех этих усилий на подсистему S_3 ;

Φ_3 — функция восприятия усилий — обеспечивает передачу всех усилий от сооружения на грунт основания и устойчивое положение сооружения.

Функционально обусловленными объектами G могут быть люди, ТО, животные, растения или вещества, для которых возводится сооружение, а также вспомогательное

Фрагмент базы данных по функциональным элементам

Наименование класса ФЭ	Вид ТО, в котором могут присутствовать ФЭ	Описание функции ФЭ
Несущие элементы	Любой многоэлементный ТО, для которого является функционально необходимым взаимное положение элементов	Определяют (задают) форму ТО и взаимное расположение его элементов в пространстве
Двигатели	ТО в целом или его элемент, выполняющие механическое движение (часто по определенному циклу)	Преобразуют исходный вид энергии в механическую энергию движения
Элементы передачи	ТО с рабочим органом, выполняющим движение по определенному циклу	Осуществляют передачу на расстояние движения или статических сил и моментов с одновременным преобразованием скоростей, моментов, сил и их направлений, включая замену видов, законов движения и дифференциацию скоростей, моментов и сил
Элементы управления	ТО, в котором функционирование связано с обусловленными или заданными изменениями каких-либо дискретных или непрерывных параметров	Собирает информацию, вырабатывает управляющее воздействие и передает его исполнительным органам
Гасители скоростей и ускорений	ТО, характеризующееся опасными или неблагоприятными скоростями или ускорениями	Уменьшают скорость движения или ускорения ТО (элемента ТО)
Элементы формирования объектов и потоков	ТО с неподвижными или подвижными объемами жидких, газообразных, сыпучих веществ или их смесей	Хранят или транспортируют жидкость, газ, сыпучую среду или их смесь
Двигатели	ТО, обеспечивающее движение объекта или предмета труда	Преобразуют работу двигателя или другого источника энергии в работу по преодолению сопротивления движению ТО или предмета труда

Форма расширенного описания базы данных по ФЭ

Наименование класса ФЭ	Примеры ФЭ	Условия присутствия ФЭ и ТО	Описание функции ФЭ	Наименования других ФЭ, которые сопутствуют данному ФЭ	Обязательные каналы связи (поток) между данными ФЭ и другими ФЭ или окружающей средой
1	2	3	4	5	6

функционально необходимое оборудование, обеспечивающее нормальную эксплуатацию сооружения.

В сооружение не входят системы отопления и охлаждения, которые относятся к источникам энергии, система вентиляции и очистки воздуха, которая относится к обрабатывающим машинам, и т. д. Так же, как и в других классах ТО, в некоторых сооружениях может отсутствовать какая-либо из подсистем S_1 , S_2 , S_3 или одна подсистема может выполнять две функции из трех Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 .

Следует отметить, что между представленными на рис. 30—32 обобщенными функциональными структурами (ФС) широких классов ТО и ФС конкретных отдельных ТО могут быть построены промежуточные ФС, обладающие по сравнению с указанными обобщенными ФС меньшей общностью и большей конкретностью и детальностью. Например, для обрабатывающих машин могут быть построены обобщенно-конкретизированные ФС металлообрабатывающего оборудования или транспортных средств; для транспортных средств — ФС сухопутных или водных транспортных средств и т. д. Обобщенно-конкретизированные ФС, построенные на основе обобщенных ФС (рис. 30—32) и ФС конкретных ТО, представляют большой интерес при использовании методов морфологического анализа и синтеза конструкторско-технологических решений (см. гл. 10).

Анализ функций различных ТО позволяет накапливать и формировать базы данных по формализованным описаниям функций элементов ТО и функциональным структурам ТО. Особый интерес представляют базы данных для широко распространенных функциональных элементов (ФЭ), составленные по форме табл. 23. Еще боль-

ший смысл имеет создание базы данных по форме табл. 24. Все эти базы данных могут быть эффективно использованы в различных методах поискового проектирования и конструирования, при проведении функционально-стоимостного анализа ТО и технологий, построений информационно-поисковых систем для поддержки проектно-конструкторской деятельности.

Использование закона в методах поиска более рациональных и эффективных конструкторско-технологических решений. Два ТО, выполняющих одинаковые функции, как правило, имеют различную структуру (конструкцию) и соответственно различные конкретизированные функциональные структуры. Структура многих ТО и их элементов может быть выбрана такой, что они будут выполнять более одной функции. *Закономерность многозначного соответствия между функцией и структурой.*

Любая функция и соответственно функциональная структура могут иметь множество структур (конструкций), реализующих эту функцию. И, наоборот, у многих ТО 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 это многообразие представлено множеством функциональных структур. Эта очень важная закономерность лежит в основе многих методов и подходов поиска новых конструкторско-технологических решений на основе закона соответствия между функцией и структурой.

Широко распространенные методы морфологического анализа и синтеза имеют различные подходы при построении морфологических таблиц и матриц [5, 9, 14, 32, 36, 41, 47, 48, 54]. Наиболее правильным и эффективным, на наш взгляд, является построение морфологических таблиц на основе ФС. При этом может быть взята за основу ФС конкретного ТО — прототипа или обобщенная ФС (см. рис. 30—32). Однако первая ФС является слишком частной, а вторая — слишком обобщенной и не отражающей многих важных особенностей. Поэтому наиболее удачные новые решения могут быть получены на основе промежуточных обобщенно-конкретизированных ФС.

Наиболее высокий класс задач инженерного творчества связан с поиском новых, более рациональных ФС техно-

логических комплексов, отдельных машин и оборудования. В связи с этим рекомендуется на основе закона соответствия между функцией и структурой и его закономерностей проводить анализ ФС разрабатываемых машин или технологических комплексов в целях поиска более эффективных конструкторско-технологических решений. Этот анализ сводится к следующему.

1. Оценка функциональной ценности каждого элемента (узла или детали в машине, машины или станка в технологическом комплексе) с точки зрения его исключения и передачи его функции другому элементу.

2. Выделение в ФС комплекса функций в целях их реализации одним автономным техническим средством.

3. Оценка целесообразности изменения потоковой ФС и выбора более рациональной последовательности функциональных элементов [48, 59].

4. Оценка целесообразности разделения функций элементов, выполняющих две и более функции.

5. Проверка полноты ФС в соответствии с закономерностью функционального строения данного класса ТО (см. рис. 30—32). Оценка целесообразности введения новых функциональных элементов.

6. Выделение функций, выполняемых человеком, и оценка возможности и целесообразности их выполнения техническими средствами.

7. Оценка возможности использования ФС ТО, выполняющих близкие и аналогичные функции и имеющих опережающие темпы развития по сравнению с разрабатываемым классом ТО.

Эти же идеи могут быть использованы при разработке методов поиска более рациональных ФС интересующего класса ТО.

Закономерность минимизации компоновочных затрат может оказаться полезной при поиске улучшенных конструкторско-технологических решений.

У ТО, выполняющих определенную количественно описанную функцию, функциональные элементы, осуществляющие определенные преобразования потоков вещества, энергии или сигналов, располагаются в пространстве по отношению друг к другу так, что компоновочные затраты имеют минимальное значение, т. е.

$$Q = \left(\sum_{i,j=1}^n q_{i,j} + \sum_{k=1}^m C_k \right) \rightarrow \min. \quad (17)$$

В формуле (17) приняты следующие обозначения [22]:

q_{ij} , j — стоимость каналов передачи вещества, энергии или сигналов между элементами a_i и a_j , а также затраты, обусловленные обеспечением экранирования или изоляции между этими элементами при наличии несовместимости между ними (например, тепловой, магнитной, в виде агрессивных испарений и т. п.);

C_k — отдельные составляющие части компоновочных затрат, зависящие от расположения элементов в пространстве; к ним в первую очередь относятся:

C_1 — стоимость несущего элемента ТО (каркаса, корпуса, станины, фундаментной плиты и т. п.), обеспечивающего определенное взаимное расположение элементов;

C_2 — стоимость элементов прикрытия и защиты ТО в целом (корпуса, кожуха, оболочки, футляра и т. п.);

C_3 — затраты, зависящие от габаритных размеров ТО и возникающие в других ТО (цехе, складе, транспорте, ремонтной мастерской гараже и т. п.), в которые входит и с которым взаимодействует рассматриваемый ТО;

C_4 — затраты, связанные со сборкой, монтажом и отладкой ТО.

Следует отметить, что в сумму компоновочных затрат Q не входит стоимость основных функциональных элементов ТО.

На основе закономерности минимизации компоновочных затрат легко построить алгоритмы поиска оптимальных компоновочных решений интересующего класса ТО [22]. В связи с этим целесообразно выполнить исследование по привязке гипотезы о закономерности минимизации компоновочных затрат к конкретному классу ТО и уточнению (конкретизации) ее формулировки. При этом необходимо выделить все составляющие компоновочных затрат и показать, что для ТО, удовлетворяющего условию (17), любое изменение компоновки функциональных элементов приводит к возрастанию суммы компоновочных затрат.

Далее для каждой составляющей компоновочных затрат нужно выделить характерные конструктивные признаки, обеспечивающие их минимальное значение. Среди последних желательно выделить *устойчивые* (инвариантные ко времени) *свойства и конструктивные признаки* и ввести их в формулировку закона для рассматриваемого класса ТО. Таким образом, уточненная формулировка закономерности должна отличаться от обобщенной указанием класса ТО, набора функциональных элементов и устойчивых свойств и конструктивных признаков, обеспечивающих отношение (17).

4. ЗАКОН СТАДИЙНОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ

Этот закон отражает революционные изменения, происходящие в процессе развития как отдельных классов ТО, так и техники в целом. Революционные изменения связаны с передачей техническим средствам широко распространенных функций, выполняемых человеком. На существование и действие рассматриваемого закона указывали в своих трудах К. Маркс и В. И. Ленин. Обстоятельное рассмотрение факторов, относящихся к закону стадийного развития, и его обоснование на философском уровне изложены в книгах Ю. С. Мелешенко [8], С. С. Товмасына [52]. Закон стадийного развития в основном имеет отношение к задачам инженерного творчества, связанным с крупными пионерными изобретениями. Гипотеза о законе имеет на инженерном уровне следующую формулировку.

ТО с функцией обработки материального предмета труда имеют четыре стадии развития, связанные с последовательной реализацией с помощью технических средств четырех фундаментальных функций и последовательным исключением из технологического процесса соответствующих функций, выполняемых человеком:

на первой стадии ТО реализует только функцию обработки предмета труда (*технологическая функция*);

на второй стадии, наряду с технологической, ТО реализует еще функцию обеспечения энергией процесса обработки предмета труда (*энергетическая функция*);

на третьей стадии ТО реализует еще *функцию управления* процессом обработки предмета труда;

на четвертой стадии ТО реализует также и *функцию планирования* для себя объема и качества продукции, получаемой в результате обработки предмета труда; при этом человек полностью исключается из технологического процесса, кроме более высоких уровней планирования.

Переход к каждой очередной стадии происходит при *исчерпании природных возможностей человека* в улучшении показателей выполнения соответствующей фундаментальной функции в направлении дальнейшего повышения производительности труда и (или) качества производимой продукции, а также *при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности*.

Примеры стадийного развития ТО

Функция ТО	ТФ	ТФ + ЭФ	ТФ + ЭФ + ФУ	ТФ + ЭФ + ФУ + ФП
Размалывание зерна	Каменные жернова с ручным приводом	Каменные жернова с приводом от водяного колеса или паровой машины	Мельница с системой автоматического управления (САУ)	Мельница с САУ, получающая задания от автоматизированной системы планирования работ (АСПР)
Получение осесимметричных круглых деталей из твердых заготовок	Токарный станок с ручным или ножным приводом	Токарный станок с приводом от водяного колеса, паровой машины или электродвигателя	Токарный станок с числовым программным управлением (ЧПУ)	Станок с ЧПУ, получающий задания от АСПР
Транспортирование грузов по дороге	Тачка или тележка, приводимая в движение человеком	Телега, приводимая в движение тягловым животным, или автомобиль	Автомобиль с САУ	Автомобиль с САУ, получающий задания от бортовой АСПР, осуществляющей предварительный сбор информации

Примечание. ТФ — технологическая функция; ЭФ — энергетическая функция; ФУ — функция управления; ФП — функция планирования.

Стадии развития техники .

Выполняемая функция	Начало стадии			
	Каменный век (первая стадия)	XVIII век (вторая стадия)	Середина XX века (третья стадия)	Конец XX века (четвертая стадия)
Технологическая	ТО	ТО	ТО	ТО
Энергетическая	Человек	»	»	»
Управления	»	Человек	»	»
Планирования	»	»	Человек	»

В табл. 25 приведены примеры стадийного развития различных ТО, которые дополняют формулировку закона. Отметим, что рассматриваемый закон имеет определенную связь с закономерностью функционального строения обрабатывающих машин (см. п. 3 гл. 5).

Закон стадийного развития отражает также развитие мировой техники в целом, что наглядно показано в табл. 26, где обозначение «ТО» указывает на реализацию соответствующей фундаментальной функции техническими средствами.

Следует отметить, что предписываемая законом картина последовательного четырехстадийного развития ТО имеет место только для классов ТО, появившихся до XVIII века. Уже в XIX веке, когда техника в целом находилась на второй стадии развития, вновь появившиеся ТО *одновременно реализовали технологическую и энергетическую функции*, поскольку для этого существовал необходимый научно-технический уровень и это следовало из требований социально-экономической целесообразности. Аналогичную картину мы наблюдаем в настоящее время, когда вновь появляющиеся пионерные ТО для реализации новых потребностей часто реализуют сразу три фундаментальные функции (технологическую, энергетическую, управления). Поэтому знание закона позволяет ускорять стадийное развитие ТО.

В связи с этим практическое использование закона стадийного развития связано с проведением исследований по его привязке к интересующему классу ТО, а также к функционально близкому классу ТО, имеющих опережающие темпы развития. При выполнении этих исследований даются ответы на следующие вопросы:

На какой стадии развития находится рассматриваемый ТО или технологический комплекс?

Ограничивают ли возможности человека существенное улучшение основных показателей ТО?

Имеются ли необходимые научно-технические и технологические возможности для перехода на следующую стадию?

Имеется ли социально-экономическая целесообразность перехода на следующую стадию?

На основе такого анализа делается вывод о целесообразности перехода на следующую стадию и формируется соответствующее задание на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки.

5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРУГИХ ЗАКОНОВ ТЕХНИКИ

Для инженерного творчества представляют интерес и другие законы строения и развития техники, формулировка которых дана в прил. 4, а более подробное изложение и обоснование — в книге [12].

Так, если идет разработка однородного ряда ТО, имеющих качественно одинаковую функцию и отличающихся значениями главного функционального параметра, то для быстрого определения других важных конструктивных параметров может быть использована гипотеза о *законе корреляции параметров однородного ряда ТО*.

Представляют интерес анализ и оценка разрабатываемого ТО с точки зрения выполнения в нем *законов симметрии*. Если по условиям работы ТО должен иметь какой-либо тип симметрии, то он должен найти отражение в конструкции, поскольку его нарушение ухудшает техническое решение.

Исследования по привязке *закона гомологических рядов ТО* позволяет, во-первых, довольно точно прогнозировать появление новых технических решений по аналогии с прогнозированием открытия новых химических элементов с помощью периодической таблицы Д. И. Менделеева.

Кроме того, на основе закона гомологических рядов ТО может быть разработана эффективная модификация метода морфологического анализа и синтеза. Достоинства этой модификации состоят в значительном облегчении выбора в морфологической таблице новых улучшенных технических решений.

Создание пионерных изобретений часто бывает вызвано новыми потребностями, для реализации которых впервые создаются технические средства. В связи с этим к высшим уровням инженерного творчества относится изобретение или открытие новых реальных потребностей. Сегодня нет пока методов синтеза новых потребностей. При решении таких задач, а также при разработке соответствующих методов несомненный интерес представляет гипотеза о *закононе расширения множества потребностей-функций.*

ГЛАВА 6. О РОЛИ КРАСОТЫ В ИНЖЕНЕРНОМ ТВОРЧЕСТВЕ И ЭСТЕТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ

Красота — это наивысшая степень целесообразности, степень гармоничного соответствия и сочетания противоречивых элементов во всяком устройстве, во всякой вещи, во всяком организме.

И. Ефремов

1. ЧЕЛОВЕК И КРАСОТА ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА

Создатели новых изделий на уровне лучших мировых достижений, как правило, были людьми широкой культуры. Из всех искусств более всего или чаще всего способствуют инженерно-техническому творчеству изобразительные искусства и связанное с ними понятие красоты. Цель настоящей главы заключается в расширении культуры творчески мыслящих инженеров в изобразительных и других видах красоты. Однако сразу оговоримся, что эта глава ни в коей мере не претендует на восполнение пробелов в этом направлении, имеющих место в средней и высшей технических школах. В ней даются некоторые, на наш взгляд, наиболее важные для инженеров представления по эстетике, а главная ее задача заключается в том, чтобы *побудить* будущих инженеров к формированию и использованию своих идеалов красоты.

О роли красоты. Каждый из нас имеет свое интуитивное представление о том, что такое красота. Для сравнения и уточнения этого понятия приведем общепринятые его определения. Словарь русского языка определяет красоту как совокупность качеств, доставляющих наслаждение взору и слуху. В философском словаре отмечается, что красота, или прекрасное в жизни и искусстве, доставляет духовную радость и наслаждение и имеет огромную познавательную и воспитательную роль в обществе.

Существует три типа красоты: красота окружающей живой и неживой природы, красота изделий и других объектов, созданных человеком, и красота, создаваемая искусством. Из этих трех типов складывается красота окружающей среды. Стремление найти или создать красивую окружающую среду было одной из наиболее сильных изначальных потребностей человека.

В подтверждение сказанному приведем выдержку из книги Л. Любимова¹, в которой характеризуется Новгород XI—XIII веков: «Великое новгородское искусство возникло и расцвело на фундаменте всенародной тяги к прекрасному. Ведь раскопки, произведенные в Новгороде, показали наглядно, что художественное творчество пронизывало буквально весь быт этого древнего города. Новгородцы стремились обставить свою жизнь как можно красивее, затейливее. Деревянные жилища они украшали резьбой, покрывавшей ворота, дубовые колонны крыльца, карнизы крыши, наличники окон и причелины. И все, что требовалось для домашнего обихода, должно было радовать глаз. Можно сказать без преувеличения, что в древнем Новгороде не встречалось почти ни одного предмета полезного назначения, который не был бы отделан «хитрым узором».

В возникновении и становлении человечества решающую роль сыграли два самых важных движущих фактора: труд для удовлетворения физиологических потребностей и создания орудий труда (также для удовлетворения физиологических потребностей);

поиск и созидание красоты окружающей среды, что выражалось в украшении орудий труда и жилища, в исполнении и сочинении музыки и танцев и многом другом. В самые отдаленные времена в эстетической деятельности участвовал почти каждый член общества, это участие решающим образом повлияло на зарождение и развитие духовного начала в прачеловеке, обеспечивало его очеловечивание и окультуривание.

Если бы имел место только первый движущий фактор — труд, то в результате эволюции получилось бы только более умное животное, имеющее значительные преимущества перед другими животными в борьбе за существование. Однако можно смело утверждать, что это животное никогда бы не прогрессировало дальше раннего каменного века. Это можно утверждать потому, что именно второй движущий фактор обеспечил непрерывное развитие самого главного источника прогресса наших далеких предков — их творческих способностей. В период становления человека техническое творчество было чрезвычайно редкостью, а художественная и эстетическая деятельность

¹ Любимов Л. Искусство Древней Руси. М.: Просвещение, 1981. С. 217—219.

была постоянным давящим фактором в прогрессивном развитии творческих способностей.

Развитие способностей к восприятию и созданию красивой окружающей среды оказывало постоянное положительное влияние на возрастание производительных сил общества, т. е. второй движущий фактор — эстетическая культура — обеспечивал воспитание более умных и способных членов для трудовой деятельности и защиты интересов племени, с которым, как правило, не могли конкурировать племена, игнорирующие или мало обращающие внимания на эстетическое воспитание.

Убедительным подтверждением этому служит проведенный М. П. Щетининым эксперимент в обычной средней школе, где были сокращены примерно на 1/3 занятия по обязательным дисциплинам и добавлены в пределах имеющегося бюджета времени соответственно практические занятия по эстетическому воспитанию (музыкальные, хореографические, изобразительные). Такое сокращение обязательных занятий не только не принесло ущерба по основной подготовке, а явно повысило умение учащихся решать задачи, усваивать теоретический материал и т. д. Эстетическое воспитание дало прибавку даже в спортивных достижениях. Например, команда этой школы выигрывала по баскетболу у команды из специальной спортивной школы.

Таким образом, воспитание и развитие способностей к восприятию и созданию красивой окружающей среды имеет очень сильную *функциональную обусловленность* в прогрессивной эволюции человечества. В связи с этим П. И. Гаврилюк делает вывод ¹: «Эстетическая культура во все времена и эпохи возвеличивала человеческое начало в человеке, активно способствовала гуманизации человеческого общества, служила великому делу социального прогресса».

Внутреннее и внешнее восприятие красоты человеком. По способности чувствовать красоту людей можно условно разделить на две группы, которые имеют как бы два уровня ее восприятия. Одни имеют более глубокое *внутреннее* восприятие, оказывающее благотворное влияние на человека и изменяющее его поведение. Многие из этой группы при встрече с шедевром или истинно прекрас-

¹ Гаврилюк П. И. Эстетическая культура и социальный прогресс. Киев: Наукова думка, 1978. С. 3.

ным предметом испытывают особое состояние, когда человека охватывает волнение, иногда доходящее до потрясения, он бледнеет или краснеет, к горлу подступает комок, хочется плакать и т. д. Увиденная красота долго не забывается, часто появляется снова во сне Человек после такой встречи очищается, несколько изменяется, становится лучше в мыслях и поступках. После обостренной встречи с прекрасным у человека повышается активность и творческая способность. У многих есть природные задатки к внутреннему восприятию красоты, однако в *каждом человеке* она может быть воспитана или самовоспитана.

Другая группа характеризуется, можно сказать, более поверхностным восприятием красоты и культуры, которое мало или совсем не влияет на изменение их образа мыслей и поведение. *Поверхностное*, или *внешнее*, восприятие в отличие от внутреннего требует намного меньшего труда, душевного волнения и переживания. Такое восприятие в основном связано с механическим запоминанием объекта.

В соответствии с внутренним и внешним восприятием красоты существует *внутренняя эстетическая культура* и *внешняя эстетическая культура*. Последняя характеризуется только эрудицией, т. е. знанием произведений художников, композиторов, поэтов, артистов и т. д. Нам хорошо известно, как приобрести внешнюю эстетическую культуру. Для этого достаточно много читать, смотреть телевизор, кино, ходить в театры, на выставки и т. д. Но значительно сложнее в наше время воспитывать людей с внутренней эстетической культурой.

Возникает вопрос: стоит ли преодолевать эти трудности? Может быть, достаточную пользу дает внешняя эстетическая культура? Ответ на этот вопрос ясен каждому.

Следует заметить, что между ярко выраженными типами внутреннего и внешнего восприятия красоты существуют и промежуточные типы людей. Однако, по-видимому человек более склонен либо к внутреннему, либо к внешнему восприятию. При этом существует как бы качественный порог и скачок. Этот порог в итоге определяется красотой и этикой мыслей и поступков человека.

О способах эстетического воспитания и воздействия. Эстетическое воспитание, или эстетическое наполнение человека происходит в основном через три канала.

Первый канал — *участие человека в созидании красоты окружающей среды* — когда он выступает как творческая личность и сам рождает красоту в силу своих способностей и возможностей. Это может быть придумывание орнамента или рисунка вышивки, оконного наличника, и затем их практическое осуществление, создание скульптуры или картины, исполнение музыки или песни, создание гармоничного, со вкусом подобранного интерьера жилья или рабочей комнаты, придумывание фасона одежды, разбивание цветников и их выращивание и т. д.

Второй канал — *восприятие первой сигнальной системы*, т. е. своими чувствами, *оригиналов* наиболее выдающихся предметов и явлений красоты живой и неживой природы, произведений прикладного искусства, архитектурных сооружений, скульптур, картин, игры актеров в театре и т. д.

Третий канал — *восприятие первой сигнальной системы копий* наиболее выдающихся предметов и явлений красоты. Это могут быть репродукции и фотографии произведений изобразительного искусства или видов природы, кино, телепередача, грамзапись музыки и т. д.

Между этими способами, или каналами эстетического воспитания существуют интересные отношения. Во-первых, самое сильное воспитательное воздействие происходит при непосредственном создании человеком красоты окружающей среды, когда, можно сказать, каждый приобретает глубокую внутреннюю эстетическую культуру. Второе по силе воспитательное воздействие производят оригиналы. Однако, если человек сам не прошел через созидание красоты, то при воспитании на оригиналах и копиях резко сокращается доля людей, приобретающих развитую внутреннюю эстетическую культуру. Эта доля сокращается еще в большей мере при ограничении воспитания только на копиях.

Во-вторых, если человек сам созидает красоту, то он более четко и глубоко воспринимает оригиналы и копии, т. е. красота окружающей среды оказывает на него более сильное благоприятное эстетическое воздействие. Если он глубоко воспринимал оригиналы, то на него более сильное воздействие оказывают и копии. Таким образом, все каналы, или способы эстетического воспитания имеют определенные взаимосвязи, т. е. более сильные способы, кроме самостоятельного воздействия, ещё дополнительно усиливают действие более слабых способов.

Все это приводит к выводу, что эстетическое воспитание в первую очередь необходимо вести через созидание красоты. Каждый человек может и должен (если он Человек!) сам созидать красоту окружающей среды. Во вторую очередь необходимо расширять взаимодействие с оригиналами.

2. СИСТЕМА ЭСТЕТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ В ДОМАШИННЫЙ ПЕРИОД И ЕЕ НАРУШЕНИЕ В ПЕРИОД ИНТЕНСИВНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Во времена первобытного общества, эллинизма, средневековья и до XVIII века труд был у большинства индивидуальным, творческим и высокоэстетическим. Иначе говоря, до разделения труда вещи производились ремесленниками, которые изготовляли изделие от начала до конца. При этом всегда существовали эстетические требования к изделиям. Эти требования стремились в наибольшей мере учитывать, чтобы не только удовлетворить свою внутреннюю эстетическую потребность, а, главным образом, чтобы товар имел более высокий спрос на рынке. Это был сильный стимул, заставляющий и вынуждавший ремесленника понимать и чувствовать красоту и уметь ее созидать. Эстетическое творчество было тогда *необходимым и массовым*.

В мануфактуре впервые происходит разделение труда, которое, по меткому выражению К. Маркса, превращает ремесленника в частичного рабочего, выполняющего свою отдельную операцию и не отвечающего за изделие в целом, за его эстетическое качество. Наступившее разделение труда привело к *отторжению у производителей функций созидания красоты окружающей среды*. Общественно полезный труд утратил очень важную неотъемлемую черту — красоту, т. е. в сфере промышленного производства перестал действовать самый сильный фактор эстетического воспитания человека.

В домашнем производстве ремесленник часто исходил из учета потребностей и вкусов тех, для кого вещи предназначались. В свою очередь потребитель, прежде чем заказывать вещь, как правило, думал о ее декоративном оформлении и далее обсуждал свои замыслы с ремесленниками. Таким образом, каждый человек, обращаясь с заказом к ремесленнику, принимал участие в созидании

красоты будущей вещи. При этом происходило взаимное эстетическое обогащение потребителя и ремесленника, а каждая вещь обычно имела свою эстетическую индивидуальность.

Разделение труда, конвейеризация и поточность производства лишили не только производителей, но и потребителей возможности творить красоту. Как следствие этого, возникла и стала быстро расширяться стандартизация, которая при всем своем прогрессивном и положительном влиянии на развитие техники и экономики имела определенное переразвитие: чрезмерно расширена была сфера ее применения. И здесь уже не имеет решающего влияния участие в создании стандартного образца изделия высококвалифицированных дизайнеров и художников. Во-первых, красота не может быть стандартной, ей всегда была присуща *индивидуальность*. Во-вторых, стандартизация усилила отторжение производителей от созидания красоты.

Какие еще произошли изменения в системе эстетического воспитания в период интенсивной механизации и автоматизации производства?

В домашний период человек имел тесное взаимодействие с окружающей природой и повседневно испытывал ее благотворное эстетическое влияние. Следует отметить, что это было вынужденное взаимодействие. В те времена человек в значительной мере зависел от природы и поэтому вынужден был внимательно ее наблюдать и обобщать свои наблюдения.

Когда началась интенсивная механизация и автоматизация производства, массовые связи людей с природой начали быстро сокращаться и сходиться на нет. Процесс разрыва людей с природой был усилен еще их специализацией в производственном процессе.

Бурное развитие техники в XX веке произвело еще одно существенное нарушение в системе эстетического восприятия. В это время появилось кино, радио, телевидение и другие мощные средства тиражирования и передачи информации о красоте окружающей среды. Широкое распространение этих средств принесло два отрицательных последствия.

Во-первых, эти средства обеспечили массовый пассивный досуг людей, отчего по разным причинам резко сократилось их участие в самодеятельном искусстве, т. е. значительно уменьшился самый сильный фактор эстетиче-

ского воспитания — через созидание красоты. Во-вторых, взаимодействие людей с оригиналами предметов и явлений красоты в большей мере заменялось взаимодействием с их копиями, т. е. нарушился второй по силе фактор эстетического воздействия.

Более того, дальнейшее развитие техники привело ко *второй волне отторжения* людей от взаимодействия с оригиналами и от созидания красоты. Так, в последнее время вначале солисты, а затем вокальные ансамбли и оркестры, используя фонограмму, стали живое творческое вдохновенное исполнение заменять неестественной игрой манекенщиков и манекенщиц, делающих вид, что играют или поют. Даже в театре или на концерте слушатели уже не всегда встречаются с живым искусством и оригинальным исполнением. При этом вторая волна стала отторгать от созидания красоты даже профессионалов, работающих в искусстве. И это касается не только исполнения музыкальных и других произведений. В настоящее время уже имеются, например, программы для ЭВМ, которые сочиняют новые песенные мелодии не хуже современных популярных композиторов. Можно с уверенностью сказать, что некоторые композиторы воспользуются этим достижением, поскольку оно (как и для исполнителей) несет некоторые выгоды и в первую очередь — не нужно «работать в поте лица своего».

Заканчивая обзор нарушений в системе эстетического воспитания домашнего периода, не следует забывать о потере еще одной составляющей в красоте окружающей среды, которая также оказала заметное влияние на отрицательное изменение баланса эстетического воздействия в период происходящей научно-технической революции по сравнению с домашним периодом. Речь идет о массовом восприятии людьми атеистических взглядов и их отходе от религиозных обрядов.

Рассмотрим один из важных факторов религиозного воздействия на человека и привлечения его к религии. Известно, что почти все религии мира для достижения своих целей очень широко используют в культовых обрядах эстетическое воздействие с помощью красивой архитектуры, хорового пения, инструментальной музыки, изобразительного и пластического искусства. При этом независимо от религиозного содержания красота имела самостоятельное благотворное влияние на людей. Служители церкви очень удачно и интенсивно использовали фактор

красоты для усиления своего влияния при отсутствии органической связи между религиозным содержанием и эстетическим оформлением культовых обрядов. Об отсутствии такой связи говорит тот факт, что культовая архитектура, хоровое церковное пение, так называемая религиозная органная музыка, скульптура, иконы оказывают и поныне (как любое другое искусство) сильное эстетическое воздействие и на неверующих людей.

В домашний период подавляющее большинство людей постоянно посещали церкви и соборы и испытывали регулярное комплексное воздействие красоты оригиналов. Почти каждая семья тогда имела дома хотя бы одну икону — подлинную работу какого-либо художника. О художественной ценности, например, русских икон имеется много весьма высоких отзывов. Приведу только отзыв «человека со стороны» — выдающегося французского художника Анри Матисса, который в 1911 г. специально приезжал изучать русскую иконопись. «Это доподлинное народное искусство, — говорил он. — Здесь первоисточник художественных исканий ... Русские не подозревают, какими художественными богатствами они владеют. Всюду та же яркость и проявление большой силы чувства. Ваша учащаяся молодежь имеет здесь, у себя дома, несравненно лучшие образцы искусства ..., чем за границей. Французские художники должны ездить учиться в Россию. Италия в этой области дает меньше»¹.

Таковы в целом последствия или, правильнее сказать, такова плата за интенсивную механизацию и автоматизацию производства и за технический прогресс. Плата эта выражается в резком сокращении доли людей с развитой внутренней эстетической культурой и одновременно в повышении, можно сказать, во всех людях внешней эстетической культуры, которая без внутренней культуры дает мало пользы для общества.

3. О НЕОБХОДИМОСТИ ЭСТЕТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ

Перед высшей технической школой встает задача существенного поднятия уровня эстетической культуры инженера. Необходим пересмотр имеющихся и вве-

¹ Любимов Л. Искусство Древней Руси. М.: Просвещение, 1981. С. 159.

дение новых дисциплин с обязательной ориентацией на практические занятия по созиданию элементов красоты окружающей среды.

Есть мнение, что эстетические задачи, решение которых здесь предлагается передать инженерам, могут успешно решать дизайнеры и специалисты по художественному конструированию, причем для этого необходимо существенно расширить подготовку дизайнеров и художников-прикладников. Такая точка зрения не совсем правильная, так как, во-первых, при этом усилится отторжение инженеров от созидания красоты окружающей среды, во-вторых, это будет «капля в море» для решения обсуждаемой проблемы, в-третьих, как будет показано ниже, дизайнеры без хороших инженерных знаний, без инженерной поддержки не смогут создавать эстетически совершенные технические системы. По этому поводу и в связи с необходимостью повышения эстетической культуры всех инженеров четко выразил свое мнение известный специалист по дизайну и художественному конструированию К. М. Кантор: «В будущем, коммунистически организованном промышленном производстве дизайнер как особая фигура, как специалист по красоте не потребуется. Если раньше для промышленности было характерно индивидуальное художественное творчество, а на сегодняшнем этапе мы имеем дело с некоторым суррогатом коллективности, то в будущем проектное творчество будет по-настоящему коллективным» [7, с. 183].

Если говорить о настоящем времени и обозримом будущем, то у дизайнеров есть своя специфическая область плодотворной деятельности. Они должны в основном выступать как высококвалифицированные консультанты или соавторы инженеров. Если инженеры не будут иметь элементарного эстетического образования, то у них резко сократится потребность в консультациях у дизайнеров, а при наличии потребности будет затруднено взаимопонимание между ними.

Рассмотрим подробнее следующие вопросы: какие дополнительные преимущества имеет инженер, внутренне чувствующий красоту, и как должны разделяться функции между инженером и дизайнером при создании нового изделия.

Для этого вначале еще раз вернемся к вопросу, *что такое красота*, и приведем ее определение людьми из разных эпох и областей культуры.

Итальянский мыслитель, архитектор и музыкант XV века, автор знаменитых десяти книг о зодчестве Альберти сказал: «Красота есть строгая соразмерная гармония всех частей, объединяемых тем, что ни убавить, ни изменить ничего нельзя, не сделав хуже. Великая это и божественная вещь, осуществление которой требует всех сил искусства и дарования, и редко когда даже самой природе дано произвести на свет что-нибудь вполне законченное и во всех отношениях совершенное».

Известный австрийский биолог К. Лоренц: «В некоторых творениях природы непостижимым образом соединяются красота и функциональность, художественное и техническое совершенство — таковы паутина паука, крыло стрекозы, великолепно обтекаемое тело дельфина и движение кошки».

Генеральный авиаконструктор О. К. Антонов: «Интереснейшая часть нашей работы это ... красота в технике, часть совершенно неотделимая от нашего труда. Мне кажется, что у нас в авиации это чувствуется особенно отчетливо — тесная взаимосвязь между высоким техническим совершенством и красотой. Мы прекрасно знаем, что красивый самолет летает хорошо, а некрасивый плохо, а то и вообще не будет летать. Это не суеверие, а совершенно материалистическое положение. Здесь получается своего рода естественный отбор внутри нашего сознания. В течение многих лет складывались какие-то чисто технические, расчетные и экспериментальные, проверенные на практике решения. Располагая этой частично даже подсознательной информацией, конструктор может идти часто от красоты к технике, от решений эстетических к решениям техническим».

Эти и другие определения красоты по отношению к техническим объектам можно обобщить в виде следующего постулата: *наиболее целесообразные и функционально совершенные изделия являются наиболее красивыми.*

Главная задача всех проектно-конструкторских организаций заключается как раз в создании наиболее целесообразных и функционально совершенных, т. е. наиболее красивых изделий. Создание наиболее целесообразных функционально совершенных технических объектов — это математическая задача оптимального проектирования или задача поиска глобально оптимального решения в широком смысле слова, когда поиск осуществляется на всем множестве возможных в данное время функциональных

структур, физических принципов действия и технических решений, включая определение их оптимальных параметров (см. гл. 13). Осознание того факта, что найденная предельно совершенная (глобально оптимальная) конструкция не может быть улучшена, вызывает эстетическое чувство созерцания прекрасного и формирует в людях один из эталонов или образцов красоты.

Для успешного решения таких широко поставленных задач оптимального проектирования необходимо иметь, во-первых, рациональную стратегию (алгоритм) поиска, гарантирующую нахождение глобально оптимального решения, во-вторых, способ оценки степени совершенства (критерия качества) любого решения. У создателя ТО, как правило, имеются только некоторые частичные знания о стратегии поиска, и он может оценивать научно обоснованным (обычно расчетным) путем только часть показателей. Поэтому при проектировании новых изделий почти всегда конструктор вынужден принимать решения, находясь в ситуации частичного незнания. Такие решения он принимает, руководствуясь интуицией и, главным образом, внутренним чувством и представлением о красоте создаваемого объекта. Если научно обоснованные методы для рассматриваемого ТО слабо разработаны (а для новых технических решений это типичный случай), то приходится руководствоваться только эстетическими представлениями и ощущениями. В этих случаях особенно важным становится синтез более совершенных решений. При этом наилучшие решения находят специалисты с более глубокой и развитой эстетической культурой.

Хорошей иллюстрацией к этим рассуждениям служит древняя архитектура. Зодчие, не имея достаточно развитых расчетных методов в области сопротивления материалов, строительной механики, акустики и других наук, создали известные шедевры красоты. Некоторые особенности и конструктивные признаки таких памятников долго не находили функционального или научного объяснения. В последнее время с помощью ЭВМ проведен детальный анализ ряда таких сооружений (проведена «проверка алгеброй гармонии»), объяснивший многие их секреты.

Так, например, особое эстетическое воздействие колонн Парфенона и других шедевров древнегреческой архитектуры было связано с особенностью их формы. Эти колонны имели энтазис — небольшое мало заметное на глаз плавное утолщение, достигающее максимума примерно

на $1/3$ ее высоты от основания. Детальные расчеты показали, что колонна Парфенона на большей части длины является идеально равнопрочным стержнем, запас прочности во всех его сечениях одинаков с точностью до третьего знака. Зодчий Парфенона добился этой равнопрочности, увеличивая диаметр колонны книзу, что компенсировало нарастание нагрузок за счет собственного веса колонны. Кроме того, энтазис обеспечил наибольшую площадь поперечного сечения в том месте, где теоретически в первую очередь может произойти потеря устойчивости как в стержне, работающем на продольный изгиб. Форма колонны Парфенона оказалась также наиболее устойчивой против действия пластических деформаций материала. Вместе с тем методы расчета и анализа стержней на продольный изгиб и пластические деформации появились не ранее XVIII века.

Так, благодаря сильно развитому художественному вкусу зодчие тех времен, интуитивно чувствуя действие не сформированных еще наукой физических закономерностей, находили оптимальные решения. Точное обобщение сути такого творчества дает Л. Н. Безмоздин: «Вся история архитектуры — наглядная иллюстрация умения человека придавать эмоциональную насыщенность сооружению, используя физические и физико-механические закономерности, которым подчинены как сооружения, так и составляющие их элементы» [21, с. 190].

По этой причине и в настоящее время известно много случаев, когда опытный глаз дизайнера фиксирует, казалось бы, эстетические недостатки изделия, при устранении которых улучшались его функциональные показатели, т. е. отрицательные эстетические эмоции дизайнера или инженера при визуальном восприятии изделия становятся сигналом его технического несовершенства [21].

Уточним разделение функций инженера и дизайнера в формировании эстетического облика ТО.

Красота любого изделия состоит из внутренней, или функциональной, красоты и дополнительной декоративной. Так установилось с древнейших времен, и каждый вид красоты нес свою полезную нагрузку. Уже в каменном веке многие функционально совершенные орудия труда, одежда, жилища имели орнаментальные и другие украшения, которые улучшали настроение пользователя, повышали его жизнеспособность и веру в себя, интеллектуально развивали и т. д. Иногда функциональная красота

выступает одновременно и в качестве декоративной красоты, например, в современных реактивных самолетах, телебашнях и др.

Функциональная красота обусловлена в первую очередь законами физики и создается на основе глубокого знания или ощущения физической сущности работы ТО и его взаимодействия с окружающей средой. Эти законы лучше знает и чувствует инженер, и здесь ему должно принадлежать решающее слово.

Декоративная красота основана на законах психофизиологического воздействия некоторых образов на окружающих людей. Эти законы лучше знает дизайнер, художник, и при создании изделий решающее слово принадлежит им. При этом дизайнеры имеют большие возможности усилить эстетическое воздействие функционально совершенного ТО. Очень образно о возможностях такого усиления сказал известный специалист по эстетике М. Каган: «Выйдя из рук художника, вещь доказывает свою ценность не только своим действием, но и заявляет о ней всем своим видом. Здание и мост, кресло и ваза, автомобиль и станок словно обрastaют сознанием своей ценности. Облик вещи начинает говорить нам на своем пластическом языке: «я прекрасна», «я изящна», «я величественна», «я поэтизирую прозу жизни», «я утверждаю мощь государства», «я выделяю своего владельца», «я воспеваю техническую целесообразность», «я славлю труд человека» [21, с. 130].

Разумеется, функциональная и декоративная красота должны гармонично и оптимально дополнять друг друга. На стыке функциональной и декоративной красоты проходит водораздел сфер деятельности инженера и дизайнера. Однако этот водораздел по своей природе нечеткий, расплывчатый, и поэтому часто тот или другой выходят за пределы своей области.

В связи с быстрым развитием науки и особенно расширением использования вычислительной техники в решении инженерных задач поиска оптимальных решений (при самой широкой их постановке [1]) может сложиться мнение, что со временем потребность в использовании художественного вкуса инженера при решении этих задач будет сокращаться и в итоге исчезнет. Такая точка зрения неправильна потому, что сложность ТО возрастает быстрее по сравнению с расширением возможностей научного синтеза и анализа. И по крайней мере в обозримом

будущем такая потребность не уменьшится, а скорее возрастет. Иначе говоря, успешное решение современных задач проектирования более сложных технических систем также связано с необходимостью повышения внутренней эстетической культуры инженеров.

В последнее время ведутся интенсивная разработка и применение методов оптимального проектирования, технического творчества и поискового конструирования. Сложилось более десятка существенно отличающихся и эффективных направлений работы, однако ни одно из них не ориентировано на использование эстетической культуры специалистов в решении задач выбора наилучших проектно-конструкторских решений, особенно новых сложных технических систем. Это происходит вопреки многовековому положительному опыту. Такое упущение сильно обедняет методологию и методические средства решения задач оптимального проектирования. И здесь в ближайшее время необходимо поправить сложившуюся ситуацию, тем более, что это упущение распространяется также на созданные и создаваемые системы автоматизированного проектирования.

Большие возможности для эстетической подготовки инженеров имеются в рамках общетеоретических, общетехнических и специальных дисциплин высших технических учебных заведений. При изложении каждой из этих дисциплин можно выделить серию наиболее целесообразных (предельно совершенных или глобально оптимальных) решений и показывать их в виде хорошо выполненных плакатов, слайдов или объемных макетов. Такая демонстрация эталонов красоты с соответствующими комментариями будет формировать и развивать у студентов вкус и ощущения прекрасного в области техники.

Так, начиная с курса математики, можно показать замечательные экстремальные свойства различных кривых и тел, имеющих практический смысл. Это, например, брахистохрона — кривая, по которой тело с одного уровня на другой перемещается за минимальное время; шар, имеющий минимальное отношение объема к площади поверхности и бесконечно большое число осей симметрии и др. Замечательные свойства шара можно продемонстрировать на задачах механики, теплофизики и электродинамики. В курсах гидравлики и аэродинамики следует уделить повышенное внимание телам минимального сопротивления. На специальных дисциплинах можно пока-

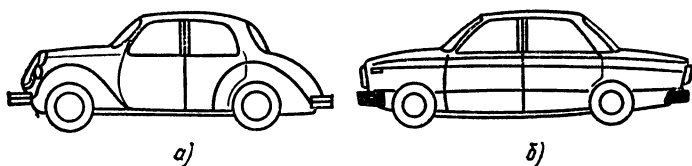


Рис. 33. Легковые автомобили:

a — старая форма — кузов автомобиля с выступающими крыльями (ГАЗ-А);
б — новая форма — кузов типа «седан» (ВАЗ-2105)

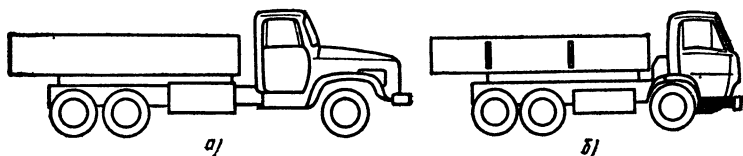


Рис. 34. Грузовые автомобили:

a — старая форма — капотная компоновка («кабина за двигателем» КрАЗ);
б — новая форма — бескапотная компоновка («кабина над двигателем» КамАЗ)

зывать решения отдельных узлов машин, аппаратов. Например, колесо велосипеда представляет собой удивительное по совершенству устройство, если учесть, что при такой малой массе оно может воспринимать статические нагрузки до 2000 Н и динамические — до 8000 Н. В этом ТО спицы работают на самую выгодную нагрузку — растяжение, пневмошины служат не только амортизатором и прекрасным гасителем шума при движении, главное их достоинство — обеспечение идеального равномерного распределения по всему периметру обода сосредоточенной внешней нагрузки в плоскости колеса.

На рис. 33—35 и в табл. 27 показаны и пояснены преимущества более красивых новых моделей автомобилей по сравнению со старыми.

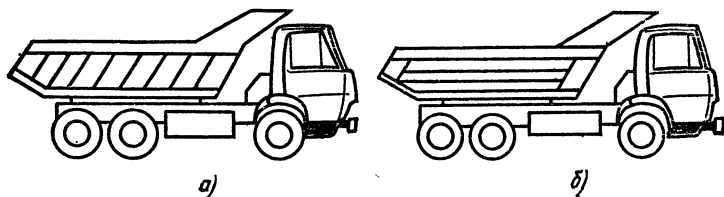


Рис. 35. Грузовые автомобили:

a — старая форма — кузов самосвала с поперечными ребрами жесткости (КамАЗ); *б* — новая форма — кузов самосвала с продольными ребрами жесткости (КамАЗ)

Сравнение старой и новой моделей автомобилей

Старая модель	Новая модель	Преимущества новой модели
Кузов легкового автомобиля с выступающими крыльями, например, ГАЗ-А (рис. 33, а)	Кузов типа «седан», например, ВАЗ-2105 (рис. 33, б)	Улучшены аэродинамические характеристики за счет исключения выступающих частей; увеличен полезный объем кузова; уменьшена трудоемкость сборки
Капотная компоновка грузового автомобиля («кабина за двигателем»), например, КраЗ (рис. 34, а)	Бескапотная компоновка («кабина над двигателем»), например, КамАЗ (рис. 34, б)	Уменьшены габаритные размеры автомобиля и улучшена его маневренность; улучшен обзор дороги для водителя; более равномерно распределена нагрузка на колеса
Кузов большегрузного самосвала с поперечными ребрами жесткости, например, КамАЗ (рис. 35, а)	Кузов с продольными ребрами жесткости, например, КамАЗ следующей модификации (рис. 35, б)	Уменьшена трудоемкость изготовления; уменьшен расход металла; улучшены аэродинамические характеристики за счет исключения вихрей за поперечными ребрами кузова

Короче говоря, в каждой инженерно-технической дисциплине можно и нужно подбирать и показывать серию красивых решений и давать соответствующее пояснение глубины и многогранности их красоты. Это обеспечит самое эффективное и прочное восприятие и усвоение знаний одновременно по *двум каналам*: через вторую сигналь-

ную систему — мысли и логические рассуждения, через первую сигнальную систему — чувства человека. Здесь имеются значительные резервы.

4. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ЗАМЕЧАНИЕ

На основании всего высказанного было бы неправильным сделать вывод, что раз механизация и автоматизация производства нарушила многие факторы эстетического воспитания, то нужно вернуться к домашинной технологии и организации производства. Развитие человечества и технический прогресс необратимы. Было бы также неправильным сделать вывод о необходимости восстановления религий вместе с их системой эстетического воздействия. Развитие человеческих цивилизаций, как показывает история, в этом отношении также необратимо. И было бы неправильным сделать вывод о неудовлетворительном состоянии у нас эстетического воспитания и работы по созиданию красоты окружающей среды. У нас имеются значительные достижения в этой области, которые широко освещены в специальной литературе и периодических изданиях.

После любой революции, в том числе и научно-технической, со временем происходит, можно сказать, обстоятельная ревизия дореволюционной материальной и духовной культуры, уклада и образа жизни и т. д. При этом новое время что-то воспринимает из прошлого без изменения, что-то воспринимает с некоторыми адаптирующими изменениями и, по-видимому, революция всегда рождает нечто новое, обеспечивающее более прогрессивное развитие по сравнению с прошлым. Поэтому основной вывод, которым хотелось бы закончить обсуждение затронутой проблемы, состоит в том, что необходимо более внимательно, системно и комплексно (с учетом положительного и отрицательного опыта) провести сравнительный анализ систем эстетического воспитания в домашинный период и в настоящее время; четко определить, что целесообразно заимствовать без изменений и стимулировать широкое распространение и что полезно заимствовать с адаптацией к нашему времени и укладу; смело и настойчиво вести практические поиски нового.

Все изложенное говорит о необходимости обстоятельной эстетической подготовки инженеров, которая не только значительно повышает их творческие возможности, но

и делает их главной активной силой в решении очень важной социально-общественной проблемы. В связи с этим хотелось бы особо порекомендовать студентам многосторонние увлечения искусством — сочинение и исполнение музыки и танцев, стихов и других литературных произведений, занятие изобразительным искусством и т. п. Как показывает большинство биографий выдающихся творцов техники и педагогический опыт, собственное творчество в искусстве значительно расширяет и повышает творческие возможности в области техники, поскольку приёмы творчества в искусстве часто удачно переносятся в сферу инженерных поисков.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

ГЛАВА 7. ПОСТАНОВКА И АНАЛИЗ ЗАДАЧИ

Благо везде и повсюду зависит от соблюдения двух условий: 1) правильного установления конечной цели и 2) отыскания соответствующих средств, ведущих к конечной цели.

Аристотель

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В этой главе дается методика постановки самого широкого класса задач инженерного творчества, когда требуется улучшить известное устройство, называемое прототипом, внося в него определенные изменения. Эта методика не охватывает другие классы задач, такие как поиск новых потребностей и формулировка новых функций ТО; разработка принципиально новых технических решений, не имеющих прототипов (см. гл. 11); постановка задач поиска новых технических решений как задач математического программирования (см. гл. 13).

Задачи инженерного творчества, как правило, решаются итерационным путем, т. е. делается несколько приближений к искомому решению на основе полученных результатов. Поэтому предлагаемая постановка задачи имеет как бы два этапа. На первом этапе выполняют работу с помощью операций 1—5 (см. п. 1 гл. 7), после чего предпринимаются попытки решения задачи естественным способом «проб и ошибок» или с помощью какого-либо метода. На втором этапе выполняются операции 6—12 с последующими попытками решения задачи.

После выполнения каждой операции желательно кратко записать полученный результат.

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

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

а. В чем состоит затруднение или проблемная ситуация и какова ее предыстория?

б. Что требуется сделать для устранения проблемной ситуации, т. е. какую *потребность* нужно удовлетворить?

в. Что мешает устранению проблемной ситуации или достижению цели?

г. Что дает решение задачи для людей, предприятия, народного хозяйства и т. д.?

Пример описания проблемной ситуации.

а. Внутри цеха имеется пневмотранспорт с диаметром трубы 300 мм, который периодически доставляет на рабочие места порошок и мелкие пластмассовые заготовки. Цех перевели на изготовление новой продукции, для производства которой на рабочие места требуется подавать еще и крупные заготовки с габаритными размерами, значительно превышающими диаметр трубопровода.

б. Необходимо обеспечить механизированную подачу крупных заготовок от склада до рабочих мест.

в. Крупные заготовки нельзя доставлять пневмотранспортом из-за малого диаметра труб. Внутри цеха отсутствуют транспортные дорожки, что затрудняет использование колесного транспорта. В верхней части цеха нет свободного пространства для установки и работы кранового оборудования.

г. Решение задачи позволит исключить ручное транспортирование заготовок в данном цехе и в других аналогичных случаях.

Операция 2. Описание функции (назначения) ТО. Описание содержит четкую и краткую характеристику технического средства, с помощью которого можно удовлетворить возникшую потребность. Описание функции выполняется в соответствии с рекомендациями п. 3 гл. 1 и п. 1 гл. 2. При этом рекомендуется давать сначала качественное, а затем количественное описание функции, которую требуется реализовать с помощью разрабатываемого ТО.

Примеры описания функций, в том числе для системы пневмотранспорта, приведены в табл. 28, где для каждого ТО вначале дано качественное, а затем количественное описание функций в виде отдельных компонентов а), б), в), которые следует читать подряд как одно предложение.

Операция 3. Выбор прототипа и составление списка требований. В описании проблемной ситуации часто ука-

Примеры описания функции

Наименование ТО	Описание функции		
	а) действие	б) объект	в) условия
1. Пневмо-транспорт внутри цеха	транспортирует	крупные заготовки	между складом и рабочими местами
	транспортирует	крупные заготовки с габаритными размерами 420×275×350 мм	между складом и рабочими местами на расстоянии до 60 м
2. Бытовая электроплитка	нагревает	емкость с жидкостью	до кипения
	нагревает	емкость с водой объемом до 5 л	до кипения за время не более 20 мин
3. Амперметр	измеряет	силу электрического тока	—
	измеряет	силу постоянного тока	в диапазоне 6—9 А с точностью до 0,1 %
4. Подшипник	снижает	вращающий момент колеса	—
	снижает	вращающий момент колеса	до 2,9 Н·м при радикальной нагрузке 7848 Н и частоте вращения 130 1/с

зывают прототип, который требуется усовершенствовать. Этот исходный прототип обычно приходится брать за основу при поиске улучшенного решения. Кроме этого, рекомендуется выбрать еще 1—2 дополнительных прототипа, имеющих определенные достоинства по сравнению с исходным. При этом в первую очередь используются существующие в практике изделия на уровне лучших мировых образцов, аналогичные технические решения в ведущем классе ТО. Ведущий класс ТО по сравнению с рассматриваемым имеет близкую функцию и более высокий техниче-

ский уровень. Например, для автомобилестроения ведущим классом может быть авиация, для строительства — машиностроение.

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

Список основных требований к прототипу составляют в зависимости от уровня его описания в виде списка требований к принципу действия или техническому решению. Рекомендации по составлению таких списков даны в п. 6 гл. 1. Количественное описание функции ТО вместе со списком основных требований представляет собой *техническое задание* на разработку нового поколения ТО.

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

В примере в качестве прототипов взяты имеющийся пневмотранспорт и транспортеры.

Операция 4. Составление списка недостатков прототипа. Как следует из закона прогрессивной конструктивной эволюции ТО (см. п. 2 гл. 5), каждый используемый ТО обычно имеет некоторый список недостатков, устранение которых обеспечивает получение новой улучшенной модификации ТО. При выполнении этой операции необходимо стремиться выявить все недостатки прототипа, которые могут быть устранены в новом изделии, т. е. для каждого прототипа следует указать:

критерии развития ТО (см. гл. 3);

показатели, не соответствующие сформулированной функции;

факторы, снижающие эффективность или затрудняющие использование прототипа;

показатели, которые желательно улучшить.

Для каждого критерия, показателя и фактора следует дать по возможности количественную оценку с перспекти-

вой на будущее. Перечень требующих улучшения критериев, показателей и факторов с их количественной оценкой будем называть *списком недостатков прототипа*.

При составлении списка недостатков целесообразно изучить конструктивную эволюцию рассматриваемых ТО (см. гл. 4) для более обоснованного выбора критериев развития, использовать метод обратной мозговой атаки (см. п. 3 гл. 8). Полученный список недостатков необходимо упорядочить по степени важности их устранения и выделить самые важные недостатки, устранение которых будем считать *главными целями решения задачи*.

При выполнении этой операции рекомендуется использовать существующие (а также самим составлять и развивать) проблемно и объектно (предметно) ориентированные списки недостатков, а также материал книги [9].

Пример. Список недостатков пневмотранспорта в цехе:

1. Если использовать пневмотранспорт, то возникают значительные дополнительные затраты, связанные с демонтажом трубопроводов и установкой новых трубопроводов с большим диаметром, например 600 мм.

2. После установки трубопровода с диаметром 600 мм могут появиться заготовки с габаритными размерами, превышающими этот диаметр, что потребует новую замену трубопровода.

3. Заготовки при движении в трубопроводе ударяются, трутся и в результате теряют товарный вид, что противоречит тенденции повышения качества изделий.

4. При транспортировании по трубам более крупных заготовок повышается шум в цехе.

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

Операция 5. Предварительная формулировка задачи.

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

Дано:

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

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

в) списки недостатков прототипов.

Требуется:

в процессе решения задачи так изменить прототип, т. е. найти такое новое техническое решение, которое бы реали-

зовало интересующую функцию и не имело (или имело в меньшей мере) недостатки, присущие прототипу.

Пример: требуется так изменить существующий в цехе пневмотранспорт, чтобы:

1) он обеспечивал транспортирование заготовок сечением 600×600 мм;

2) были значительно снижены или исключены дополнительные затраты, связанные с демонтажом трубопроводов и установкой труб с большим диаметром;

3) была значительно снижена или исключена порча заготовок от ударов и трения в трубопроводе.

2. УТОЧНЕННАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Операция 6. Анализ функций прототипа и построение улучшенной конструктивной функциональной структуры. Анализ функций прототипа и построение его конструктивной ФС выполняется в соответствии с рекомендациями п. 1 гл. 2.

После этого проводят корректировку (улучшение) ФС, для чего необходимо ответить на вопросы:

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

б. Какие можно исключить элементы для устранения недостатков прототипа или повышения эффективности и качества ТО?

в. Какие элементы целесообразно исключить путем передачи их функций другим элементам?

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

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

Пример анализа функций бытовой электроплитки. Разделение электроплитки-прототипа на элементы и описание их функций дано в табл. 9 (гл. 2), а изображение конструктивной ФС — на рис. 8.

Поиск улучшенной конструктивной ФС:

при ответе на вопросы а) введен «регулятор», который позволяет сократить время нагревания и далее поддерживать кипение при пониженном потреблении энергии;

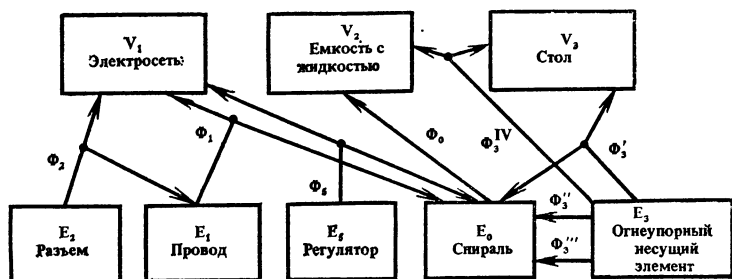


Рис. 36. Улучшенный вариант конструктивной ФС бытовой электроплитки

при ответе на вопрос в) функция элемента E_4 (табл. 9) была передана элементу E_3 , в результате вместо «огнеупорного элемента» появляется «огнеупорный несущий элемент». Добавлен также регулятор E_5 с функцией Φ_5 (изменение потребляемой мощности E_0 от электросети V_1). Улучшенная функциональная структура приведена на рис. 36.

Операция 7. Анализ функций вышестоящей по иерархии системы. Почти всегда рассматриваемый ТО можно представить как элемент в другой, более сложной технической системе (например, деталь в узле, узел в машине, машина в технологической линии цеха и т. д.).

Для анализа необходимо:

1. Выделить вышестоящую по иерархии систему, в которой в качестве отдельных элементов (подсистем) выступают рассматриваемой ТО и другие смежные с ним объекты (другие ТО, окружающая среда, человек и т. д.).

2. Описать функции всех элементов, входящих в выделенную систему, и построить конструктивную ФС.

3. Выяснить возможность удовлетворения потребности, т. е.:

можно ли выполнить функцию рассматриваемого ТО путем внесения изменений в смежные объекты;

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

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

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

**Причины недостатков (дефектов) пневмотранспорта
в цехе**

Номер недо- статка	Причина возникновения недостатка	Можно ли и как в принципе устранить причину возник- новения недостатка
1	Замена трубопровода	Да, если не заменять тру- бопровод
2	Дальнейшее возрастание габаритных размеров за- готовок	Да, если принять диаметр трубопровода с большим за- пасом или если трубопро- вод не будет зависеть от га- баритных размеров загото- вок
3	Удары и трение загото- вок между собой и о стенки труб	Да, если исключить уда- ры и трение
4	4.1. Удары и трение за- готовок о стенки 4.2. Движение с боль- шой скоростью и под большим давлением возду- ха в трубе	4.1. Да, если исключить удары и трение 4.2. Да, понизив шум пу- тем звукоизоляции и умень- шения утечек воздуха

Пример. В рассматриваемой задаче с пневмотранспортом выше-
стоящая по иерархии система включает: пневмотранспорт, склад
материалов, рабочие места. Построение ФС между этими элементами
не вызывает затруднений. Проработка по пп. 3, 4 не приводит к интерес-
ным идеям внесения изменений в смежные объекты (если не считать
идею приближения склада к рабочим местам или наоборот, которая
в данном случае неприемлема). Это говорит о том, что в эвристических
методах некоторые операции или преимы при решении конкретных за-
дач «не срабатывают», хотя в других случаях они приводят к интерес-
ным результатам.

**Операция 8. Выявление причин возникновения недо-
статков.** Проводятся более углубленный анализ и изуче-
ние задачи в направлении выявления причин возникнове-
ния недостатков в прототипе, сформулированных при
выполнении операции 4.

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

Пример выявления причин недостатков пневмотран-
спорта в цехе дан в табл. 29.

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

Улучшение какого-либо желаемого показателя ТО приводит к существенному ухудшению одного или нескольких других важных показателей (например, увеличение грузоподъемности моста приводит к увеличению расхода материалов; снижение помех от деформации антенны радиотелескопа приводит к резкому повышению стоимости антенны).

Возможно и другое противоречие развития, когда улучшение желаемого показателя ограничено некоторым фактором. Например, увеличение диаметра и частоты вращения бегуна и поставка водяной мельницы в средние века ограничивалось прочностью и конструкцией деревянных водяных колес; возрастание быстродействия ЭВМ ограничено скоростью передачи сигналов внутри машины.

При выявлении и анализе противоречий развития выполняют следующие процедуры.

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

2. При рассмотрении каждого такого показателя ответьте на вопросы:

какой показатель ТО существенно ухудшается при улучшении рассматриваемого показателя;

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

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

Более подробно выявление и анализ противоречий развития (технические противоречия, физические противоречия) рассмотрены в книгах [2, 18, 47, 53]. При выполнении п. 3 рекомендуется использовать программы и системы математического моделирования ТО.

Пример. В задаче улучшения пневмотранспорта противоречия развития имеют место при устранении недостатков 1, 4, выявленных в операции 4. Графическое отображение этих противоречий развития показано на рис. 37, где даны качественные графики.

Операция 10. Уточнение списка прототипов и формирование идеального технического решения. Выявление и анализ недостатков прототипа (операции 4, 8, 9), анализ

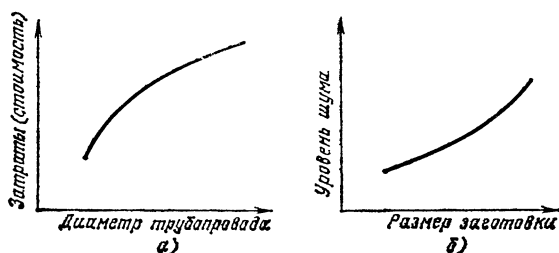


Рис. 37. Противоречие развития пневмотранспорта в цехе:

a — зависимость затрат на реконструкцию от диаметра трубы; *b* — зависимость уровня шума пневмотранспорта от размеров транспортируемых заготовок

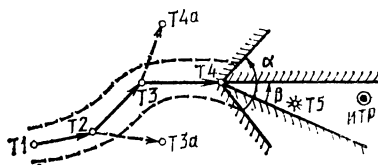
функций прототипа и вышестоящей системы (операции 6, 7) значительно расширяют представление о задаче и требованиях к прототипу. В связи с этим целесообразно еще раз вернуться к выбору наиболее подходящего прототипа для разработки улучшенного ТО и использовать рекомендации, данные в операциях 3, 6, 7. Кроме того, полезно сформулировать и представить *идеальное техническое решение*.

Любой класс ТО имеет вполне определенное направление (или *главную магистраль*) развития, ограниченное штриховыми линиями на рис. 38. В связи с этим все изобретения можно разделить на две группы: *прогрессивные* (Т1, ..., Т4), которые лежат на главной магистрали, и *тупиковые* (Т3а, Т4а), уходящие в сторону от главной магистрали. При создании нового ТО задача заключается не в поиске вообще новых улучшенных технических решений, а в поиске решений, лежащих на главной магистрали.

К одному из приемов, помогающих выбору нового технического решения на главной магистрали развития, относится формулировка *идеального технического решения* (ИТР), которое конструкторы и изобретатели называют по-разному: идеальный конечный результат, идеальная машина, предельно совершенное устройство и т. д. ИТР является как бы ориентиром для выбора прототипа и конструирования улучшенного ТО. Так, например, акад. В. А. Котельников ввел в свое время понятие «идеального приемника» и показал, что даже лучший из приемников может снизить помехи до определенного предела. Схема идеального приемника Котельникова направила поиски изобретателей по более узкому и перспективному направлению.

Рис. 38. Главная магистраль развития ТО:

T1, T2, T3 — предшествующие массово выпускаемые ТО, T4 — рассматриваемый прототип; α — угол поиска без знания ИТР; β — сужение угла поиска с ориентацией на ИТР



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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ниже приведены примеры приближения к ИТР.

Прототипы ТО;

Значительное приближение к ИТР;

Глиняные сосуды для хранения и транспортирования зерна и других сыпучих грузов в древности
Телефон, передающий информацию по проводам

Мешок из ткани

Радиоаппаратура, передающая информацию без проводов

Грузовые автомобили 20-х годов с отношением массы машины к массе груза 0,5—0,6

Современные грузовые автомобили с соответствующим отношением 0,2—0,3

ЭВМ на лампах

ЭВМ на микросхемах и сверх-
больших интегральных схемах

Современный телевизор с габаритными размерами 800×600×
× 500 мм

Будущий телевизор с габаритными
размерами 800×600×50 мм

При формировании ИТР для своего класса ТО станьте на время футурологом или писателем-фантастом и опишите по возможности подробно (для реализации рассматриваемой функции) техническое решение будущего, удовлетворяющего по возможности указанным свойствам ИТР. Особое внимание обратите на физический принцип действия, внешний вид и основные показатели эффективности ТО. При этом целесообразно использовать прямую мозговую атаку.

Для формулировки ИТР полезно также использовать следующие правила [2]:

Не следует заранее думать: возможно или невозможно в принципе осуществить ИТР; как и какими путями будет реализовано ИТР.

Рекомендуется использовать прием изображения двух картинок (рис. 39). При изображении второй картинки ничем не ограничивайте свою фантазию.

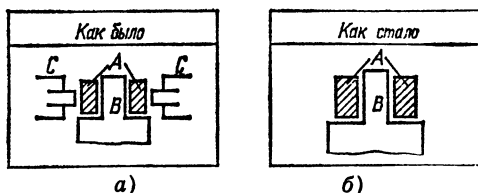
Важность формулировки ИТР заключается в том, что оно позволяет во всем многомерном пространстве поиска выделить (определить) достаточно малый угол поиска β (см. рис. 38), который обеспечивает более целенаправленную изобретательскую работу и концентрирует интуицию в наиболее перспективном направлении. Суженный угол β предотвращает выбор тупиковых технических решений (аналогичных Т3а, Т4а) и, как правило, в пространстве этого угла между ИТР и прототипом Т4 лежит искомое решение Т5.

Пример. Применительно к задаче с пневмотранспортом можно дать следующую формулировку ИТР. Крупные заготовки без особых дополнительных средств и затрат (или вообще без всяких средств и затрат) сами собой движутся или передаются от склада к рабочим местам.

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

Рис. 39. Пример изобретения двух картинок:

а — обрабатываемые детали *А* прижимаются к патрону *В* гидроцилиндром *С*; *б* — обрабатываемые детали *А* сами держатся на патроне *В*



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

Какие еще можно устранить недостатки в прототипе?

Какие показатели могут быть дополнительно улучшены и на сколько?

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

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

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

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

ГЛАВА 8. МЕТОДЫ МОЗГОВОЙ АТАКИ

Инженерная карьера погому и заманчива, что люди со средними способностями могут творить, т. е. могут испытывать счастье, доступное только сверходаренным людям: поэтам, музыкантам, художникам и ученым.

В. Е. Грум-Гржимайло

Один и камень не сдвинешь, а артелью гору поднимаешь.

Русская пословица

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОДСОЗНАНИЯ

Методы мозгового штурма, или мозговой атаки (МА), основываются на следующем психологическом эффекте. Если взять группу в 5—8 человек и каждому предложить независимо и индивидуально высказывать идеи и предложения по решению поставленной изобретательской или рационализаторской задачи, то в сумме можно получить N идей. Если предложить этой группе коллективно высказывать идеи по этой же задаче, то получится N_k идей. При этом оказывается, что N_k намного больше N .

Обычно за 15—30 мин коллективно высказывается (при соблюдении правил МА) от 50 до 150 разных идей, а при индивидуальной работе — только 10—20 идей.

Во время сеанса МА происходит как бы цепная реакция идей, приводящая к интеллектуальному взрыву. В одном из американских руководств по методу МА говорится: «99 процентов ваших конструктивных идей возникает подобно электрической искре при «контакте» с мыслями других людей».

В связи с этим Г. Я. Буш, известный советский специалист по эвристическим методам технического творчества, пишет: «Мозговая атака, предложенная А. Осборном, представляет собой применение эвристического диалога Сократа с широким использованием механизма свободных ассоциаций творческого коллектива и одновременно созданием путей той или иной психоэвристической настройки оптимального микроклимата для творчества».

Современные методы МА имеют далекую предысторию, уходящую в XVI—XVII века — время расцвета смелых морских путешествий. В это время в морской практике

вырабатывается порядок действий на случай, когда судно терпит аварию или бедствие. В таких экстремальных ситуациях капитан судна (или оставшийся в живых старший по положению) проводит со всей оставшейся командой непродолжительный корабельный совет, на котором каждый должен высказывать свои предложения по устранению возникших затруднений и опасностей. При этом соблюдался строгий порядок выступавших. Сначала высказывались юнги и младшие матросы, затем старшие матросы и т. д. до капитана. Такая процедура стимулировала мышление более старших и опытных людей, которые приходили к более толковым и приемлемым идеям.

Современные методы МА возникли и были развиты в США. Их основателем считается морской офицер А. Осборн, который во время второй мировой войны был капитаном небольшого транспортного судна. Однажды судно под его командованием везло груз в Европу и оказалось без надежной охраны и прикрытия. В это время была получена радиограмма о скором нападении немецких подводных лодок. А. Осборн собрал всех на палубе, сообщил о готовящемся нападении и попросил каждого подумать и высказать свои соображения по поводу того, что необходимо сделать, чтобы предотвратить гибель судна, которое не имело эффективных средств защиты. Один из матросов сказал, что нужно всей команде встать вдоль борта, к которому будет приближаться торпеда, дружно дуть на торпеду и «отдуть ее в сторону».

На этот раз встреча с подводными лодками не была роковой. Однако высказанная матросом смешная абсурдная идея оказалась плодотворной. Когда судно вернулось на свою базу, А. Осборн по разработанным в пути эскизам изготовил вентилятор, создающий мощный направленный поток воды, и этим вентилятором в одном из рейсов действительно «отдул» торпеду от борта.

Так у А. Осборна родилась идея создания метода коллективного поиска идей для устранения затруднительных ситуаций. После войны он разработал метод мозговой атаки и создал свою школу подготовки изобретателей и рационализаторов.

Методы МА представляют собой эмпирически найденные эффективные способы решения творческих задач. С точки зрения психологии, кибернетики и других наук феномен МА остается белым пятном, которое требует серьезного и глубокого изучения. Такие исследования

несомненно обеспечат значительное повышение эффективности этого популярного и широко распространенного метода.

Методы МА рекомендуются для изучения в числе первых и обязательных эвристических методов при подготовке изобретателей. Это вызвано рядом причин, кроме уже отмеченной его высокой эффективности. Изучение методов МА не требует специальной подготовки, и они осваиваются легко и быстро как учащимися средних школ и молодыми рабочими, так и опытными конструкторами. В последнее время оправдали себя и прогрессивно развиваются различные формы коллективного технического творчества (творческие группы, бригады и т. п.). Для этих форм метод МА представляется наиболее естественным и подходящим. И еще одно достоинство МА — универсальность метода и весьма широкая область его применения.

Мозговую атаку целесообразно использовать:

при решении изобретательских и рационализаторских задач в самых различных областях техники;

при самых различных постановках задачи (по форме, детальности и глубине проработки);

на различных этапах решения творческой задачи и на различных стадиях разработки и проектирования изделий;

в сочетании с другими эвристическими методами.

Удивительная универсальность методов МА позволяет с их помощью рассматривать почти любую проблему или любое затруднение в сфере человеческой деятельности. Это могут быть также задачи из области организации производства, сферы обслуживания, бизнеса, экономики, социологии, уголовного розыска, военных операций и т. д., если они достаточно просто и ясно сформулированы.

2. МЕТОД ПРЯМОЙ МОЗГОВОЙ АТАКИ

Формулировка задачи. Постановка задачи перед творческой группой — участниками МА может иметь самую различную форму и содержание. Однако в ней должны быть четко сформулированы два момента:

что в итоге желательно получить или иметь;

что мешает получению желаемого.

Задачу может сформулировать внешний заказчик, руководитель творческой группы или ее член. Важно одно, чтобы перед сеансом МА имелась достаточно исчерпываю-

щая четкая постановка задачи, желательно в документальном виде. Постановка задачи для МА должна также отличаться краткостью изложения.

В соответствии с рекомендациями гл. 7 постановка задачи может быть дана в виде описания проблемной ситуации (операция 1). Иногда имеет смысл дать более детальное изложение постановки, когда описание проблемной ситуации дополняют предварительной формулировкой задачи в соответствии с операцией 5. Пример формулировки задачи приведен в п. 1 гл. 7.

Главное содержание постановки задачи (операция 1) содержится в ответах на вопросы а) и б). Ответы на вопрос г) и частично на вопрос а) должны стимулировать и вдохновлять членов творческой группы на активную деятельность, чтобы предлагаемая задача стала для них главной задачей, которую необходимо неотложно решить.

Если формулировка задачи содержит очень специальные и малопонятные термины для специалистов из смежных или других областей, то необходимо сделать вторую редакцию предварительной формулировки без специальных терминов.

Формирование творческой группы. Наиболее эффективное число участников в творческой группе для проведения сеанса МА составляет 5—12 человек, хотя допустимо и меньшее (до 3) и большее число участников.

Как правило, творческие группы состоят из двух подгрупп: постоянное ядро группы и временные члены. Ядро группы постепенно отбирается при решении различных задач методом МА. В ядро группы входят ее руководитель и сотрудники, легко и плодотворно генерирующие идеи, а также хорошо знающие и соблюдающие правила игры (правила для участников сеанса МА).

Временные члены приглашаются в зависимости от характера и содержания предстоящей задачи. В творческую группу никогда не включаются прирожденные скептики и критиканы. Временные члены служат необходимым и гармоничным дополнением к ядру группы, обеспечивающим выполнение следующих рекомендаций:

число специалистов по решаемой задаче должно быть не более половины;

в состав группы целесообразно включать специалистов-смежников (конструкторы, технологи, экономисты, снабженцы и. т. д.), которые обеспечат комплексное и всестороннее рассмотрение задачи;

в состав группы желательно включать женщин, которые весьма практично и оригинально мыслят, стимулируют и повышают дух соревнования среди мужчин;

рекомендуется включать «людей со стороны», не имеющих никакого отношения к задаче (повар, врач, парикмахер, проводник поезда и т. д.).

Творческая группа — это дружная сыгранная команда, члены которой взаимно дополняют друг друга.

Правила для участников сеанса МА. Их можно сформулировать следующим образом.

1. Стремитесь высказывать максимальное число идей. Отдавайте предпочтение количеству, а не качеству идей. Свои идеи высказывайте короткими предложениями.

2. Во время сеанса МА абсолютно запрещена критика предложенных идей. Запрещаются также неодобрительные замечания, иронические реплики, консервативные мысли, ядовитые шутки. Например:

Так еще никогда не делали!

А что скажет директор?

Для практики это не годится!

Это же чепуха и бред сивой кобылы!

и т. п.

Запрет критики создает благоприятный творческий микроклимат.

3. Внешне и внутренне одобряйте и принимайте все идеи, даже заведомо непрактичные и, казалось бы, глупые. Оказывайте предпочтение не систематическому логическому мышлению, а озарениям, необузданной и безграничной фантазии в самых разных направлениях.

4. Весьма способствуют продуктивному мышлению шутки, каламбуры, юмор и смех. Поддерживайте и создавайте такую обстановку.

5. Стремитесь развивать, комбинировать и улучшать высказанные ранее идеи, получать от них новые ассоциативные идеи.

6. Обеспечивайте между участниками МА свободные, демократические, дружественные и доверительные отношения. Никто после сеанса не будет зло шутить над неудачными идеями других.

Настоящий сеанс МА — это особое психологическое состояние людей, когда думается без волевых усилий и принимается во внимание «все, что придет в голову». Именно такое состояние оказывается наиболее продуктивным, поскольку позволяет в наибольшей мере исполь-

зовать подсознание человека — самый мощный аппарат творческого мышления.

Обязанности ведущего (руководителя) в сеансе МА. Успех и результативность МА в очень большой мере зависит от председателя совещания (ведущего), который осуществляет оперативное управление МА. Ведущим чаще всего бывает руководитель творческой группы. Ведущий должен руководствоваться правилами для участников МА и поддерживать непринужденную обстановку и чувство юмора. Кроме того, на ведущего возлагаются следующие обязанности.

1. Если есть новички в творческой группе, ведущий в самом начале представляет всех участников, давая им короткую лестную характеристику. Далее излагают правила для участников сеанса МА.

2. Ведущий четко и эмоционально излагает формулировку задачи как в специальном, так и в общедоступном изложении. При этом заставляет участников воспринимать задачу как свою главную проблему, усиливая постановку, например, такими замечаниями:

Представьте себя на месте того-то.

Что бы вы сделали, если бы сами отвечали за это дело?

3. Ведущий должен уметь обеспечить соблюдение участниками всех правил проведения МА, не пользуясь при этом приказаниями и критическими замечаниями. Его роль подобна функциям судьи на футбольном поле.

4. Ведущий должен обеспечивать непрерывность высказывания идей, заполнять паузу поощрительными репликами.

Например:

В свое время предлагалось то-то (можно использовать протоколы предыдущих МА для аналогичных задач).

Давайте три минуты будем высказывать только непрактические и фантастические идеи.

А что думаете по этому поводу Вы, Николай Петрович?

А какое будет решение задачи, если убрать такое-то ограничение?

У нас уже 35 идей, давайте дотянем до 40.

5. Ведущий должен следить, чтобы обсуждение не шло в слишком узком и слишком практическом направлении, своими идеями или репликами расширять сферу поиска.

6. Ведущий должен следить за регламентом работы. Говорить, сколько времени осталось до конца сеанса. Тактично останавливать участника, который высказы-

вает свою идею более полминуты, интенсифицировать работу последних минут, например, такими восклицаниями:

Неужели ничего не найдем в последние три минуты?!

Неужели мы не забудем гол в последнюю минуту?!

МА — это интенсивный, быстро протекающий творческий процесс, как остронигровой хоккейный матч. Поэтому не может быть единой постоянной схемы проведения МА. Каждый ведущий должен искать свои индивидуальные пути повышения результативности сеанса МА. Например, создатель метода А. Осборн как бывший моряк во время сеанса употреблял крепкие соленые выражения, сообразуясь, конечно, с составом участников.

Организация проведения МА. Приглашать на совещание (сеанс МА) желательно за 2—3 дня с изложением сути задачи, чтобы участники могли подумать и настроиться. Иногда бывает целесообразно заранее сообщить постановку задачи только части участников.

Полная продолжительность совещания (сеанса МА) составляет 1,5—2 ч. Совещание имеет следующий порядок проведения и соответствующие затраты времени на отдельные мероприятия:

- представление участников совещания друг другу и ознакомление их с правилами проведения сеанса МА (5—10 мин);

- постановка задачи ведущим с ответами на вопросы (10—15 мин);

- проведение МА (20—30 мин);

- перерыв (10 минут);

- составление отредактированного списка идей (30—45 мин).

Помещение должно быть по возможности нейтральное (лучше не кабинет директора) и не шумное. Лучше всего сидеть за круглым или П-образным столом, чтобы все друг друга видели.

Весьма повышают эффективность различные мероприятия по психологической настройке и психозвистическому стимулированию, например:

- показ перед МА короткометражного фильма, заставляющего забыть заботы дня, или фильма, актуализирующего постановку задачи;

- включения негромкой фоновой музыки во время сеанса МА;

- показ натурального образца, макета или эскиза объекта, который требуется улучшить;

показ на экране аналогичных объектов, случайно выбранных предметов или слов (существительных и глаголов);

угощение чаем или кофе;

объявление перед сеансом о гонораре, вручаемом сразу после окончания совещания (это могут быть интересные сувениры, билеты в сауну, лотерейные билеты или деньги, действительно новая и смешная миниатюра, которую участники будут с удовольствием пересказывать своим знакомым и т. п.).

Запись и оформление результатов МА. Фиксирование идей, высказываемых во время сеанса МА, производится одним из трех способов:

среди участников имеется стенографист (можно записывать и не стенографическим текстом);

с помощью магнитофона;

каждый участник после высказывания записывает свою идею.

После сеанса проводится быстрое коллективное редактирование полученного списка идей с полукритическим отношением. При этом участники МА быстро отбрасывают наименее приемлемые и абсурдные идеи. Они могут также усилить и конкретизировать высказанные идеи и дополнить список новыми идеями, возникшими во время редактирования. Все полученные идеи желательно разделить на три группы: наиболее приемлемые и легко реализуемые для решаемой задачи, наиболее эффективные и перспективные, прочие.

Отредактированный и оформленный список передается заинтересованным лицам для дальнейшей более детальной оценки и проработки с точки зрения патентоведения и использования в проектно-конструкторских разработках.

После принятия решения об оформлении отдельных идей (в виде рационализаторских предложений, заявок на изобретение, технических предложений для проектирования и т. д.) уточняется и определяется список авторов с руководителем группы, а затем согласуется со всей творческой группой, участвовавшей в сеансе МА.

Учебно-тренировочные задачи. Прежде чем решать реальные задачи методом МА, необходимо отработать с творческой группой или ее ядром технику проведения МА на учебно-тренировочных задачах. Такие задачи должны:

быть общепонятными для всех участников;

содержать потенциально большое число идей решения задачи;

вызвать интерес у участников МА.

В качестве учебных задач можно брать реальные задачи, удовлетворяющие указанным требованиям. Если выбор реальных учебно-тренировочных задач вызывает затруднение, то можно предложить следующие темы для формулировки и решения задач:

Как исключить травмирование и гибель жителей города от падающих сосулек?

Как снизить аварийность и травматизм на автодороге во время гололеда?

Как сохранить от града хлебное поле?

Как уберечь от воров зеркало в туалетной комнате, сушилку для рук?

3. МЕТОД ОБРАТНОЙ МОЗГОВОЙ АТАКИ

Теоретические предпосылки. В основе обратной мозговой атаки лежит закон прогрессивной конструктивной эволюции ТО (см. п. 3 гл. 5). По этому закону переход к новым образцам техники происходит через *выявление и устранение дефектов (недостатков) в существующем поколении* ТО при наличии необходимого научно-технического потенциала.

Поэтому при создании любого нового значительно улучшенного изделия решаются две задачи:

1) выявление в существующих изделиях максимального числа недостатков;

2) максимальное устранение этих недостатков во вновь разрабатываемом изделии.

Первая задача относится к постановке изобретательских и проектно-конструкторских задач, вторая — к синтезу нового технического решения. Первая задача оказывается не менее простой, поскольку необходимо выявить полный список недостатков, который состоит из двух частей:

недостатки, обнаруженные при изготовлении, эксплуатации, ремонте и утилизации выпускаемых изделий;

недостатки, которые возникнут в обозримом будущем у разрабатываемого изделия.

Таким образом, методы решения первой задачи должны обеспечивать не только выявление всех известных недостатков, но и прогнозировать все будущие недостатки.

Гипотетически существует некоторый идеальный полный список недостатков, каждый из которых может быть устранен или учтен в новом изделии, в результате чего новое изделие будет реализовывать максимально возможный скачок для существующего научно-технического уровня. Поэтому наилучшее решение первой творческой задачи соответствует наибольшему приближению к такому идеальному списку недостатков.

Говоря иначе, полный список недостатков (независимо от причины их возникновения) должен отражать все возможные отклонения действительно существующего положения от желаемого.

Область применения метода. Метод обратной МА ориентирован на решение первой творческой задачи, т. е. цель обратной МА заключается в составлении наиболее полного списка недостатков рассматриваемого объекта, на который обрушивается ничем не ограниченная критика. Объектом обратной МА может быть конкретное изделие или его узел, технологический процесс или его операция, сфера обслуживания и т. д.

Обратная МА может быть использована при решении, например, следующих вопросов и задач:

уточнение постановки изобретательских и рационализаторских задач;

разработка технического задания или технического предложения;

экспертиза проектно-конструкторской документации на любой стадии разработки (техническое задание, техническое предложение, эскизный, технический или рабочий проект, экспериментальный или опытный образец); оценка эффективности закупаемых изделий.

Формулировка задачи. Формулировка задачи для обратной МА должна содержать краткие и достаточно исчерпывающие ответы на следующие вопросы:

а) Что представляет собой объект, который требуется улучшить?

б) Какие известны недостатки объекта, связанные с его изготовлением, эксплуатацией, ремонтом и т. д.?

в) Что требуется получить в результате МА?

г) На что нужно обратить особое внимание?

Изложение по п. а) желательно сопроводить наглядным эскизом, слайдами, кинофильмом, показом макета и натурного образца («лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать»). Наиболее полно и объективно информа-

ция по п. б) может быть собрана у изготовителей, пользователей, наладчиков и ремонтников.

По п. в) МА должна дать максимально полный список недостатков и дефектов у рассматриваемого объекта. Во время сеанса МА мы должны прозорливо угадать все будущие недостатки на 10—20 лет вперед, чтобы полученный полный список недостатков обеспечивал наиболее длительную конкурентоспособность созданного объекта.

По п. г) нужно указать, в каком направлении особенно нетерпимы недостатки и дефекты (например, прочность определенных деталей, надежность работы системы, экономия жидкого топлива, охрана окружающей водной среды и т. п.).

При составлении формулировки задачи следует также принять во внимание рекомендации п. 2 гл. 8.

Формирование творческой группы. Здесь остаются в силе рекомендации п. 2 гл. 8, кроме одного пожелания. В творческую группу необходимо включить технологов, наладчиков, ремонтников, эксплуатационников, работников по сбыту и продаже.

Правила для участников сеанса МА. Эти правила совпадают с правилами проведения прямой МА (см. п. 2 гл. 8).

Обязанности ведущего (руководителя) в сеансе МА. Совпадают с обязанностями, изложенными в п. 2 гл. 8. Для обеспечения непрерывности высказывания идей и полноты формируемого списка недостатков ведущему рекомендуется использовать следующий список вопросов:

У каких параметров объекта или его элемента ожидаются отклонения от нормы?

Какие ожидаются трудности изготовления, сборки, контроля изделия или его отдельных узлов?

Какие могут возникнуть затруднения с материалами и комплектующими деталями и узлами в настоящее время и через 10—20 лет?

Какие ожидаются трудности энергоснабжения в данное время и через 10—20 лет?

Какие неудобства в обслуживании или какие могут возникнуть ошибки оператора?

Могут ли возникнуть опасные моменты для пользователей и обслуживающего персонала?

Какие возможны трудности доставки и транспортирования в настоящее время и через 10—20 лет?

Пример анализа недостатков прототипа

Наименование недостатка	Фактические или возможные следствия проявления недостатка	Фактические или возможные причины возникновения недостатка
1. Плохая подвижность шарнирной передачи	1.1. Потеря мощности 1.2. Ускоренное изнашивание шарнира 1.3. Разрушение шарнира	1.1. Некачественная обработка 1.2. Малый зазор поверхностей трущейся пары
2. Неучет гололеда на автодороге	Скольжение транспорта с потерей управления	1.3. Непредусмотренные температурные перепады Наличие в атмосфере повышенной влажности и низкой температуры
3. Отказ шариковой авто ручки	Шариковая авторучка перестает оставлять след на бумаге в виде слоя пасты	3.1. Понижение давления в баллоне с пастой 3.2. Заклинивание шарика 3.3. Увеличение вязкости пасты в связи с понижением температуры

Организация проведения МА. Она совпадает с описанной в п. 2 гл. 8. Для стимулирования мышления на экране показывают отдельные предложения из межотраслевого, проблемно и объектно ориентированных списков недостатков изделий и списков их параметров.

Запись и оформление результатов МА. Проводится в соответствии с рекомендациями п. 2 гл. 8. В дополнение выполняется классификация недостатков по родственным группам. Могут быть выделены, например, следующие группы: основные функциональные требования, производство, сбыт, эксплуатация, защита окружающей среды. Проводится ранжирование недостатков от самых больших (главных) до малых (второстепенных). Ранжирование можно выполнить также путем отнесения каждого недостатка к главным, средним или второстепенным недостаткам.

Если список недостатков составляется с целью последующего его использования в постановке и решении изобретательских или рационализаторских задач, то желательно еще составить таблицу анализа недостатков (табл. 30), где приведены примеры заполнения.

При составлении табл. 30 время, отведенное на составление отредактированного списка идей (см. п. 2 гл. 8), может быть увеличено до 1—1,5 ч, а заполнение столбцов по следствиям проявления и причинам недостатков можно проводить с помощью дополнительной мозговой атаки.

Выбор учебно-тренировочных задач. При выборе следует учитывать рекомендации п. 2 гл. 8, где также приведены темы для формулирования и решения учебных задач.

4. КОМБИНИРОВАННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МОЗГОВОЙ АТАКИ

Изложенные методы прямой и обратной МА могут быть совместно использованы в различных комбинациях. Приведем некоторые схемы таких комбинаций, оправдавшие себя на практике.

Двойная прямая мозговая атака. Двойная МА начала практиковаться в СССР. Суть ее заключается в том, что после проведения прямой МА делается перерыв от двух часов до двух—трех дней и еще раз повторяется прямая МА.

Практика показала, что при проведении второй МА по одной и той же задаче часто выявляются наиболее ценные практически полезные идеи или удачное развитие идей первого совещания, т. е. во время перерыва включается в работу мощный аппарат решения творческих задач — подсознание человека, синтезирующее неожиданные фундаментальные идеи.

Обратная и прямая мозговые атаки (прогнозирования и развития техники). Как уже отмечалось во введении, развитие ТО представляет собой повторяющийся цикл: существующее изделие — выявление недостатков — устранение недостатков в новой серии изделий. Эту закономерность можно использовать для мысленного моделирования и прогнозирования развития интересующего класса изделий. Для этого сначала с помощью обратной МА выявляют все недостатки существующего изделия и выделяют среди них главные. Затем проводят прямую МА для устранения выявленных главных недостатков и разрабатывают эскиз нового технического решения, в котором по возможности устранены или учтены эти недостатки.

Для увеличения времени прогнозирования этот цикл имеет смысл повторить, чтобы посмотреть развитие объекта на два шага вперед.

Прямая и обратная мозговые атаки (прогнозирование недостатков технического объекта). Указанную в предыдущем параграфе закономерность развития техники можно также использовать для прогнозирования недостатков интересующего класса изделий. Для этого сначала проводят прямую МА и делают эскизы наиболее перспективных технических решений, затем обратную МА и выявляют возможные недостатки этих технических решений.

В целях увеличения времени прогнозирования этот цикл имеет смысл еще раз повторить, т. е. опять провести прямую МА для устранения выявленных будущих недостатков и разработки соответствующих эскизов технических решений, по отношению к которым еще раз выполняется обратная МА.

Мозговая атака с оценкой идей. Предназначена для решения сложных конструкторских задач и выполняется в три этапа.

Первый этап (первое совещание). Проводят прямую МА. Составленный общий список идей передается каждому участнику совещания. Каждый участник получает задание индивидуально (независимо от других) отобрать из общего списка от трех до пяти лучших идей с указанием их преимуществ. При этом разрешается добавлять свои новые идеи.

Второй этап (второе совещание). Каждый участник сообщает об отобранных им (или предложенных дополнительно) трех-пяти идеях с указанием их достоинств. По каждой идее проводится короткая (5—10 мин) МА в целях: выдвижения идей по улучшению предложенного варианта; выявления недостатков; выдвижения идей по устранению недостатков.

При этом одинаковые идеи повторно не обсуждаются.

В результате обсуждения составляют таблицу (табл. 31) положительно-отрицательной оценки идей.

Каждому участнику дается задание выбрать из таблицы независимо от других один или два наилучших варианта и представить по ним эскизы технического решения.

Третий этап (третье совещание). Обсуждаются представленные эскизы в целях ранжирования их от лучших к худшим. Составляются предложения с описанием наи-

Форма положительно-отрицательной оценки идей

Описание идей	Достоинства идей	Недостатки идей
1.	1.1. 1.2.	1.1. 1.2.
2.	2.1. 2.2.	2.1. 2.2.

лучших технических решений. При этом эскизы могут быть дополнительно проработаны и детализированы.

Принимается решение о проведении патентных исследований и составлении заявок на изобретение по патентно-способным техническим решениям, а также составления рационализаторских предложений.

ГЛАВА 9. МЕТОД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ

Нужен не только ученый, но и смысленный.

Русская пословица

Он (человек) творец, он создатель, он бог, человечество было сформировано не императорами, жрецами и полководцами, а теми, кто создал топор, колесо, самолет ..., кто открыл железо, полупроводники, радиоволны.

Д. Гранин

1. ЭВРИСТИЧЕСКИЙ ПРИЕМ

С давних времен перед человеком часто возникала следующая ситуация. Существующее орудие труда, станок, машина или оружие переставали удовлетворять новым требованиям или имели нетерпимые недостатки, которые требовалось исключить. Человек (конструктор) пытался найти улучшенное техническое решение путем *логического анализа* недостатков и их устранения или путем поиска и *приспособления аналогичного решения* в природе либо в другой области техники, или путем *случайных изменений* прототипа.

Все эти не очень систематизированные попытки поиска улучшенного решения называют методом «проб и ошибок». На основе этого древнего способа в 40—50-х годах возник метод эвристических приемов.

Рассмотрим сначала метод «проб и ошибок» на одном из многочисленных примеров решения задачи таким образом.

Задача Микулина. В начале XX века, когда началось активное освоение самолетов с двигателями внутреннего сгорания, большинство катастроф было связано с отказом магнето, «исчезновением искры» зажигания. В связи с этим возникла задача повышения надежности работы магнето.

Задачу эту после долгих мучительных поисков методом «проб и ошибок» решил юный А. Микулин, будущий академик, известный конструктор авиационных двигателей. Он шел по улице и увидел огромного мужика с сильно подбитым, заплывшим и ничего не видящим левым глазом. В это время и пришла догадка! Микулин сразу бросился бежать в гостиницу к знаменитому авиатору С. И. Уточкину, и между ними состоялся следующий разговор:

- У людей по два глаза, подбейте левый — правый будет видеть.
- Я никому не собираюсь подбивать глаза, — сказал Уточкин.
- На Вашей машине одно магнето — поставьте два!

— Прекрасная мысль! — сказал Уточкин. — За каждый благополучный показательный полет я буду платить тебе по 10 рублей. Показательные полеты тогда были платные. И Уточкин сдержал свое слово, посылая после каждого полета переводы.

Чем начинающий изобретатель отличается от опытного конструктора?

При успешном решении творческой инженерной задачи (ТИЗ) начинающий изобретатель всегда получает два результата: методический результат (изобретение способа решения интересующей его ТИЗ) и искомое техническое решение, полученное с помощью изобретенного способа.

Когда изобретатель встречается с новой ТИЗ, то в первую очередь пытается ее решить с помощью изобретенного им способа. Если это не удастся (поскольку встретился другой тип задачи), то изобретатель опять вынужден искать решение методом «проб и ошибок». При успешном решении он открывает для себя второй способ решения изобретательских задач. Так постепенно у человека формируется свой набор способов, и он из начинающего превращается в опытного изобретателя.

Такие способы или правила решения ТИЗ называют *эвристическими приемами* (ЭП), в которых содержится краткое предписание или указание, «как преобразовать» имеющийся прототип или «в каком направлении нужно искать», чтобы получить искомое решение. ЭП обычно не содержит прямого однозначного указания, как преобразовать прототип. Если ЭП имеет отношение к рассматриваемой ТИЗ, то он содержит «подсказку», которая облегчает получение искомого решения, однако не гарантирует его нахождения. Различным людям требуется приложить различные усилия, чтобы догадаться до искомого (удовлетворительного) технического решения.

Опытные изобретатели обычно имеют свой *индивидуальный набор* (фонд) ЭП.

Рассмотрим примеры решения ТИЗ с помощью ЭП.

Задача 1. В опытном образце прецизионного станка имеется винтовая пара подачи инструмента. При имеющихся размерах и усилиях для вращения вала подачи требуется момент 118 Н·м. Такое усилие вращения вызывает недопустимые деформации, и точность обработки деталей не выдерживается. Для обеспечения необходимой точности требуется в 3—4 раза снизить вращающий момент. Принцип подачи инструмента изменять нежелательно.

Используем ЭП 5.9 (см. прил. 2): «Заменить трение скольжения трением качения».

Решение. На валу и гайке делают винтовые пазы, которые заполняют шариками. Винтовая пара превращается в подшипник качения.

Задача 2. Снятие гипсовых повязок связано с двумя неудобствами: при распиливании повязки можно повредить тело; при разбивании причиняется боль и может быть повреждена слабо сросшаяся кость. Требуется изобрести способ, устраняющий указанные неудобства.

Для решения этой задачи подходят два ЭП.

Прием 3.6 (прил. 2): изменить направление действия рабочей силы или среды; прием 3.10 (прил. 2): заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на их доставку.

Решение. Для предупреждения травм и облегчения снятия повязки проволочную пилу помещают в предварительно смазанную подходящей смазкой трубку, выполненную, например, из полиэтилена, и заранее загипсовывают под повязку при ее наложении. Распиливать повязку можно от тела наружу.

Многие ЭП могут быть успешно использованы в самых различных областях техники. Они со временем морально не стареют и оказываются полезными для других изобретателей. Способы решения ТИЗ, открытые различными изобретателями, имеет смысл собирать, обобщать и обучать им начинающих изобретателей. Именно на этих свойствах основывается *метод эвристических приемов*, который интегрирует в методически доступной форме опыт многих изобретателей.

Метод эвристических приемов разработан и нашел широкое распространение в СССР. Известно около десяти его модификаций. Наиболее полное изложение дано в книгах [1, 2, 41], специальные подходы — в работах [4, 9, 18, 20, 26, 32].

2. МЕЖОТРАСЛЕВОЙ ФОНД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ

Метод эвристических приемов основывается на межотраслевом фонде ЭП. Этот фонд в нашей методике (см. прил. 2) содержит описания 180 отдельных ЭП, которые разделены на 12 групп (табл. 32).

Межотраслевой фонд ЭП имеет универсальный характер, т. е. ориентирован на самые различные области техники. Поэтому ЭП имеют обобщенное описание. В них под «объектами» подразумеваются ручные орудия и инструменты, станки, приборы, машины, аппараты, технологические процессы, комплексы станков и приборов и т. д., а также их детали, узлы, технологические операции и т. д. В некоторых ЭП наряду с объектом имеет

Группы эвристических приемов

Номер группы	Наименование группы	Число ЭП
1	Преобразование формы	16
2	Преобразование структуры	19
3	Преобразования в пространстве	16
4	Преобразования во времени	8
5	Преобразование движения и силы	14
6	Преобразование материала и вещества	23
7	Приемы дифференциации	12
8	Количественные изменения	12
9	Использование профилактических мер	22
10	Использование резервов	13
11	Преобразования по аналогии	9
12	Повышение технологичности	16
	Всего	180

смысл выделять части объекта, которые называют «элементами». К ним могут относиться детали, узлы, блоки, агрегаты, технологические операции и другие части объекта.

В конце описания многих ЭП в целях сокращения дается еще указание «Инверсия приема», по которому рекомендуется также производить обратное преобразование или искать в обратном направлении. Например, ЭП 1.2 (прил. 2) имел бы следующее полное описание: «сделать в объекте (элементе) отверстия и полости, исключить в объекте (элементе) отверстия и полости».

В любом межотраслевом или специализированном фонде ЭП после описания приема должно даваться 2—3 примера решения ТИЗ с помощью этого ЭП. В целях экономии места в нашем фонде описания ЭП даны без примеров применения. Для более углубленного изучения ЭП и в качестве учебного практикума рекомендуется самим подобрать (из истории техники или патентного фонда) примеры решения ТИЗ для каждого ЭП. В связи с этим приведем примеры для двух ЭП.

Примеры решения ТИЗ для ЭП 8.1.

1. В конце XVIII века опытами с вольтовым столбом (первым химическим источником тока для практического применения) занимались все подряд, даже короли. Русский академик В. В. Петров вместо

обычных десятков элементов сделал вольтов столб на 2100 элементов и получил качественно новое явление — электрическую дугу — непрерывный электрический свет большой интенсивности.

2. Струей воды до 10 МПа размывали грунт. Увеличение давления до 100 МПа позволило струей воды резать камень и металл.

Пример решения ТИЗ для ЭП 10.8.

ЭП 10.8 сформулировали супруги Лазаренко, которые много труда и времени затратили на поиск средств борьбы с разрушением электрических контактов от возникающей электрической искры. В итоге они сделали два попутных изобретения, нашедших широкое практическое применение:

искровую мельницу для измельчения (распыления) металла в порошок;

электроискровую обработку металлов.

Этот ЭП супруги Лазаренко еще много раз успешно использовали. В их редакции ЭП имеет следующее описание: «Нет в природе совершенно вредных явлений! Из каждого вредного фактора можно извлечь пользу».

В прил. 2 дан сокращенный межотраслевой фонд ЭП. Более полные фонды приведены в книгах [1, 41], где описаны соответственно 257 и 420 эвристических приемов. В книге [2] приведено описание 88 ЭП с примерами решения задач.

Ниже дан еще ряд примеров решения ТИЗ для приведенных в прил. 2 эвристических приемов.

Если опытный конструктор познакомится с межотраслевым фондом ЭП, то у него может создаться впечатление, что большинство приемов ему известно и они как будто ничего нового не дают. Однако вся сила фонда ЭП заключается в *системном всестороннем охвате* проблемы или задачи. Опытному конструктору (по сравнению с другим конструктором, имеющим фонд ЭП) потребуется несоизмеримо больше времени, чтобы вспомнить или додуматься до большинства приемов и подсказанных ими решений. Наряду с этим можно утверждать, что при всегда ограниченном времени решения ТИЗ некоторые ЭП так и не попадут в его поле зрения, т. е. фонд ЭП полезен не только для начинающих, но и для опытных изобретателей.

3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ЕЕ РЕШЕНИЕ

Можно выделить следующие шесть последовательных этапов в постановке и решении ТИЗ методом эвристических приемов.

1. При использовании метода ЭП можно ограничиться предварительной формулировкой задачи, изложенной в п. 1 гл. 7. Более глубокий и плодотворный

поиск решения с помощью метода ЭП осуществляют на основе *уточненной постановки задачи*, изложенной в п. 2 гл. 7.

2. Решение задачи начинается с выбора подходящих ЭП. Исходной информацией для этого являются:

конкретный прототип, который требуется улучшить;
главный недостаток прототипа, который необходимо устранить;

главное противоречие развития прототипа, которое требуется устранить.

Исходя из этой информации просматривают в табл. 32 наименования групп ЭП и отбирают (в основном по интуитивным соображениям) наиболее подходящие группы. В каждой из этих групп просматривают все ЭП и выбирают также по интуиции те ЭП, которые представляют интерес для рассматриваемой задачи.

Если выбор групп ЭП вызывает затруднения, то наиболее подходящие ЭП отбирают путем просмотра всего фонда.

В методе эвристических приемов не имеет смысла давать какие-либо формальные или полужформальные правила выбора наиболее подходящих ЭП для конкретной задачи. Если смотреть глубже, то выбор ЭП — это в принципе не формализуемая процедура. Лучше всего такой выбор интуитивно производит конструктор, решающий задачу, просматривая все подряд ЭП. На беглый просмотр знакомого фонда ЭП затрачивается мало времени — всего 5—10 мин. В связи с этим матрица Г. С. Альтшуллера [2], на составление которой затрачен громадный труд, не имеет большого смысла. Она не экономит время и часто не указывает ЭП, наиболее эффективные для решения конкретной задачи.

3. Преобразование прототипа начинают с помощью выбранных приемов. При этом фиксируют идеи улучшенных технических решений в виде короткого описания или (и) упрощенной схемы.

Следует заметить, что у межотраслевого фонда ЭП есть одно сильное свойство, которое называем *эвристической избыточностью*. Отметим две разновидности этого свойства. Во-первых, многие задачи могут быть решены независимо разными ЭП. Так, например, приведенная задача Микулина с установкой на самолете резервного магнето могла быть независимо решена с помощью ЭП 8.2, 9.15 или 11.2 (прил. 2).

Вторая разновидность эвристической избыточности состоит в том, что одновременное использование двух и более ЭП приводит к их взаимному усилению в смысле облегчения нахождения улучшенного технического решения. Так, в задаче Микулина одновременное использование указанных трех ЭП облегчает ее решение. Нередки также случаи, когда два и более ЭП по отношению к конкретной ТИЗ по отдельности имеют слабую эвристическую подсказку, но при одновременном их использовании они явно взаимно усиливают друг друга. Проиллюстрируем это на примере.

Задача Яблочкова. В 1875 г. русский изобретатель П. Н. Яблочков предложил электрическую свечу (дуговую лампу), в которой между концами двух угольных стержней (расположенных на одной прямой навстречу друг другу или под углом) образовалась электрическая дуга. Для поддержания этой дуги требовалось с некоторой постоянной скоростью сближать электроды по мере их сгорания. Это осуществлялось с помощью специального автоматического регулятора. Свеча Яблочкова быстро нашла практическое применение. Однако она имела существенный недостаток: регуляторы были сложными по конструкции и ненадежными, поскольку сгорание электродов по разным причинам было неравномерным.

Требовалось найти простое техническое решение, обеспечивающее надежную работу электрической свечи от двух электродов.

Для решения этой задачи подходят ЭП 3.1, 3.4, 3.7, 3.9 (прил. 2). Попробуйте с помощью этих приемов сами решить задачу.

П. Н. Яблочков решал эту задачу, по-видимому, методом «проб и ошибок». После долгих мучений и попыток он, сидя в одном из кафе Парижа, случайно увидел два рядом лежащих карандаша и сразу понял, что электроды нужно расположить рядом параллельно, разделив их выгорающим изоляционным материалом. При таком ТР вообще исключается сложный ненадежный регулятор. Указанные ЭП, по-видимому, помогли бы Яблочкову раньше додуматься до решения.

Таким образом, с помощью отдельных приемов и наборов ЭП получают множество улучшенных допустимых технических решений. Если при этом не удастся получить удовлетворительного улучшенного решения, то рекомендуется наиболее перспективный из найденных вариантов принять за прототип и снова повторить его обработку с помощью подходящих ЭП.

4. Следует напомнить, что множество улучшенных допустимых технических решений получено только с учетом главного недостатка или главного противоречия развития. В дальнейшем эти решения используются как прототипы для поиска новых улучшенных технических решений, учитывающих другие недостатки и противоречия развития. В результате получают новое множество улучшенных допустимых технических решений.

**Формы анализа последствий от нового
технического решения (ТР)**

Какие <i>отрицательные</i> последствия принесет новое ТР для вышестоящего по иерархии и смежных ТО?	Какие <i>положительные</i> последствия принесет новое ТР для вышестоящего по иерархии и смежных ТО?
1. 2.	1. 2.

5. Для найденных в п. 4 технических решений проводят анализ их совместимости со смежными и вышестоящими по иерархии ТО. При этом составляют табл. 33.

Сопоставительный анализ таких таблиц для разных улучшенных технических решений позволяет обоснованно выбрать наиболее эффективное из них. Для особо перспективных вариантов делаются попытки устранить нетерпимые отрицательные последствия. При этом могут быть использованы также метод эвристических приемов или методы мозговой атаки.

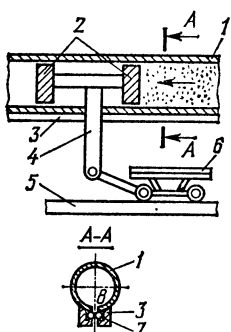
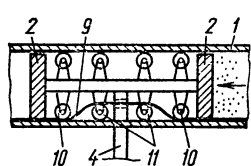
6. Работа по пп. 2—5 выполняется для всех прототипов, рекомендуемых в постановке задачи. В результате формируется достаточно полное множество улучшенных технических решений, из которого предстоит выбрать перспективные варианты для дальнейшей проработки. Такой выбор производится с учетом главных критериев развития и показателей, а также с точки зрения патентоспособности.

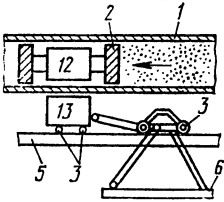
Дальнейшая проработка выбранных технических решений может быть проведена в соответствии с рекомендациями, данными в прил. 5 (этапы 5—7).

Следует отметить, что метод ЭП только повышает возможность получения допустимого улучшенного технического решения, но не гарантирует нахождение такого. И у разных пользователей этого метода (как и других эвристических методов) часто получаются разные результаты, что в большой мере зависит от приобретенных навыков и природных способностей.

Пример. Задача о модернизации пневмотранспорта в цехе. Постановка этой задачи дана в гл. 7. Будем рассматривать в качестве прототипа существующий пневмотранспорт. В этом прототипе должны быть устранены (или значительно снижены) следующие недостатки (в порядке их важности):

**Примеры идей при решении задачи создания
пневмотранспорта в цехе**

Номер ТР	Описание идеи ТР	Эскиз
1	<p>Внутри трубопровода 1 перемещается поршень-каретка 2. По всей длине трубы сделана щель 8, через которую пропущен прикрепленный к каретке рычаг 4, соединенный с катящейся по направляющим 3 грузовой платформой 6, на которую укладывают крупногабаритные детали. Щель в трубе закрывают две эластичные трубки 7, заполненные воздухом под давлением и находящиеся в направляющих 3. Рычаг скользит между трубками, которые смыкаются за ними, закрывая щель</p>	
2	<p>Решение отличается от решения по п. 1 тем, что грузовую платформу 6 можно сделать не на роликах, а на воздушной подушке, и подавать воздух из трубы 1</p>	<p align="center">—</p>
3	<p>Решение отличается от решений по пп. 1, 2 тем, что щель в трубе закрывается лентой 9, которая прижимается к трубе роликами 10, а в месте выхода рычага 4 через щель поднимается роликами 11. Лента прижимается воздухом внутри трубы, обеспечивая уплотнение щели</p>	

Номер ТР	Описание идеи ТР	Эскиз
4	Внутри трубы 1 поршень-каретка 2 имеет магнит 12, который взаимодействует с находящимся снаружи магнитом 13, свободно передвигающимся по направляющим 5 на роликах. Магнит 13 тянет за собой грузовую платформу 6	
5	Отличается от решения по п. 4 тем, что вместо роликов 3 грузовая платформа 6 и магнит 13 подвешены на монорельсе 5 с помощью воздушной подушки	—
6	Труба 1 используется как опора для монорельса и линейного электродвигателя, передвигающего грузовую платформу	—

- 1) затраты по замене трубопровода;
- 2) удары и трение деталей друг о друга и стенки трубы;
- 3) шум от трубопроводов;
- 4) зависимость от габаритных размеров деталей.

В целях экономии места будем выбирать подходящие ЭП с точки зрения всех недостатков. В табл. 32 наибольший интерес представляют группы 1, 2, 3, 5, 6, 8, 11. В этих группах представляют интерес следующие ЭП (прил. 2): 2.1, 2.6, 3.2, 3.10, 3.13, 3.16, 5.8, 5.13, 5.14, 6.6, 6.12, 6.14, 6.17, 8.3, 11.7. (Следует заметить, что на выбор групп и приемов оказала решающее влияние субъективная точка зрения автора, т. е. читатель может выбрать свои группы и приемы).

Попробуйте с помощью указанных ЭП получить улучшенные ТР или сами выберите ЭП и затем получите улучшенные ТР.

В табл. 34 приведены некоторые идеи решения этой задачи.

4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ФОНД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ

Межотраслевой фонд ЭП для отдельных пользователей (изобретателей) является «чужим» инструментом, малоудобным и малоприспособленным к конкретной творческой личности. В связи с этим каждому начинающему изобретателю и рационализатору рекомендуется работать над созданием индивидуального фонда ЭП, т. е. над созданием своего, более удобного и эффективного инструмента.

Можно дать следующие рекомендации по формированию индивидуального фонда ЭП.

1. Выбор из межотраслевого фонда (прил. 2) наиболее подходящих ЭП с учетом специфики решаемых задач (области техники, в которой работает изобретатель) и своих симпатий к определенным ЭП. При этом возможно и желательно изменить форму изложения ЭП, сделать ее более понятной, образной, эмоционально насыщенной и ориентированной на интересующий класс задач. ЭП должен возбуждать и активизировать мышление. Например, для ЭП 8.9 возможна следующая редакция: «Создать гиганта или карлика! И найти ему применение»; для ЭП 10.8 — «Обратить вред в пользу!» и т. д.

2. Подбор для каждого ЭП в индивидуальном фонде примеров решения ТИЗ из своей области или функционально близких областей. Такие примеры даны выше для ЭП 1.3, 3.1, 3.4, 3.6, 3.7, 3.9, 3.10, 5.9, 8.1, 8.2, 9.15, 10.8, 11.2. При подборе примеров следует иметь в виду, что они должны играть двойную роль. Во-первых, это аналогичная решенная задача, помогающая плодотворно использовать ЭП при решении новой задачи. Во-вторых, пример может быть использован как готовое или полуготовое решение в рассматриваемой задаче. Вероятность таких случаев может быть высокой, поскольку примеры берутся из своей или близких областей техники.

3. Разбор и анализ последних решенных задач и запатентованных технических решений в своей области и функционально близких областях. Особое внимание следует обращать на новые образцы техники на уровне лучших мировых достижений. При этом тщательно изучают моменты перехода от прототипа к улучшенным техническим решениям и *формулируют новые обобщенные ЭП,*

подбирают более удачные примеры решения ТИЗ, прототипы и другую полезную информацию. В результате такой работы происходит расширение и обогащение индивидуального фонда ЭП.

Таким анализом и обработкой новых технических решений нужно заниматься так же регулярно, как спортсмены ходят на тренировки, музыканты поддерживают свою форму ежедневной (или три раза в неделю) игрой на инструментах, и т. д. Ведь изобретательство не менее увлекательное занятие!

4. Изучение конструктивной эволюции ТО для выявления и формулировки эффективных ЭП, ориентированных на интересующий класс изделий или технологий, и подбора для них интересных примеров решения ТИЗ. Методика и примеры выявления и формулировки объектно или проблемно ориентированных ЭП даны в гл. 4.

5. Существует также интересный и эффективный способ [28] оперативной формулировки ЭП для решения конкретной ТИЗ. Суть способа состоит в том, что для имеющегося прототипа P_k по патентным описаниям строят ретроспективно цепочку конструктивной эволюции

$$P_{k-3} \rightarrow P_{k-2} \rightarrow P_{k-1} \rightarrow P_k,$$

где P_{k-1} — это прототип для технического решения P_k ; P_{k-2} — прототип для P_{k-1} и т. д. Далее проводят анализ переходов $(P_{k-1} \rightarrow P_k)$, $(P_{k-2} \rightarrow P_{k-1})$, ... и формулируют обобщенные ЭП, обеспечивающие такие переходы. Полученные ЭП используют для получения новых решений P_{k+1} от прототипа P_k .

6. Обобщение опыта. После каждого удачного решения ТИЗ изобретатель должен обобщить свой опыт, т. е. рассмотреть возможность формулировки нового ЭП на основе решенной задачи или возможность ее использования как примера в каком-либо ЭП.

Наряду с созданием индивидуального фонда ЭП представляется полезным формирование фонда прототипов по своему классу ТИЗ. В качестве прототипов в первую очередь рекомендуется брать существенно отличающиеся наиболее перспективные технические решения, изделия на уровне лучших мировых образцов.

Дополнительные рекомендации и примеры формирования индивидуальных фондов ЭП даны в книгах [1, 20, 41].

ГЛАВА 10. МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Всякое развитое машинное устройство состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец машины-орудия, или рабочей машины.

К. Маркс, Ф. Энгельс

Ты двадцать раз разрушишь это здание
И сорок раз перечеркнешь чертеж.
Но все-таки уменьем и старанием
Все до конца, как надо, доведешь.

М. Дудин

1. МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КОМБИНАТОРИКА

Метод морфологического анализа и синтеза был разработан в 30-х годах швейцарским астрономом Ф. Цвикки для конструирования астрономических приборов. Первое весьма результативное практическое применение метода было продемонстрировано в 1942 г. в США Ф. Цвикки в авиационной фирме, где он в короткое время получил несколько десятков новых технических решений ракетных двигателей и ракет, среди которых, как оказалось позже, были предложены решения, повторяющие немецкие ракеты ФАУ-1, ФАУ-2.

Рассматриваемый морфологический метод основан на комбинаторике. Суть его состоит в том, что в интересующем изделии или объекте выделяют группу основных конструктивных или других признаков. Для каждого признака выбирают альтернативные варианты, т. е. возможные варианты его исполнения или реализации. Комбинируя их между собой, можно получить множество различных решений, в том числе представляющих практический интерес.

Например, для изделия «нож» в табл. 35 приведен перечень признаков и альтернативных вариантов. Если из каждой строки этой таблицы взять по одному варианту, то получим некоторую конструкцию ножа. Так, для сочетания вариантов (1.1, 2.3; 3.3; 4.2; 5.1), где в каждой паре первая цифра обозначает номер строки, а вторая — номер столбца, получим конструкцию ножа: «лезвие из металла, рукоятка — пластмассовая, форма лез-

**Морфологическая таблица на изделие
«Нож для резания пищевых продуктов»**

Номер строки	Признаки	Альтернативные варианты (номер столбца)				
		1	2	3	4	5
1	Материал лезвия	Металл	Камень	Кость	Пласт-масса	Луч электронов
2	Материал рукоятки	Дерево	Кость	Пласт-масса	Металл	Металл и кожа
3	Форма лезвия	Удлиненный прямоугольник	Кривая вытянутая	Треугольник	Круглая	—
4	Безопасность хранения	Открытое лезвие	Лезвие в чехле	Лезвие в рукоятке	—	—
5	Выполняемые дополнительные функции	Распиливает твердые тела	Открывает металлические пробки бутылок	Выворачивает шурупы	Отворачивает гайки M12	Открывает замок

вия — треугольная, лезвие в чехле, дополнительная функция ножа — распиливание твердых тел».

Число возможных конструкций ножа в табл. 35 трудно подсчитать. Оно будет равно произведению чисел вариантов в каждой строке, т. е. $5 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5 = 1500$.

Из рассмотренного примера видно, что суть метода заключается в построении морфологической таблицы, заполнении ее возможными альтернативными вариантами и в выборе из всего множества получаемых комбинаций наиболее подходящих и наилучших решений.

Морфологические методы в 50—60-е годы нашли широкое распространение в США, Западной Европе, а также в нашей стране. Ф. Цвикки разработал несколько модификаций своего метода. Одна из таких модификаций представлена в морфологической табл. 36, разработанной У. Г. Зиннуровым. Эта таблица содержит более 3 млн. (!) различных технологических принципов обработки металлов.

В настоящей главе изложена наиболее распространенная модификация метода Цвикки, основанная на функцио-

Морфологическая модель технологических принципов

Классификационный признак		Альтернативные значения классификационных признаков	
Но- мер	Наименование	Но- мер	Наименование
01	Вид изменения (преобразования) состояния вещества исходного предмета труда (заготовки)	01	Изменение формы веще- ства
		02	Изменение объема веще- ства
		03	Изменение свойств ве- щества
		04	Изменение формы и объема вещества
		05	Изменение формы и свойств вещества
		07	Изменение формы, объе- ма и свойств
02	Вид агрегатного со- стояния вещества исходного предмета, удаляемого в процес- се преобразования	01	Твердое
		02	Расплавленное
		03	Ионизированное
		04	Текучее
		05	Химически связанное
		06	Удаляемое вещество от- сутствует
03	Физико-химический эффект, лежащий в основе процесса пре- образования	01	Диффузия
		02	Эрозия
		03	Анодное растворение
		04	Гидравлический удар
		05	Консолидация (спека- ние)
		06	Электролиз растворов (расплавов)
04	Вид энергии реали- зации физико-химиче- ского эффекта	01	Тепловая
		02	Механическая
		03	Потенциальная
		04	Электрическая
		05	Химическая
		06	Ядерная
		07	Излучения
05	Характер подвода и распределения энергии в процессе преобразо- вания	01	Точечный
		02	Линейный
		03	Поверхностный

Классификационный признак		Альтернативные значения классификационных признаков	
Но- мер	Наименование	Но- мер	Наименование
06	Характер действия энергии во времени	01 02	Непрерывное Прерывистое (импульсное)
07	Вид физического состояния рабочей среды	01 02 03 04 05	Жидкое Газообразное Твердое Вязкое (текучее) Вакуум
08	Вид физического состояния инструмента	01 02 03 04	Твердое Жидкое Газообразное Вязкое (текучее)
09	Вид движения инструмента в процессе преобразования	01 02 03 04	Вращательное Поступательное Вращательно-поступательное Неподвижное
10	Вид движения предмета труда в процессе преобразования	01 02 03 04	Вращательное Поступательное Вращательно-поступательное Неподвижное

нальном подходе. В качестве признаков берутся функции элементов (узлов, деталей) рассматриваемого ТО, а в качестве альтернативных вариантов — различные способы реализации каждой функции.

Ниже подробно рассмотрено использование морфологического подхода к поиску улучшенных ТО. Однако не представляет особых затруднений использование изложенного метода и для поиска улучшенных технологических процессов или материалов (веществ). В связи с этим в п. 1 гл. 2 даны рекомендации по построению исходной функциональной структуры.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПОСТРОЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Постановка задачи поиска улучшенного технического решения с помощью морфологического метода выполняется в соответствии с п. 1 гл. 7. В дополнение к этому выбирают критерий качества, т. е. такой наиболее важный количественный показатель или параметр, с помощью которого из двух или нескольких допустимых вариантов технического решения выбирают наилучший. Допустимыми называют такие варианты решений, которые удовлетворяют основным требованиям. За критерий качества обычно принимают какой-либо критерий развития (см. гл. 3) или другие наиболее важные показатели.

Построение конструктивной ФС прототипа выполняется в соответствии с п. 1 гл. 2 и п. 2 гл. 7 (операция 6).

Т а б л и ц а 37

Функции индивидуального дома

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_1	Стены	Φ'_1 Φ''_1 Φ'''_1	Защита людей (V_1) от ветра (V_2) Снижение теплообмена между воздухом снаружи (V_3) и внутри (V_4) Передача действия массы перекрытия (E_2) и крыши (E_3) на цоколь и фундамент (E_5)
E_2	Верхнее перекрытие	Φ'_2 - Φ'_1 Φ''_2 - Φ''_1	
E_3	Крыша	Φ_3	Защита перекрытия (E_2) и стен (E_1) от осадков (V_3)
E_4	Пол	Φ'_4 - Φ'_1 Φ''_4	Образование горизонтальной твердой плоской поверхности на уровне низа стен (E_1)
E_5	Цоколь и фундамент	Φ'_5 Φ''_5	Передача действия массы на грунт основания (V_7) Снижение теплообмена между наружным воздухом (V_3) и полом (E_4)
E_6	Печь	Φ_6	Обогревание внутреннего воздуха (V_4)

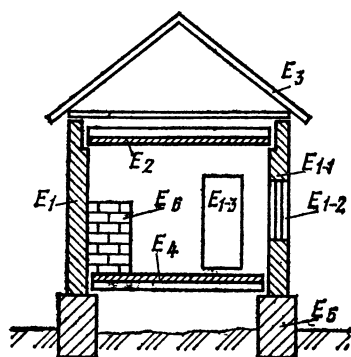


Рис. 40. Индивидуальный дом в разрезе

Таблица 38

Функции стены дома

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_{1-1}	Глухая часть стены	$\Phi'_{1-1}-\Phi'_1$ $\Phi''_{1-1}-\Phi''_1$ $\Phi'''_{1-1}-\Phi'''_1$	Защита людей (V_1) от ветра (V_2) Снижение теплообмена между воздухом снаружи (V_5) и внутри (V_4) Передача действия массы перекрытия (E_2) и крыши (E_3) на цоколь и фундамент (E_5)
E_{1-2}	Окно	Φ'_{1-2} Φ''_{1-2}	Обеспечение достаточно-го доступа дневного света (V_6) в ограниченное пространство (V_4) Обеспечение видимости наружного пространства (V_5) из ограниченного пространства (V_4)
E_{1-3}	Дверь	Φ_{1-3}	Обеспечение быстрого образования и закрывания проемов в стене (E_1)
E_{1-4}	Вертикальные стыки	Φ_{1-4}	Обеспечение плотного сопряжения между стенами (E_1)
E_{1-5}	Горизонтальные стыки	Φ_{1-5}	Обеспечение плотного сопряжения стен (E_1) с верхним перекрытием (E_2) и полом (E_4)

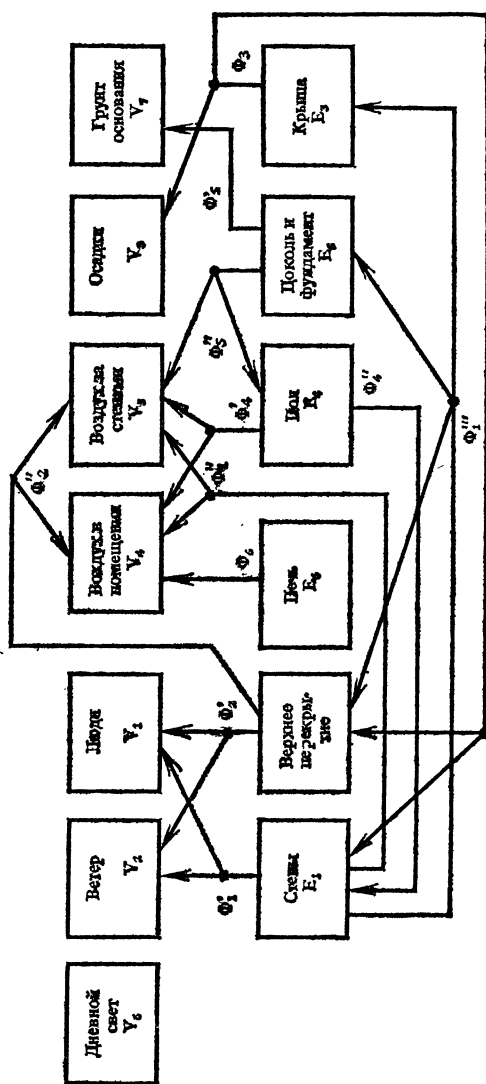


Рис. 41. Конструктивная ФС индивидуального дома

Следует иметь в виду, что число элементов, на которые разделяют ТО, должно быть не менее трех, но не более десяти. В результате для каждого прототипа получают одну или несколько ФС. При этом можно использовать и составлять самим каталог ФС для интересующего класса ТО.

Приведем еще один пример построения ФС прототипа.

Пример. Анализ функций индивидуального дома (рис. 40).

Функция дома: защищать людей от ветра и осадков и создавать комфортную температуру в ограниченном объеме.

Объекты окружающей среды: V_1 — люди; V_2 — ветер; V_3 — осадки; V_4 — воздух в помещении; V_5 — воздух за стенами помещения; V_6 — дневной свет; V_7 — грунт основания.

Если функция какого-либо элемента совпадает с уже описанной функцией, то повторно эту функцию можно не описывать, а указать на равенство с уже описанной (как, например, в табл. 37 указано $\Phi'_2 = \Phi'_1$ или $\Phi'_4 = \Phi'_1$).

Достоинство морфологического метода заключается в том, что он позволяет любой элемент в ФС рассмотреть как отдельный ТО, т. е. разделить его на свои функциональные элементы и построить для него ФС. Обычно это делают в тех случаях, когда наряду с улучшением ТО в целом специально рассматривают задачу улучшения какого-либо элемента. При этом появляются дополнительные конструктивные ФС для последующего рассмотрения. В табл. 38 дан пример дополнительной ФС для элемента «стена».

Функциональная структура дома, соответствующая табл. 38, показана на рис. 41. Для дома и стены не вызовет затруднений построение других улучшенных конструктивных ФС в соответствии с рекомендациями п. 2 гл. 7 (операция б). Например, путем совмещения функций крыши (E_3) и верхнего перекрытия (E_2) или окна (E_{1-2}) и глухой части стены (E_{1-1}) можно уменьшить число функциональных элементов и т. д.

При построении ФС рекомендуется использовать закон соответствия между функцией и структурой и относящиеся к нему закономерности (см. п. 3 гл. 5).

3. СОСТАВЛЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТАБЛИЦ

Заготовка формуляра таблицы. Морфологическую таблицу строят на основе конструктивной ФС. Она состоит из нескольких столбцов, число которых обычно равно числу функциональных элементов. Заглавиями столбцов являются описания функций элементов. Пример формуляра морфологической таблицы показан в табл. 39. При заготовке формуляра таблицы иногда удобнее в заглавиях столбцов наряду с обозначениями функций давать их описания, как это сделано в табл. 40.

В формуляре морфологической таблицы функции Φ_i лучше располагать в таком порядке, чтобы наиболее

Морфологическая таблица возможных индивидуальных домов

$\Phi_1', \Phi_1'', \Phi_1'''$	Φ_2', Φ_2''	Φ_3	Φ_4', Φ_4''	Φ_5', Φ_5''	Φ_6
A_1^1 — деревянный сруб с окнами	A_3^1 — доски, засыпанные опилками или мхом	A_4^1 — стропила с обрешеткой, покрытой жстью	A_5^1 — деревянные доски	A_6^1 — поколь и фундамент из каменной кладки	A_7^1 — печь для твердого топлива
A_1^2 — кирпичные стены с окнами	A_3^2 — железобетонная плита, покрытая стекловатой	A_4^2 — то же, покрытой шифром	A_5^2 — деревянная плита на грунтобетонном основании	A_6^2 — поколь и фундамент из кирпичной кладки	A_7^2 — печь для жидкого топлива
A_1^3 — стены из блок-стекла с несущим каркасом	A_3^3 — «надувной матрас»	A_4^3 — то же, покрытой камышом	A_5^3 — деревянные доски, покрытые ковровой тканью	A_6^3 — поколь и фундамент из бетона	A_7^3 — печь для газового топлива
A_1^4 — железобетонные панели с окнами	A_3^4 — две натянутые на каркас пленки	A_4^4 — асфальтовое покрытие	A_5^4 — «надувной матрас»	A_6^4 — свайный фундамент без цоколя	A_7^4 — камин

$\Phi_1, \Phi_1'', \Phi_1'''$	Φ_2, Φ_2''	Φ_3	Φ_4, Φ_4''	Φ_5, Φ_5''	Φ_6
A_1^5 — стены из двух прозрачных пленок, натянутых на каркас	A_3^5 — сетка, покрытая стекловатой	A_4^5 — пленочное покрытие	A_5^5 — толстая пиновка из камина	A_6^5 — без пола и фундамента	A_7^5 — химический реактор с большим тепловыделением
A_1^6 — надувные стены с окнами	A_3^6 — без покрытия	A_4^6 — асбестоцементный короб	...	...	A_7^6 — электрические батареи
A_1^7 — стены из пенопласта с несущим каркасом и окнами	...	...	...	...	A_7^7 — тепловые трубки, передающие геотермальную теплоту

Т а б л и ц а 40

Морфологическая таблица возможного оборудования комнат (кабинетов) для умственной творческой работы

Φ_1 — обеспечение хранения и оперативного получения известных необходимых знаний	Φ_2 — обеспечение генерирования, фиксирования и редактирования новой информации	Φ_3 — повышение производительности в процессе работы	Φ_4 — снятие усталости в перерывах
<p>A_1^1 — шкафы или стеллажи с систематически расположенными книгами или материалами</p> <p>A_1^2 — микрофильмы или аппаратура</p> <p>A_1^3 — телетайп или телефон для вызова и просмотра на экране дисплея любой книги из библиотеки</p> <p>A_1^4 — диалоговый терминал, соединенный с объектно или проблемно ориентированным банком знаний, обеспечивающий обработку и преобразование информации в более удобную форму</p> <p>Комбинация (A_1^1, A_1^2), (A_1^1, A_1^3), (A_1^2, A_1^4)</p>	<p>A_2^1 — стол с пишущими принадлежностями</p> <p>A_2^2 — конторка для работы стоя</p> <p>A_2^3 — доска с мелом и губкой</p> <p>A_2^4 — магнитофон</p> <p>A_2^5 — пишущая машинка</p> <p>A_2^6 — магнитная доска с набором букв, слов, символов, схем</p> <p>A_2^7 — дисплей и другие диалоговые терминалы ЭВМ с объектно и проблемно ориентированным программным обеспечением и выдачей твердых копий полученного результата</p> <p>A_2^8 — то же, с программой искусственного интеллекта (A_2^1, A_2^2, A_2^3), (A_2^1, A_2^4, A_2^5)</p>	<p>A_3^1 — картины, скульптуры</p> <p>A_3^2 — аквариум</p> <p>A_3^3 — музыкальные записи</p> <p>A_3^4 — цветы</p> <p>A_3^5 — устройства для регулирования температуры, влажности, запаха</p> <p>A_3^6 — собака</p> <p>A_3^7 — камин</p> <p>A_3^8 — фонтан</p> <p>A_3^9 — автоматический меняющийся цветные слайды</p> <p>Комбинация (A_3^1, A_3^2), (A_3^1, A_3^3, A_3^4)</p>	<p>A_4^1 — кушетка</p> <p>A_4^2 — стационарный велосипед, гантели и другие спортивные снаряды</p> <p>A_4^3 — душ или ванна</p> <p>A_4^4 — киноаппарат с короткометражными фильмами</p> <p>A_4^5 — гончарный круг и глина</p> <p>A_4^6 — особые цветочные музыкальные записи</p> <p>A_4^7 — кофе</p> <p>A_4^8 — инструмент и материал для столярных работ</p> <p>A_4^9 — пасьянсы</p> <p>карты</p> <p>A_4^{10} — музыкальный инструмент</p>

конструктивно связанные элементы E_i находились по возможности в соседних столбцах.

В процессе подготовки формуляра оценивают возможность и целесообразность заполнения альтернативными вариантами каждого столбца. Это связано с тем, что часто встречаются случаи, когда в ФС прототипа некоторые функциональные элементы или нельзя заменять альтернативными, или не имеет смысла их изменять. Для таких элементов (функций) в морфологической таблице не предусматривают отдельных столбцов.

Морфологическую таблицу иногда целесообразно строить не на основе ФС конкретного прототипа, а на основе обобщения ряда прототипов, выделяя в них характерные функциональные элементы и формулируя для них обобщенные функции, которые становятся заглавиями столбцов морфологической таблицы. Такой пример приведен в табл. 40, где приведены функции элементов комнаты (кабинеты) для умственной творческой работы ученого, конструктора-изобретателя, рационализатора, студента, писателя и т. п.

Заполнение морфологической таблицы. Альтернативные варианты исполнения или реализации функций в столбце будем обозначать через A_i^k , где i — порядковый номер столбца-функции ($i = 1, 2, \dots$); k — порядковый номер альтернативного варианта в i -ом столбце ($k = 1, 2, \dots$).

В морфологическую таблицу сначала вносят элементы прототипа. Затем записывают возможные наиболее интересные и эффективные варианты. При этом могут быть использованы:

- собственные знания и результаты опроса специалистов;
- справочники и энциклопедии;
- словари технических функций;
- международный классификатор изобретений и патентные описания по интересующим рубрикам;
- каталоги выставок для поиска технических решений элементов, соответствующих уровню лучших мировых образцов.

При заполнении столбцов альтернативными вариантами рекомендуется использовать методы мозговой атаки и метод эвристических приемов. В последнем случае для каждого элемента с помощью эвристических приемов ищут улучшенные варианты его модификаций.

Замечание. Некоторые элементы в прототипе могут иметь несколько реализуемых функций (см. табл. 39). Для этих полифункциональных элементов при заполнении столбцов таблицы может оказаться затруднительным подбирать альтернативные варианты. В таких случаях вместо одного столбца (элемента) можно ввести два и более столбцов с альтернативными элементами, выполняющими меньшее число функций.

Выявление эффективных комбинаций альтернативных вариантов, принадлежащих одному столбцу. В каждом столбце путем объединения двух и более альтернативных вариантов выявляют эффективную (взаимоусиливающую) комбинацию со следующим свойством: она в значительно большей мере устраняет какой-либо недостаток (недостатки) или улучшает критерий качества, чем отдельные альтернативные варианты.

Такие эффективные комбинации записывают в столбец в качестве дополнительных альтернативных вариантов. Так, например, табл. 40 можно дополнить следующими альтернативами: для реализации $\Phi_1 — (A_1^1, A_1^2), (A_1^1, A_1^5)$ и др.; для $\Phi_2 — (A_2^1, A_2^2, A_2^5), (A_2^1, A_2^6, A_2^8)$ и др.; для $\Phi_3 — (A_3^1, A_3^3, A_3^7)$ и др.

Если описания альтернативных вариантов в морфологической таблице недостаточно ясны, то для них выполняются графические эскизы или даются на отдельном листе дополнительные комментарии.

4. ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Определение числа возможных ТР. Выбрать из морфологической таблицы наиболее приемлемые или эффективные комбинации ТР нелегко из-за большого числа комбинаций. Поэтому сначала оценивают число возможных вариантов ТР, которые можно получить (синтезировать) на основе морфологической таблицы:

$$N = n_1 \cdot n_2 \dots n_m, \quad (18)$$

где n — число альтернативных вариантов в столбце; m — число столбцов.

По этой формуле число возможных вариантов ТР в табл. 39 составляет $N = 7 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 7 = 44100$.

Сокращение числа альтернативных вариантов в столбцах и числа столбцов. Наиболее эффективные ТР из множества всех возможных вариантов можно выбрать путем последовательного сокращения этого множества за счет отбрасывания наименее эффективных и наименее перспек-

Абстрактная
морфологическая таблица Таблица 41

Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
A_1^1 A_1^2 A_1^3 A_1^4	A_2^1 A_2^2 A_2^3	A_3^1 A_3^2 A_3^3 A_3^4 A_3^5	A_4^1	A_5^1 A_5^2

Комбинация из
двух элементов Таблица 42

	A_1^1	A_2^1
A_4^1	$A_4^1 A_1^1$	$A_4^1 A_2^1$

тивных ТР. Первое сокращение проводят для выполнения неравенства $N \leq N_{об}$, где N вычисляется по фор-

муле (18); $N_{об}$ — некоторое обозримое число возможных вариантов ТР. Для относительно простых технических объектов, для которых сравнение двух любых вариантов ТР занимает в среднем не более 10 с, можно принять $N_{об} = 10\,000$. Для сложных объектов $N_{об} = 1000$. Если по формуле (18) получают $N > N_{об}$, то в каждом столбце проводят сравнительный анализ альтернативных вариантов для выявления среди них наилучших и наихудших по степени удовлетворения основным требованиям, по степени снижения недостатков прототипа и улучшения его критериев качества. Отбрасывая наихудшие альтернативные варианты в каждом столбце, можно добиться $N \leq N_{об}$.

Другой путь уменьшения числа N заключается в сокращении числа столбцов в морфологической таблице. При этом среди всех столбцов (функциональных элементов) выделяют главные, или основные, которые решающим образом влияют на эффективность и качество изделия, а также самые второстепенные и малозначащие функциональные узлы, которые можно исключать.

Сокращение множества возможных вариантов ТР путем исключения наихудших комбинаций элементов. В морфологической таблице, имеющей $N \leq N_{об}$, можно последовательно по разным правилам синтезировать (составлять) варианты ТР и сравнивать их между собой для выбора наилучших. Однако такой способ, несмотря на его простоту, является весьма трудоемким. Поэтому здесь предлагается более экономная процедура сокращения числа вариантов.

При выполнении этой процедуры образуют различные альтернативные комбинации из нескольких элементов и исключают из них наихудшие. К наихудшим относятся нереализуемые или несовместимые комбинации, трудно реализуемые и наиболее дорогие по затратам комбинации,

Сокращение комбинаций из
трех элементов

Таблица 43

	A_1^1	A_1^2	A_1^3
$A_1^1 A_1^1 A_1^1$	$A_1^1 A_1^1 A_1^1$	$A_1^1 A_1^1 A_1^1$	$A_1^1 A_1^1 A_1^1$
$A_1^1 A_1^1 A_1^2$	$A_1^1 A_1^1 A_1^2$	$A_1^1 A_1^1 A_1^2$	$A_1^1 A_1^1 A_1^2$
$A_1^1 A_1^1 A_1^3$	$A_1^1 A_1^1 A_1^3$	$A_1^1 A_1^1 A_1^3$	$A_1^1 A_1^1 A_1^3$
$A_1^1 A_1^2 A_1^1$	$A_1^1 A_1^2 A_1^1$	$A_1^1 A_1^2 A_1^1$	$A_1^1 A_1^2 A_1^1$
$A_1^1 A_1^2 A_1^2$	$A_1^1 A_1^2 A_1^2$	$A_1^1 A_1^2 A_1^2$	$A_1^1 A_1^2 A_1^2$
$A_1^1 A_1^2 A_1^3$	$A_1^1 A_1^2 A_1^3$	$A_1^1 A_1^2 A_1^3$	$A_1^1 A_1^2 A_1^3$
$A_1^1 A_1^3 A_1^1$	$A_1^1 A_1^3 A_1^1$	$A_1^1 A_1^3 A_1^1$	$A_1^1 A_1^3 A_1^1$
$A_1^1 A_1^3 A_1^2$	$A_1^1 A_1^3 A_1^2$	$A_1^1 A_1^3 A_1^2$	$A_1^1 A_1^3 A_1^2$
$A_1^1 A_1^3 A_1^3$	$A_1^1 A_1^3 A_1^3$	$A_1^1 A_1^3 A_1^3$	$A_1^1 A_1^3 A_1^3$

Сокращение комбинаций из
четырех элементов

Таблица 44

	A_1^1	A_1^2	A_1^3	A_1^4
$A_1^1 A_1^1 A_1^1 A_1^1$		$A_1^1 A_1^1 A_1^1 A_1^1$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^1 A_1^2$		$A_1^1 A_1^1 A_1^1 A_1^2$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^1 A_1^3$		$A_1^1 A_1^1 A_1^1 A_1^3$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^1 A_1^4$		$A_1^1 A_1^1 A_1^1 A_1^4$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^2 A_1^1$		$A_1^1 A_1^1 A_1^2 A_1^1$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^2 A_1^2$		$A_1^1 A_1^1 A_1^2 A_1^2$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^2 A_1^3$		$A_1^1 A_1^1 A_1^2 A_1^3$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^2 A_1^4$		$A_1^1 A_1^1 A_1^2 A_1^4$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^3 A_1^1$		$A_1^1 A_1^1 A_1^3 A_1^1$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^3 A_1^2$		$A_1^1 A_1^1 A_1^3 A_1^2$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^3 A_1^3$		$A_1^1 A_1^1 A_1^3 A_1^3$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^3 A_1^4$		$A_1^1 A_1^1 A_1^3 A_1^4$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^4 A_1^1$		$A_1^1 A_1^1 A_1^4 A_1^1$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^4 A_1^2$		$A_1^1 A_1^1 A_1^4 A_1^2$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^4 A_1^3$		$A_1^1 A_1^1 A_1^4 A_1^3$		
$A_1^1 A_1^1 A_1^4 A_1^4$		$A_1^1 A_1^1 A_1^4 A_1^4$		

а также комбинации, в наименьшей мере устраняющие недостатки прототипа или улучшающие критерий качества и т. п. Опишем эту процедуру, используя абстрактный пример (абстрактную морфологическую табл. 41).

1. В исходной морфологической табл. 41 выбираем два столбца, имеющие наименьшее число альтернативных вариантов, и образуем из их элементов все возможные парные комбинации (табл. 42). Пусть в нашем абстрактном примере обе комбинации — допустимые и равноценные, потому ни одну из них не относим к наихудшим и не исключаем.

2. Выбираем из табл. 41 следующий столбец с наименьшим числом альтернатив — столбец Φ_2 . С помощью вариантов этого столбца и допустимых комбинаций из табл. 42 образуем все возможные комбинации из трех элементов (табл. 43). Сравнительный анализ этих комбинаций позволил три из них отнести к наихудшим и исключить.

3. Выбираем из табл. 41 — следующий столбец с наименьшим числом альтернатив — столбец Φ_1 , и с помощью оставшихся допустимых комбинаций из табл. 43 образуем все возможные комбинации из четырех элементов (табл. 44). Поскольку комбинации легко образуются мысленно, то их не обязательно выписывать в клетках таблицы. В табл. 44 на основе сравнительного анализа зачеркнуты клетки с наихудшими комбинациями.

По аналогии с пп. 1—3 образуем таблицы вариантов до последнего столбца, имеющего наибольшее число альтернатив. В последней таблице (после исключения наихудших) остается множество допустимых вариантов ТР. Если допустимых вариантов окажется довольно много, то проводят сокращение по дополнительным наиболее важным показателям (надежность, расход энергии или дефицитных материалов, трудоемкость и т. д.).

Выбор наиболее эффективных вариантов ТР. Множество допустимых вариантов ТР, полученное после сокра-

Сравнительная оценка вариантов

Показатели сравнения	Варианты ТР		
	S_1	S_2	S_3
Затраты меди, кг	26,2	21,5	34,0
Трудоемкость сборки	Высокая	Средняя	Низкая
КПД	0,89	0,92	0,94
Внешний вид	Некрасивый	Красивый	Удовлетворительный

щения множества возможных вариантов ТР путем исключения наихудших комбинаций элементов, упорядочивают по критерию качества от лучших к худшим. При равных или близких значениях критерия качества в упорядочиваемых вариантах учитывают степень устранения недостатков в прототипе. После упорядочивания выбирают 3—5 наиболее эффективных вариантов ТР для дальнейшей проработки.

Если упорядочение и выбор наиболее эффективных вариантов ТР вызывает затруднения, то рекомендуется воспользоваться таблицей сравнения вариантов, в которой дается обзорная сравнительная расчетно-экспертная оценка вариантов. Фрагмент такой сравнительной оценки для одного аппарата приведен в табл. 45.

Оформление предварительных эскизов ТР и их описание. Для выбранных выше вариантов дают краткое их описание с приведением схем и эскизов, как это принято в патентных описаниях.

После составления предварительных эскизов проводят более детальную конструкторскую проработку найденных ТР с учетом дополнительного списка требований (надежность работы, удобство обслуживания, трудоемкость изготовления, расход энергии и дефицитных материалов, общая стоимость и т. д.). При этом отдельные наиболее важные и сложные элементы могут быть рассмотрены и проработаны по данной методике в соответствии с рекомендациями, приведенными выше.

Дополнительные рекомендации по дальнейшей проработке полученных ТР даны в прил. 5 (этапы 5—7).

Замечание 1. Если в морфологической табл. 41 полифункциональные элементы выполняют одновременно не-

сколько функций, то для них иногда целесообразно составлять отдельно наборы альтернативных средств реализации каждой функции или меньшего числа функций. После этого для получения более эффективных вариантов ТР нужно попробовать заменить полифункциональные элементы на элементы, реализующие отдельные функции или меньшее число функций.

Замечание 2. При решении задач методом морфологического анализа и синтеза часто имеет большой практический смысл использовать только готовые элементы. В этих случаях морфологическая таблица заполняется наименованиями только стандартных, унифицированных и серийно производимых элементов, для которых известны такие показатели, как стоимость, масса и т. д. Синтезируемые в этой таблице допустимые варианты, как правило, легко и быстро изготавливаются и осваиваются на практике. Наилучший вариант легко выбирать по суммарным показателям стоимости, массы и т. п.

5. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

В настоящем примере пп. 1—4, 6 выполнены в соответствии с операциями 1—4, изложенными в гл. 7, а пп. 7, 8 — в соответствии с п. 4 настоящей главы.

1. Описание проблемной ситуации. Описание выполняется по этапам.

Этап 1. Индивидуальные бытовые электроплитки имеют низкий КПД (30—40 %) и по сравнению с газовой плитой чрезмерно большое время t_k доведения до кипения воды с начальной температурой 10—20 °С.

Этап 2. Необходимо создать электроплитку с КПД 60—80 % и временем t_k , не большим, чем у газовой плитки.

Этап 3. Низкий КПД связан с большими потерями теплоты, идущей на нагревание элементов плитки и окружающего пространства. Большое время t_k обусловлено в первую очередь с предварительным нагреванием элементов плитки и ее низким КПД.

Этап 4. Устранение указанных недостатков электроплитки позволит получить значительную экономию электроэнергии и времени на приготовление еды, а также заменить менее гигиеничные и более опасные газовые плитки на электроплитки.

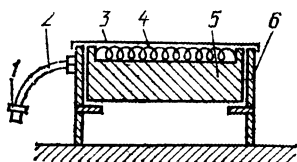


Рис. 42. Бытовая электроплитка

2. Описание потребности (функции) электроплитки. Обобщенное описание: нагревает воду в емкости до кипения.

Количественное описание: нагревает воду в емкости объемом 3—6 л от начальной температуры 10 °С до кипения за 15—30 мин.

3. Выбор прототипа и его описание. В качестве прототипа дана бытовая электроплитка (рис. 42), состоящая из нагревательной спирали 4, лежащей на теплоизоляционном огнеупорном блоке 5, который опирается на корпус 6. Электроэнергия подводится изолированным проводом 2 через разъем 1. Нагревательная спираль прикрыта защитным экраном 3 из тугоплавкого металла.

В качестве первого дополнительного прототипа примем такую же конструкцию электроплитки, только без защитного экрана 3. Второй дополнительный прототип в отличие от основного имеет регулируемую мощность, т. е. вода до кипения нагревается при максимальной мощности, что сокращает время t_k , а затем устанавливается мощность для поддержания кипения.

4. Выявление недостатков прототипа. Потери теплоты при нагревании емкости с водой слишком большие, что приводит к низкому КПД (30—40 %). Требуется снизить потери теплоты и довести КПД до 60—80 % в соответствии с показателями других нагревательных приборов.

Время доведения воды до кипения от начальной температуры 10 °С в емкости объемом 3—6 л обычно составляет 30—60 мин. Требуется сократить это время до 15—30 мин.

Для снижения трудоемкости приготовления пищи и потерь электроэнергии желательно иметь систему автоматического управления, которая после доведения воды до кипения поддерживает кипение (при минимальных затратах энергии) в течение заданного времени, после чего выключает подачу электроэнергии.

5. Выбор критериев качества. За критерий качества примем КПД электроплитки, повышение которого в значительной мере влияет на сокращение времени нагревания.

КПД электроплитки определяется по формуле

$$\eta = Q_n / Q_0,$$

Нагревание жидкости в емкости до кипения

Элементы		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_0	Спираль	Φ_0	Выделение теплоты и нагревание емкости с жидкостью (V_1) до кипения
E_1	.....	Φ_1	Снижение потерь теплоты от спирали (E_0) в окружающую среду (V_4)
E_2	.....	Φ_2	Поддержка спирали (E_0)
E_3	Корпус	Φ_3	Передача нагрузки массы с жидкостью (V_1) на стол (V_3)
E_4	Электропровод	Φ_4	Подвод электроэнергии от разъема (E_5) до спирали (E_0)
E_5	Разъем	Φ_5	Соединение и разъединение электропровода (E_4) с электросетью (V_2)
E_6	.....	Φ_6	Повышение количества теплоты, передаваемой от спирали (E_0) к емкости с жидкостью (V_1)

где Q_n — затраты энергии на нагревание воды от 10 до 100 °С; Q_0 — потребляемая за это время электроэнергия.

6. Разделение электроплитки (прототипа) на элементы.

Описание функции элементов приведено в табл. 9 и п. 2 гл. 7 (операция 6), а соответствующие им конструктивные функциональные структуры (ФС) — на рис. 8, 36.

Построение улучшенных ФС. Представляется целесообразным ввести функциональные элементы, обеспечивающие повышение количества теплоты, передаваемой емкости с жидкостью, и снижение потерь теплоты в окружающую среду. Полифункциональный элемент E_3 (табл. 9) представляется перспективным для использования только при реализации функций Φ'_3, Φ''_3 , а для функции Φ_3 — не вводить отдельно функционального элемента. Улучшенная ФС представлена в табл. 46 и на рис. 43. В табл. 46 не указаны названия новых элементов E_1, E_2, E_6 , поскольку пока неизвестно их точное название.

7. Составление морфологических таблиц. Рассмотрим пример заполнения морфологической матрицы на основе табл. 46. Анализ задачи показывает, что различные спо-

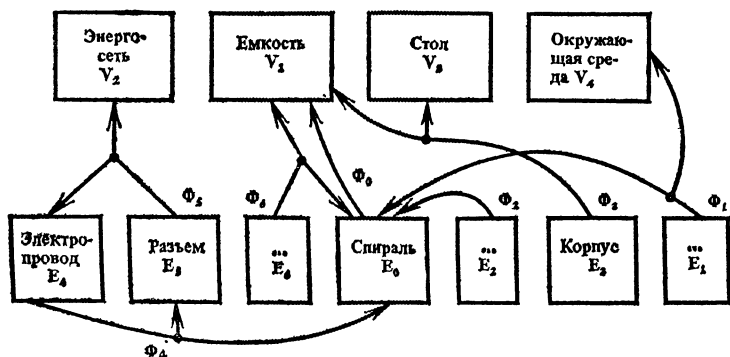


Рис. 43. Улучшенная функциональная структура электроплитки

собы реализации функций Φ_3 , Φ_4 , Φ_6 мало влияют на устранение недостатков прототипа и повышение критерия его качества. Поэтому для этих функций не будем рассматривать различные альтернативные варианты реализации и не будем включать их в морфологическую таблицу. Результаты работы по заполнению морфологической матрицы приведены в табл. 47, где в 3-м и 4-м столбцах приведены представляющие интерес комбинации альтернатив с одинаковыми функциями.

8. Выбор наиболее эффективных ТР. В соответствии с табл. 47 число возможных вариантов ТР электроплитки составляет $N = 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5 = 300$. Поскольку $N < 10^4$, то сокращение альтернатив в столбцах проводить не нужно.

Сокращение множества возможных вариантов ТР. В соответствии с указаниями методики строится табл. 48, в которой исключаются наихудшие комбинации. Затем строится табл. 49, в которой устраняются наихудшие комбинации (зачеркнуты двумя линиями). Поскольку осталось много допустимых вариантов, то для них проводится сравнительная оценка и из них исключаются худшие (зачеркнуты одной чертой).

Строится окончательная табл. 50, в которой сначала устранили явно худшие варианты (зачеркнуты двумя линиями). Оставшиеся варианты сравниваются между собой с использованием также дополнительных показателей сравнения (надежность, трудоемкость изготовления, стоимость). Исключенные при этом варианты зачеркнуты в табл. 50 одной чертой.

Морфологическая таблица вариантов электроплитки

Φ_0 — выделение теплоты и нагревание воды в емкости до кипения	Φ_2 — поддержка нагревательного элемента	Φ_0 — повышение количества теплоты, передаваемой от нагревательного элемента емкости жидкостью	Φ_1 — снижение потерь теплоты в окружающую среду
A_1^1 — спираль	A_1^1 — теплоизоляционный огнеупорный материал	A_1^1 — криволинейное зеркало, отражающее тепловой поток на дно емкости	A_1^1 — материалы с малой теплопроводностью и объемной массой для теплоизоляции плитки и ее внешних элементов
A_1^2 — металлическая пластина с высоким омическим сопротивлением	A_1^2 — легкая огнеупорная решетка из изоляционного материала	A_2^2 — изолированный нагревательный элемент, от которого передается теплота к стенкам емкости через материал с высокой теплопроводностью (медь и др.)	A_2^2 — зеркало в виде легкого цилиндрического вертикального кожуха вокруг емкости и плитки для отражения тепловых излучений
A_1^3 — спираль в баллоне с инертным газом	A_1^3 — спираль в жестких трубках из изоляционного материала A_1^4 — подвеска на изолированных металлических крючках	A_3^3 — тепловые трубки между нагревательным элементом и дном емкости A_4^4 — вертикальный цилиндрический кожух вокруг емкости и плитки, обеспечивающий конвекционный обмен нагретого воздуха со стенками емкости $A_5^5 = (A_1^1, A_3^3)$	A_3^3 — то же с крышкой над емкостью A_4^4 — то же с наружной тепловой изоляцией зеркального кожуха $A_5^5 = (A_1^1, A_3^3)$

Сокращение комбинаций
из двух элементов

Таблица 48

	A_1^1	A_1^2	A_2^3	A_2^4
A_1^1				
A_1^2				
A_2^3				

Сокращение комбинаций
из трех элементов

Таблица 49

	A_1^1	A_1^2	A_2^3	A_2^4	A_2^5
A_1^1					
A_1^2					
A_2^3					
A_2^4					
A_2^5					

Было принято во внимание, что отражательный кожух A_4^2 вполне может одновременно выполнять функцию конвекционного кожуха A_3^4 (см. табл. 46).

Выбор наиболее эффективных вариантов ТР. Формально в табл. 50 осталось десять вариантов, относящихся к трем строкам. Если в решении A_4^3 сделать легко съемную крышу, чтобы пользователь мог его преобразовывать в решение A_4^2 (см. табл. 47), то по существу решение A_4^5 реализует одновременно возможности A_4^2 и A_4^3 в строках 1, 5, 7 табл. 50. Таким образом, для более детальной проработки предлагается три варианта (см. табл. 47):

$$TP\ 1 = (A_1^1, A_2^2, A_3^1, A_4^5),$$

$$TP\ 2 = (A_1^1, A_2^3, A_3^1, A_4^5),$$

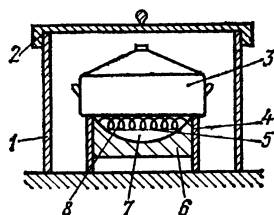
$$TP\ 3 = (A_2^2, A_2^4, A_3^1, A_4^5).$$

Сокращение комбинаций из
четырёх элементов

Таблица 50

№	№	A_1^1	A_1^2	A_2^3	A_2^4	A_2^5
1	A_1^1 A_2^2 A_3^1					
2	A_1^1 A_2^2 A_3^2					
3	A_1^1 A_2^3 A_3^1					
4	A_1^1 A_2^3 A_3^2					
5	A_1^1 A_2^4 A_3^1					
6	A_1^1 A_2^4 A_3^2					
7	A_1^1 A_2^5 A_3^1					
8	A_1^1 A_2^5 A_3^2					
9	A_1^2 A_2^2 A_3^1					
10	A_1^2 A_2^2 A_3^2					
11	A_1^2 A_2^3 A_3^1					

Рис. 44. Улучшенное техническое решение электроплитки



9. Оформление предварительных эскизов ТР и их описание. Полученное ТР1 изображено на рис. 44, где емкость с жидкостью (кастрюля) 3 устанавливается на несущем каркасе 4. Нагрев осуществляется спиралью 8, которая крепится на тонкой непроводящей решетке 5. Часть теплоты излучения, ушедшая от спирали вниз, отражается сферическим зеркалом 7 и задерживается дополнительно слоем теплоизоляционного материала 6. В дополнение к плитке для ограничения потоков теплоты, уходящих в стороны от кастрюли и вверх, придается легкий металлический полый цилиндр 1 с зеркальной внутренней поверхностью. Сверху на цилиндр надевается крышка 2.

ТР2 отличается от ТР1 тем, что спираль 8 помещается в жестких трубках из изоляционного материала (кварцевое стекло), которые заменяют собой решетку 5.

ТР3 отличается от ТР1 тем, что спираль 8 поддерживается металлическими крючками, изолированно укрепленными в стенках 4.

ГЛАВА 11. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ

Аспекты применения ЭВМ в изобретательстве практически бесчисленны

Акад. В. М. Глушков

Использование ЭВМ в поиске и изобретении новых, более эффективных физических принципов действия и технических решений представляется одним из наиболее сложных направлений совершенствования интеллектуальной деятельности.

Акад. И. Ф. Образцов

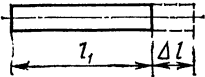
1. ФОНД ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Поиск физических принципов действия (ФПД) технических объектов и технологий — один из самых высоких уровней инженерного творчества, позволяющий получать принципиально новые решения, включая и пионерные. Однако разработка ФПД — это и наиболее сложная задача инженерного творчества, поскольку человек вынужден варьировать и оценивать не только конструктивные признаки, обычно хорошо обозримые и логически увязанные друг с другом. Здесь приходится абстрагироваться на уровне физико-технических эффектов (ФТЭ), не всегда очевидных и достаточно глубоко познанных. В отличие от новых комбинаций конструктивных признаков мысленно представить и оценить новые комбинации ФТЭ значительно труднее.

Главная трудность состоит в том, что инженер обычно знает до 200, а достаточно свободно использует не более 100 ФТЭ, хотя в научно-технической литературе их описано более 3000. Кроме того, в связи с возрастающими темпами развития науки и техники, число ФТЭ постоянно увеличивается. Таким образом, в наше время у разработчиков новой техники существует очень большой и возрастающий дефицит информации, необходимой для решения задач поиска новых ФПД.

Излагаемые в настоящей главе методы автоматизированного поиска новых ФПД позволяют, во-первых, в большой мере устранить указанный дефицит информации по ФТЭ; во-вторых, значительно облегчить получение новых работоспособных комбинаций ФТЭ, т. е. новых ФПД изделий и технологий.

Пример карты описания физико-технических эффектов (ФТЭ)

Тепловое расширение твердых тел	3—21
Тепловое расширение	3
<p style="text-align: center;">Основные компоненты ФТЭ</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;"> Температура ↓ Изменение температуры </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 0 10px;">Твердое тело</div> <div style="text-align: center; margin-left: 10px;"> Деформация ↓ Относительная деформация </div> </div>	
<p>Сущность и схема ФТЭ</p> <p>Тепловое расширение твердых тел связано с несимметричностью (ангармонизмом) тепловых колебаний атомов, благодаря чему межатомные расстояния с ростом температуры увеличиваются, что приводит к изменению линейных размеров тела</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p>Диапазоны изменения</p> <p>Диапазоны температур T_1 и T_2 должны принадлежать одной аллотропической модификации и быть меньше температуры плавления</p>	<p>Математическая модель ФТЭ</p> $\varepsilon = \alpha \Delta T,$ <p>где $\varepsilon = \Delta l / l_1$ — относительное удлинение ($\Delta l = l_2 - l_1$; l_2 и l_1 — линейные размеры тела соответственно при температурах T_1 и T_2 ($\Delta T = T_2 - T_1$); α — коэффициент линейного расширения (берется из таблицы)</p> <p>Существование обратного ФТЭ</p> <p>Нет</p> <p>Применение ФТЭ в технике</p> <p>В приборостроении, электротехнической промышленности, энергетике; при конструировании установок, приборов и машин, работающих в переменных температурных условиях, а также использующих тепловое расширение тел</p>

В основе этих методов лежит база данных, в которой каждый ФТЭ имеет трехуровневое описание. На первом уровне дается самое короткое качественное описание ФТЭ. Определение компонент и примеры описания на первом уровне даны в п. 3 гл. 1, пп. 2 и 3 гл. 2 и в прил. 3.

Второй уровень — это стандартная карта описания ФТЭ размером в одну страницу, где дается наиболее важная и легко обозримая информация о ФТЭ и его использование в технике. В табл. 51 приведен пример карты

описания эффекта теплового расширения, из которого понятно содержание рубрик описания, а также видно, что первый уровень описания включается в карту описания.

Третий уровень описания совместно с информацией второго уровня дает более подробное описание ФТЭ, объем которого обычно составляет 5—10 машинописных страниц. Третий уровень имеет следующие рубрики описания ФТЭ¹:

1. Наименование ФТЭ.
2. Наименование физических законов и явлений, на которых основан ФТЭ.
3. Вход А.
4. Объект В.
5. Выход С.
6. Сущность и схема ФТЭ.
7. Математическая модель ФТЭ.
8. Существование обратного ФТЭ.
9. Применение ФТЭ в технике.
10. Инженерно-технические характеристики ФТЭ.
11. Дополнительная полезная информация.
12. Карта описания ФТЭ.
13. Список литературы, где дано более подробное описание ФТЭ.

Система автоматизированного синтеза ФПД имеет два варианта: для учебных целей и для промышленного использования. База данных системы первого варианта содержит около 200 ФТЭ на первом и втором уровнях описания. В настоящей главе изложено содержание только учебной системы и методика ее использования. В прил. 3 приведен фонд ФТЭ этой системы. При этом в связи с ограниченным объемом книги дается только первый уровень описания ФТЭ.

Второй вариант системы содержит более развитую базу данных по ФТЭ, включающую и третий уровень описания, а также развитую систему математического моделирования и оценки новых ФПД. Предварительная работа с учебной системой значительно облегчает последующее использование ее расширенного варианта.

Следует заметить, что название «учебная система» является в большой мере условным, поскольку с ее по-

¹ Половинкин А. И., Гладун А. Д., Смиренский Е. А. и др. Руководящие методические материалы по описанию физико-технических эффектов. ВолгПИ, Волгоград, 1984. 35 с.

мощью можно эффективно решать также многие задачи, связанные с разработкой необходимых для промышленности новых изделий и технологий.

По приведенному здесь описанию и на основе фонда ФТЭ в прил. 3 группа из нескольких студентов вполне может сама сделать такую систему на имеющейся мини-или микроЭВМ и далее развивать ее с ориентацией на определенную инженерную специальность или интересный класс ТО.

2. СИНТЕЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ ПО ЗАДАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Теоретико-методические предпосылки [1]. Существуют элементарные структуры ФПД, которые основываются на одном ФТЭ. Для поиска (синтеза) таких ФПД определяют соответствие между физической операцией, которую требуется реализовать, и ФТЭ, с помощью которого можно осуществить такую реализацию. Если принять во внимание формализованное описание физической операции и ФТЭ по формулам (3) и (4), можно отметить следующее соответствие компонент:

$$A_T \leftrightarrow A, \quad C_T \leftrightarrow C.$$

Так, например, для физической операции A_T — «сила», C_T — «линейная деформация» будет найден ФТЭ: закон Гука (A — сила, напряжение; C — линейная деформация, B — упругое тело), на котором основаны пружинные весы.

В технике также распространен другой тип элементарной структуры ФПД, основанный на многократном или суммарном использовании одного и того же ФТЭ. Например, в катушках индуктивности каждый виток проводника реализует преобразование электрического тока в электромагнитное поле. Аналогичную структуру ФПД имеют аккумуляторные батареи, выпрямители, конденсаторы, усилители и т. д.

Однако большинство ФПД изделий имеют сложную структуру, в которой используется одновременно несколько различных ФТЭ. Синтез и работа таких ФПД основывается на следующем правиле совместимости ФТЭ.

Два последовательно расположенных ФТЭ

$$(A_i, B_i, C_i), (A_{i+1}, B_{i+1}, C_{i+1})$$

будем считать совместимыми, если результат воздействия C_i предыдущего ФТЭ эквивалентен входному воздействию A_{i+1} последующего ФТЭ, т. е. если C_i и A_{i+1} характеризуются одними и теми же физическими величинами и имеют совпадающие значения этих величин. Два совместимых ФТЭ могут быть объединены, при этом входное воздействие A_i будет вызывать результат C_{i+1} , т. е. получается преобразователь

$$A_i \rightarrow B_i \rightarrow (C_i \leftrightarrow A_{i+1}) \rightarrow B_{i+1} \rightarrow C_{i+1}. \quad (19)$$

В связи с этим в дополнение к п. 3 гл. 1 дадим еще одно определение ФПД.

Физическим принципом действия ТО будем называть структуру совместимых и объединенных ФТЭ, обеспечивающих преобразование заданного начального входного воздействия A_1 в заданный конечный результат (выходной эффект) C_n . Здесь имеется в виду, что число используемых ФТЭ не менее n .

Уточним понятие совместимости ФТЭ. Для имеющегося фонда ФТЭ имеет место три вида совместимости:

качественная совместимость по совпадению наименований входов и выходов (пример совместимости: «электрический ток — электрический ток»);

качественная совместимость по совпадению качественных характеристик входов и выходов (пример несовместимости: «электрический ток переменный — электрический ток постоянный»);

количественная совместимость по совпадению значений физических величин (пример совместимости: «электрический ток постоянный $I = 10$ А, $U = 110$ В — электрический ток постоянный $I = 5 \div 20$ А, $U = 60 \div 127$ В»).

Поиск допустимых ФПД. Опишем порядок работы с учебной системой автоматизированного синтеза ФПД. Работа по поиску допустимых ФПД состоит из четырех этапов.

1-й этап. Подготовка технического задания. При подготовке технического задания составляют описание функции разрабатываемого ТО и его физической операции. Описание физической операции рекомендуется делать с учетом синонимов в наименованиях «выходов» и «входов», т. е. в итоге может получиться несколько вариантов операции. Если имеется словарь технических функций, то эта работа выполняется значительно быстрее и правильнее.

После формулировки вариантов физической операции по компонентам A_T, C_T с помощью словаря «входов» и «выходов» (табл. 52) описывают совпадающие или близкие по содержанию входы и выходы, т. е. выявляют соответствия

$$(A_T \leftrightarrow A_1), \quad (C_T \leftrightarrow C_n).$$

Наличие таких соответствий позволяет сформулировать одно или несколько технических заданий

$$A_1 \rightarrow C_n. \quad (20)$$

2-й этап. Синтез возможных ФПД. По техническому заданию (20) ЭВМ выбирает из фонда ФТЭ такие, у которых одновременно выполняются условия

$$A_j \leftrightarrow A_1 \quad \text{и} \quad C_j \leftrightarrow C_n.$$

Все эти ФТЭ представляют ФПД, использующие один ФТЭ.

Далее из фонда ФТЭ выбираются такие, которые обеспечивают выполнение условия

$$A_i \leftrightarrow A_1, \quad i = 1, \dots, k \quad (21)$$

или

$$C_j \leftrightarrow C_n, \quad j = 1, \dots, m. \quad (22)$$

Из множеств ФТЭ (21) и (22) выбирают такие пары ФТЭ, у которых выполняется условие пересечения

$$C_i \leftrightarrow A_j,$$

указывающее на то, что эти пары ФТЭ совместимы и образуют ФПД из двух ФТЭ по формуле (19)

$$A_i \rightarrow B_i \rightarrow (C_i \leftrightarrow A_j) \rightarrow B_j \rightarrow C_j. \quad (23)$$

Для множеств ФТЭ, отобранных по условиям (21) и (22), при невыполнении условия (23) проверяется возможность образования цепочек из трех ФТЭ:

$$A_i \rightarrow B_i \rightarrow (C_i \leftrightarrow A_t) \rightarrow B_t \rightarrow (C_t \leftrightarrow A_j) \rightarrow B_j \rightarrow C_j,$$

где $i = 1, \dots, k; \quad j = 1, \dots, m; \quad t = 1, \dots, km.$

Фрагмент словаря «входов» («выходов»)

№ по пор.	Наименование «входа» («выхода»)	Качественная характеристика «входа» («выхода»)	Физическая величина, характеризующая «вход» («выход»)	
			Наименование	Обозначение
1	Электрическое поле	Постоянное Переменное Однородное Неоднородное Высокочастотное	Напряженность электрического поля Разность потенциалов ЭДС	$\Delta \varphi$ ε
2	Магнитное поле	Постоянное Переменное Однородное Неоднородное	Магнитная индукция Магнитный поток	\vec{B} Φ
3	Электромагнитное поле	Ультрафиолетовое Видимое Инфракрасное Рентгеновское Линейнополяризованное Эллиптически поляризованное	Интенсивность Частота Длина волны Амплитуда	S ν λ A
4	Акустическая волна	Звуковая Ультразвуковая	Частота Мощность излучения Интенсивность	f P J
5	Сила	—	Сила	\vec{F}
6	Температура	—	Температура	T
<p>П р и м е ч а н и е. По этой форме легко сделать для прил. 3 полный словарь «входов» («выходов»)</p>				

Далее для тех же множеств проверяется возможность образования цепочек из четырех ФТЭ по условиям:

$$A_{l_i} \leftrightarrow C_{s_i}, \quad \text{где } l_i = 1, \dots, L_i; \quad i = 1, \dots, k;$$

$$C_{s_j} \leftrightarrow A_j, \quad \text{где } s_j = 1, \dots, S_j; \quad j = 1, \dots, m;$$

$$C_{l_i} \leftrightarrow A_{s_j}, \quad \text{где } l_i = 1, \dots, L_i; \quad i = 1, \dots, k;$$

$$s_j = 1, \dots, S_j; \quad j = 1, \dots, m,$$

и из пяти ФТЭ по условию:

$$\begin{cases} A_r \leftrightarrow C_{l_i}, & l_i = 1, \dots, L_i; \quad i = 1, \dots, k; \\ & s_j = 1, \dots, S_j; \quad j = 1, \dots, m; \\ C_r \leftrightarrow A_{s_j}, & r = 1, \dots, \sum_i L_i \sum_j S_j. \end{cases}$$

Встречным наращиванием цепочек совместимых ФТЭ от A_1 до C_n можно получать новые варианты ФПД, включающие и большее число ФТЭ. Однако при числе ФТЭ, превышающем пять, резко возрастает вычислительная сложность такого метода из-за комбинаторного характера задачи и существенного роста числа анализируемых промежуточных вариантов. Кроме того, ФПД с числом ФТЭ более пяти с практической точки зрения обычно не относятся к наиболее рациональным.

Изложенный алгоритм представляет собой один из возможных простых способов синтеза ФПД. Можно использовать и другие алгоритмы, ориентированные на предварительно организованную базу данных по ФТЭ. Суть этой организации состоит в определенном построении сетевых графов из всех совместимых ФТЭ.

Система синтеза ФПД по введенному техническому заданию позволяет получать варианты ФПД. Кроме того, в ней в качестве дополнительных исходных данных могут быть использованы следующие ограничения:

максимальное число ФТЭ в цепочке (например, $n \leq 3$);

число получаемых вариантов ФПД (например, $m \leq 20$);

запрещение (или предпочтительность) использования определенных входов A и выходов C ;

запрещение (или предпочтительность) использования определенных объектов B ;

другие ограничения.

а)

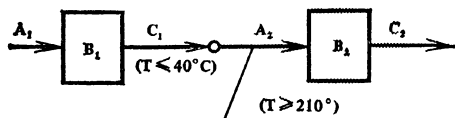
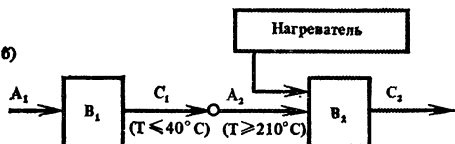


Рис. 45. Пример устранения несовместимости ФЭ

б)



3-й этап. Анализ совместимости ФТЭ в цепочках. Полученные на 2-м этапе цепочки возможных ФПД удовлетворяют только качественной совместимости по совпадению наименований входов и выходов. Хотя среди полученных ФПД ЭВМ может отсекаать варианты по условию совместимости качественных характеристик, а в промышленной системе — по количественной совместимости, однако целесообразно предоставить студентам самим прочувствовать качественную и количественную совместимость ФПД при проведении самостоятельного анализа.

Анализ совместимости ведется для каждой пары стыкуемых ФТЭ. Количественная совместимость в основном оценивается по интервалам возможных значений входов и выходов.

Если окажется, что среди синтезированных на 2-м этапе вариантов нет ни одного допустимого (удовлетворяющего количественной совместимости ФТЭ), то выбирают ФПД с одной количественной несовместимостью и вводят дополнительные ФТЭ или готовые устройства (узлы), обеспечивающие такую совместимость. Так, для случая, показанного на рис. 45, а, может быть введен «нагреватель» (рис. 45, б), обеспечивающий на входе второго ФТЭ $T \geq 210^\circ\text{C}$. Рис. 46, а соответствует случаю с несовместимостью по перемещению, которая может быть устранена введением преобразователя перемещений (рис. 46, б), например, в виде рычага.

При анализе цепочек ФТЭ на количественную совместимость и при устранении несовместимостей необходимо достаточно хорошо представлять сущность ФТЭ. Для этого рекомендуется изучать описания ФТЭ в фонде

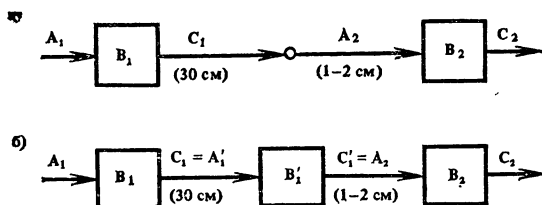


Рис. 46. Пример устранения несовместимости двух ФЭ путем введения промежуточного ФЭ

ФТЭ, обращаться к рекомендуемой литературе или к экспертам (физикам и специалистам по данному классу ТО).

4-й этап. Разработка принципиальной схемы. На основе варианта (вариантов) ФПД, удовлетворяющих качественной и количественной совместимости ФТЭ, разрабатывается изображение принципиальной схемы (см. п. 3 гл. 1) и дается ее описание. Для этого нужно выбрать или эскизно изобразить конструктивные элементы, соответствующие отдельным ФТЭ, и определить их взаимное расположение и компоновку. После этого описывается принцип работы полученного устройства (принципиальной схемы), т. е. указывается:

какие потоки энергии, вещества или сигналов проходят через конструктивные элементы;

под действием каких ФТЭ, как и с помощью каких конструктивных элементов происходит преобразование этих потоков.

Пример. Рассмотрим использование изложенной методики поиска допустимых ФПД.

1-й этап. Физическая операция разрабатываемого датчика для измерения давления жидкости: A_T — давление; C_T — электрический ток. Обращение к словарю входов и выходов фонда ФТЭ показало, что имеется соответствие с A_T , C_T . Таким образом, получаем техническое задание: давление \rightarrow электрический ток. Задается максимальное число ФТЭ в цепочках $n \leq 4$ и число синтезируемых вариантов $m \leq 2$.

2-й этап. Полученное техническое задание кодируется в соответствии с инструкцией пользователя и вводится в ЭВМ. В табл. 53 приведена копия распечатки синтезированных ФПД, а на рис. 47 их изображение на экране дисплея.

3-й этап. Совместимость по качественным характеристикам в варианте 1 удовлетворяется. Для оценки количественной совместимости определим и рассмотрим интервалы возможных значений физических величин для каждого ФТЭ, которые приведены в табл. 54. Из сопоставления значений интервалов видно, что 2-й и 3-й ФТЭ не стыкуются, поскольку при действии эффекта Зеебека на выходе имеет место

Т а б л и ц а 53

Синтезированные физические принципы действия

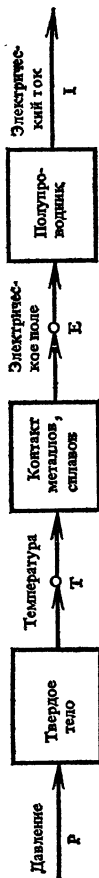
Наименование ФТЭ	А	В	С
Вариант 1			
1. Тепловое действие ударной волны	Давление (импульсное) p	Твердое тело	Температура T (изменение)
2. Эффект Зеебека	Температура T (градиент)	Контакт металлов, сплавов, полупроводников	Электрическое поле E
3. Эффект Ганна	Электрическое поле $E > E_{кр}$	Полупроводник	Электрический ток (переменный)
Вариант 2			
1. Силовое действие давления	Давление p (периодическое)	Твердое тело	Сила F (периодическая)
2. Закон Гука	Сила F (периодическая)	Упругое тело	Деформация ε (упругая)
3. Тензорезистивный эффект	Деформация ε (упругая)	Металлы, полупроводники	Сопротивление электрическое R (изменение)
4. Закон Ома	1. Сопротивление электрическое R (изменение) 2. Электрическое поле U	Проводник	Электрический ток I (изменение)

Т а б л и ц а 54

Результаты анализа количественной совместимости
ФТЭ в варианте 1

Номер ФТЭ	Вход А		Выход С	
	Обозначение величины	Интервал значения	Обозначение величины	Интервал значений
1	p	10 МПа	T	$10^2 - 10^3$ °C
2	T	$0 - 10^{10}$ °C	E	до мкВ/м
3	E	10^2 кВ/м	I	(?)

Вариант 1



Вариант 2

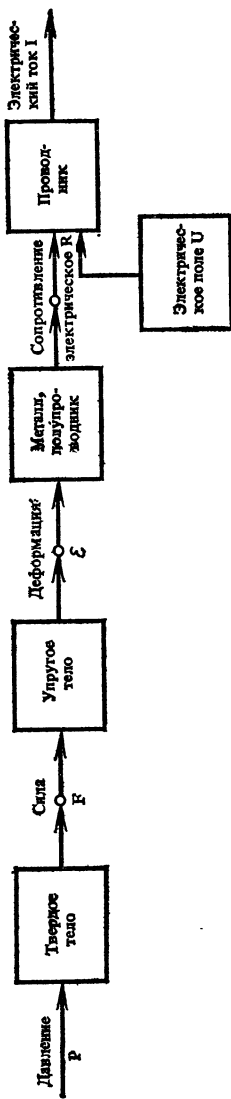


Рис. 47. ФПД датчика измерения давления

Результаты анализа количественной совместности
ФТЭ в варианте 2

Номер ФТЭ	Вход А		Выход С	
	Обозначение	Интервал значений	Обозначение	Интервал значений
1	p	$0-10^4$ МПа	F	$0-10^{10}$ Н
2	F	$0-10^4$ Н	$\varepsilon = \Delta l/l$	$0-10^{-2}$
3	ε	$0-10^{-2}$	ΔR	Несколько ом
4	ΔR	Несколько ом	I	Несколько ампер

слабая напряженность электрического поля E (до нескольких мкВ/м), а при действии на входе эффекта Ганна требуются сотни кВ/м.

У варианта 2 удовлетворяется и качественная и количественная (табл. 55) совместности. Однако для реализации последнего ФТЭ требуется создать дополнительный вход — постоянное электрическое поле с напряжением U .

4-й этап. Принципиальную схему имеет смысл разрабатывать только для варианта 2 (табл. 55). Эскиз принципиальной схемы изображен на рис. 48.

Описание принципиальной схемы. Упругая мембрана 1 (рис. 48) под действием измеряемого давления p деформируется. Деформация, пропорциональная давлению p , передается тензорезистору 2, наклеенному на мембрану 1. Вследствие деформации тензорезистора его сопротивление изменяется по тензорезистивному эффекту. Изменение сопротивления тензорезистора 2 регистрируется измерительной (электрической) цепью 3.

3. МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ

Метод синтеза ФПД, изложенный в п. 2 гл. 11, рекомендуется использовать в основном для относительно простых ТО, работа которых основывается на нескольких ФТЭ. Морфологический метод, излагаемый в настоящем параграфе, подходит также и для более сложных ТО, в которых могут быть использованы десятки ФТЭ. При этом поиск ФПД ведется со значительной проработкой технических решений. Рассматриваемый метод имеет также машинную реализа-

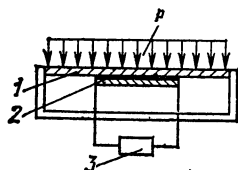


Рис. 48. Принципиальная схема датчика измерения давления

цию. Здесь его изложение дается для безмашинного использования, которое нетрудно реализовать на ЭВМ применительно к конкретному классу ТО.

Постановка задачи и построение потоковых функциональных структур (ФС). Постановка задачи выполняется в соответствии с п. 1 гл. 7 и п. 2 гл. 10, построение потоковой ФС — в соответствии с п. 2 гл. 2. Строят только абстрагированные потоковые ФС (структуры физических операций), т. е. после построения структуры физической операции для прототипа пытаются найти улучшенные потоковые ФС. Такие структуры можно получить, отвечая на следующие вопросы:

1. Какие можно ввести новые ФЭ, обеспечивающие устранение недостатков прототипа или существенное повышение эффективности и качества ТО? Дают названия новым элементам и описывают их физические операции.

2. Какие можно исключить элементы для устранения недостатков прототипа и улучшения его показателей? При этом из потоковой ФС исключают соответствующие физические операции.

3. Какие могут быть выигрышные совмещения функций и физических операций элементов? Дают названия элементам, выполняющим одновременно несколько функций, и описывают их функции и физическую операцию.

4. Для каких полифункциональных элементов целесообразно разделение функций и операций и введение вместо одного двух и более элементов? Дают названия этим элементам и описывают их физические операции.

Кроме этого, можно использовать еще прием Коллера, который рекомендует в потоковой ФС прототипа осуществлять различные перестановки физических операций с одновременным анализом полученных вариантов на работоспособность, допустимость и эффективность [43, 48, 59].

Составление морфологических таблиц. Заготовка морфологической таблицы выполняется в соответствии с рекомендациями, данными выше. Отличие состоит в том, что заглавиями столбцов являются физические операции (табл. 56).

При заполнении морфологической таблицы целесообразно сначала составлять две таблицы. Первую заполняют выпускаемыми ТО, реализующими соответствующие физическим операциям, и известными ТР. Вторую таблицу заполняют отдельными ФТЭ и цепочками ФТЭ, которые реализуют соответствующие физические опера-

Альтернативные варианты схемы измерения температуры

Тепло- вая энер- гия (темпе- ратура T)	Ф01 Преоб- разо- вание Элек- тро- энер- гия (U, I)	Ф02 Прове- дение Элек- тро- энер- гия (U, I)	Ф03 Увели- чение Элек- тро- энер- гия (U, I)	Ф04 Преобразо- вание Механиче- ская энергия (сила F)	Ф05 Преобразо- вание Пере- мещение
A_1 — эффект Зеебака (термонара)		Закон Ома	A_3 — трансформатор (закон электромагнитной индукции)	A_4 — закон Ампера	A_5 — закон Гука
A_2 — термоэлектрон- ная эмиссия		То же	A_3 — активное сопро- тивление (закон Ома)	A_4 — электрокинетиче- ский эффект	A_5 — поперечное сжа- тие
A_3 — шумовой эффект		»	A_3 — полупроводнико- вый усилитель (измене- ние сопротивления пере- хода)	A_4 — давление элек- тронов на катод	A_5 — закон Бойля— Мариотта
A_4 — пьезоэлектриче- ский эффект		»	A_4 — дроссель (изме- нение реактивного сопро- тивления)	A_5 — пьезоэффект A_5 — электромагнит с сердечником	

Различные способы реализации физических операций

Функция Φ_1 — преобразование электроэнергии в механическую энергию вращения вала		Функция Φ_2 — подача жидкости на высоту	
Электрическая энергия	<div style="text-align: center;"> $\Phi 01$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Преобра- зование</div> </div>	<div style="text-align: center;"> $\Phi 02$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Соедине- ние</div> </div>	<div style="text-align: center;"> Вещество <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Кинетическая энергия</div> </div>
Закон Ампера Электроосмос Диэлектрический гистерезис Второй закон Кулона		Эффект импульса Эффект Бойля-Мариотта Эффект адгезии Эффект Бернулли Закон Ампера	

ции. Заполнение первой таблицы весьма облегчается и обогащается при наличии межотраслевого или проблемно ориентированного словаря технических функций. Для заполнения второй таблицы целесообразно использовать фонд ФТЭ и машинный синтез ФПД (цепочек ФТЭ) по методике, изложенной в разделе п. 2 гл. II.

После этого обе таблицы объединяют в одну, исключая дублирование между ТО, ТР, ФТЭ и ФПД, причем предпочтение отдается в первую очередь ТО, затем ТР, оди-
ночным ФТЭ и в последнюю очередь — цепочкам ФТЭ.

В табл. 56 приведен пример смешанного (объединенного) заполнения морфологической таблицы.

На основе объединенной морфологической таблицы рекомендуется получить варианты упрощенных морфологических таблиц, которые часто приводят к неожиданным, более эффективным ФПД и ТР. Для этого нужно искать способы реализации двух и более последовательных физических операций с помощью одного ФТЭ или более короткой цепочки ФТЭ либо с помощью более простого ТР. Здесь можно использовать два правила.

1. Если для реализации двух соседних физических операций найдены одинаковые ФТЭ (или ФПД), то представляет интерес искать принципиальную схему (и ТР) на основе одновременной реализации обеих операций с помощью одного ФТЭ (ФПД). Так, в табл. 57 приведен пример заполнения двух столбцов различными способами реализации физической операции. Закон Ампера встре-



Рис. 49. Первый прототип для источника питания РЭА

чается в обоих столбцах и действительно может быть положен в основу принципа перемещения вещества (например, расплавленного металла) без двигателя и насоса.

2. Необходимо брать цепочки из двух и более физических операций, объединенных одним потоком, и искать их реализацию (по методу, изложенному в п. 2, гл. 11) с помощью ФТЭ или ФПД с меньшим числом ФТЭ. Можно также с помощью словаря технических функций искать более простые ТО и ТР.

Если описания альтернативных вариантов в столбцах морфологической таблицы недостаточно ясны и трудно обозримы при синтезе вариантов ФПД и их оценке, то для них выполняются поясняющие эскизы или дают дополнительные комментарии.

Выбор наиболее эффективных ФПД. Сокращение числа комбинаций в морфологической таблице и выбор наиболее эффективных ФПД производится в соответствии с рекомендациями п. 4 гл. 10, где вместо ТР одновременно имеются в виду ФПД и ТР, а вместо эскизов ТР разрабатывают принципиальные схемы в соответствии с рекомендациями п. 2 гл. 11 (4-й этап).

Пример. Рассмотрим пример решения задач по изложенной методике.

1. *Описание проблемной ситуации.* Описание должно отвечать на следующие вопросы:

а. В чем состоит проблема и какова ее история? Питание подвижных радиоэлектронных передатчиков осуществляется от генераторов переменного тока, при этом на выходе питающего устройства должно быть несколько значений постоянного питающего напряжения. Использование полупроводниковых преобразователей напряжения сделало в свое время заметный шаг в повышении надежности и снижении габаритных размеров источников питания радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). В настоящее время масса и габаритные размеры блоков питания, которые нельзя увеличивать, существенно ограничивают мощность передатчиков подвижных объектов, и остро стоит вопрос об их улучшении;

б. Что требуется сделать для устранения проблемной ситуации? — Нужно разработать источник питания РЭА с улучшенными массогабаритными показателями.

в. Что мешает решению проблемной ситуации? — Большая масса трансформатора, являющегося составной частью устройства, фильтров, стабилизирующего элемента;

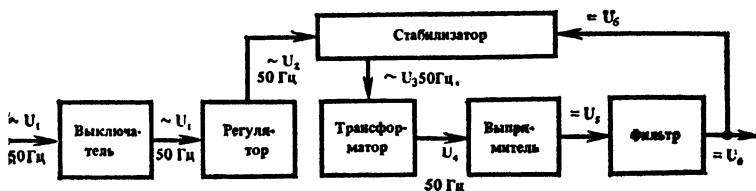


Рис. 50. Второй прототип для источника питания РЭА

г. Что дает решение проблемы? — Источник питания, обеспечивающий надежную связь на нужном расстоянии; принципиальный способ уменьшения массы и габаритных размеров преобразователей напряжения, представляющий интерес для других областей техники.

2. *Описание функции (потребности) создаваемого ТО.* Наименование ТО — преобразователь (источник питания для РЭА). Обобщенное описание функции — вырабатывает электроэнергию постоянного тока с напряжением нужного значения. Количественное описание функции — с помощью имеющегося источника переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 380 В получает постоянный ток напряжением 1200 В.

Устройство, реализующее эту функцию, должно удовлетворять следующим требованиям:

- мощность источника 10 кВт;
- полученное напряжение должно быть стабилизировано в интервале $\pm 0,5\%$ амплитуды и плавно регулироваться в интервале $\pm 25\%$; КПД устройства — не менее 0,8;
- нагрузка должна быть защищена от напряжений, устройство должно включаться и выключаться;
- масса аппаратуры не должна превышать 10 кг на 1 кВт передаваемой мощности, т. е. не должна быть более 100 кг.

3. *Выбор прототипа.* Прототипом может служить известная схема преобразования, приведенная на рис. 49. Поступающее из генератора переменное электрическое напряжение преобразуется до нужного уровня с помощью трансформатора, затем выпрямляется выпрямителем и сглаживается фильтром. Другой прототип (рис. 50) имеет дополнительно стабилизатор.

4. *Выявление недостатков прототипа.* К недостаткам можно отнести следующее:

- 1) большие масса и объем трансформатора; требуется уменьшить ее по сравнению с прототипом с 5 до 0,5 кг в расчете на 1 кВт передаваемой мощности;
- 2) большая масса остального оборудования; требуется уменьшить общую массу оборудования по сравнению с прототипом с 40 до 10 кг на 1 кВт передаваемой мощности;
- 3) отсутствие автоматической стабилизации выходного напряжения в первом прототипе и большая масса стабилизатора — во втором;
- 4) недостаточно высокое качество выходного сигнала (неудовлетворительная форма кривой);
- 5) нет защиты потребителя от напряжений.

5. *Выбор критерия качества.* Критерием может быть принята масса оборудования в расчете на 1 кВт передаваемой мощности.

6. *Описание ФО проектируемого ТО:*

Физический анализ второго прототипа источника питания
для РЭА

№ элемента	Наименование элемента	Компоненты физических операций				
		A_T		E	C_T	Номер приемника C_T
		Наименование	Номер источника A_T	—	Наименование	
0	Окружающая среда	—	—	—	—	—
1	Выключатель	Переменное электрическое напряжение	0	E_1 — соединение, разъединение	Переменное электрическое напряжение $\sim U_1$	2
2	Регулятор	$\sim U_1$; S_2 — сигнал от человека	1 0	E_2 — увеличение, уменьшение	$\sim U_2$	3
3	Трансформатор	$\sim U_2$	2	E_3 — увеличение, уменьшение	$\sim U_3$	4
4	Стабилизатор	$\sim U_3$; S_1 — сигнал от датчика	3 7	E_4 — увеличение, уменьшение	$\sim U_4$	5
5	Выпрямитель	$\sim U_4$	4	E_5 — выравнивание	$\cong U_5$	6
6	Фильтр	$= U_5$	5	E_6 — выравнивание	$= U_6$	0
7	Датчик	$= U_6$	0	E_7 — преобразование	Сигнал S_1	4
8	.....	$= U_6$	0	E_8 — преобразование	Сигнал S_3	1

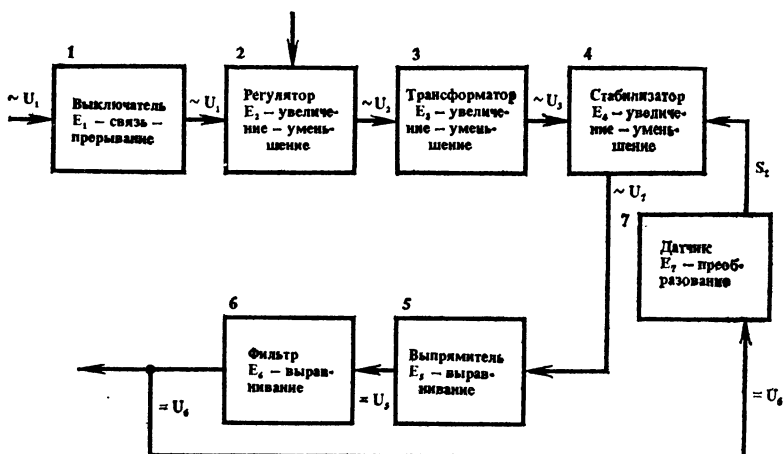


Рис. 51. Поточковая ФС прототипа

A_T — переменное электрическое напряжение ($\sim U_1$);

S_T — переменное электрическое напряжение ($\sim U_2$);

E — увеличение—уменьшение.

При более уточненном описании, требующемся, например, при количественном анализе ФТЭ и математическом моделировании, может быть приведен список физических величин и их значений. В этом случае описание A_T будет таким:

переменное электрическое напряжение A ;

напряжение $U_1 = 300$ В;

частота $F = 50$ Гц;

мощность $N = 10$ кВт.

7. Разделение ТО на элементы и описание их физических операций.

Перечень элементов второго прототипа, взятого нами для дальнейшей проработки, представлен в табл. 58. Здесь предусмотрен дополнительный по сравнению с прототипом элемент, обеспечивающий защиту на-

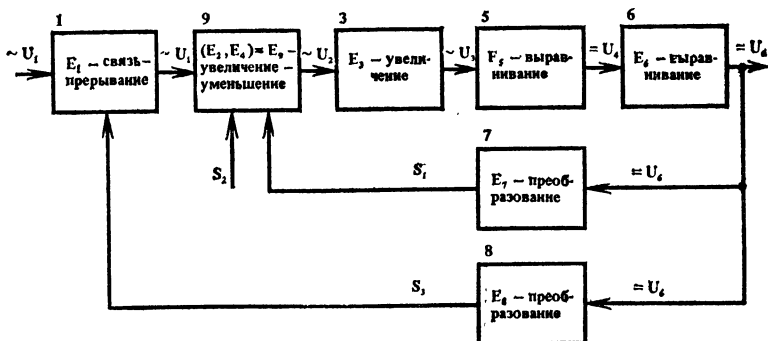


Рис. 52. Дополнительная структура ФО источника питания РЭА

Основная часть морфологической таблицы возможных источников питания РЭА, построенном на основе дополнителной структуры, представленной на рис. 53 (ФО — физическая операция)

1. ФО1 — обеспечение включения ТО	2. ФО9 — регулирование стабилизация	3. ФО11 — преобразование постоянного напряжения в высокую частоту	4. ФО3 — увеличение напряжения	5. ФО5 — выпрямление тока	7. ФО7 — получение управляющего стабилизирующего сигнала
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Связь — прерывание</p> <p>↑ Сигнал 1</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Увеличение уменьшение</p> <p>↑ $\sim U$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Колебание</p> <p>↑ $\sim U$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Увеличение</p> <p>↑ $\sim U$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Выравнивание</p> <p>↑ $= U$</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Преобразование</p> <p>↑ $= U$</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">(высокой частоты) (высокой частоты) Сигнал 2</p>					
A_1 — транзистор (смещение перехода) A_2 — механический выключатель A_3 — Джозефсоновский ключ (эффект Джозефсона) A_4 — электр	A_5 — переменный резистор A_6 — электро-статический трансформатор (поляризация диэлектрика) A_7 — широкоимпульсный модулятор регуляции времени	A_{11} — инвертор на ключах тиристорных колебательным контуром и без A_{12} — инвертор транзисторный на ключах (с колебательным контуром и без него)	A_3 — трансформатор (закон электромагнитной индукции) A_4 — пьезотрансформатор (пьезоэффект) A_5 — индуктивно-емкостный преобразователь	A_5 — емкостный умножитель напряжения A_6 — выпрямитель диод — емкость A_7 — транзисторный регулируемый выпрямитель A_8 — тиристор	A_1 — резисторный датчик A_2 — индуктивный датчик A_3 — закон Кулона A_4 — закон Ампера A_5 — полупроводниковый усилитель

тронная лампа A_5^1 — полевой транзистор	ни прохождения сигнала за заданный период A_3^4 — частотно-импульсный модулятор (изменение частоты сигнала при одной и той же длительности)	A_{11}^3 — инвертор на туннельных диодах A_{11}^4 — инвертор на электронных лампах	водниковый усилитель (сопротивление p - n перехода) A_8^5 — трансформатор на принципе поляризации диэлектрика A_8^6 — умножитель напряжения A_3^7 — широкоимпульсный модулятор	ный регулируемый выпрямитель A_5^5 — мостовой выпрямитель на диодах	A_9^1 — датчик Холла A_1^1 — датчик на магнитофорах
---	--	---	---	--	--

грузки от перенапряжений, данный пока без названия (устранение 5-го по списку недостатка прототипа). Описание физических операций элементов приведено в той же таблице.

8. Построение потоковых функциональных структур проектируемого объекта. На основании табл. 58 строится конкретизированная потоковая ФС, приведенная на рис. 51. Следующий шаг — построение структуры физических операций прототипа, которая совмещенно показана также на рис. 51.

Для примера на рис. 52, 53 построены дополнительные структуры физических операций. На рис. 52 введены изменения:

элементы 2 и 4 заменены одним, с номером 9, совмещающим функции прежних двух;

введен новый элемент 8, устраняющий 4-й недостаток по списку недостатков прототипа.

Изменения на второй дополнительной структуре физической операции (рис. 53) заключаются во введении новых элементов 10, 11, за счет которых основное преобразование — увеличение напряжения с 300 до 1200 В — будет проводиться на высокой частоте. Введением высокочастотного блока в значительной мере решается проблема снижения массы оборудования и улучшения качества энергии (уменьшение пульсаций). Эта структура, как наиболее перспективная, взята для дальнейшей разработки.

9. Составление морфологических таблиц. Фрагмент таблицы альтернативных вариантов, включающий основные физические операции, для прототипа, показанного на рис. 53, приведен в табл. 59.

Для рассматриваемого примера большой эффект дает реализация цепочки Ф01-Ф09-Ф011 техническим устройством «Инвертор», обеспечивающим все три функции с резким снижением массы оборудования и повышением надежности схемы. Производная морфологическая таблица приведена в табл. 60.

10. Выбор наиболее эффективных ФПД. Число возможных вари-

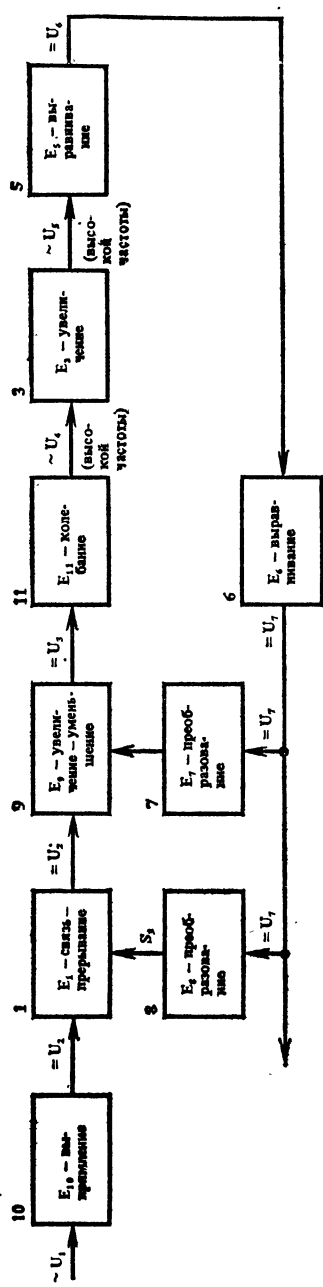


Рис. 53. Дополнительная структура ФО источника питания РЭА

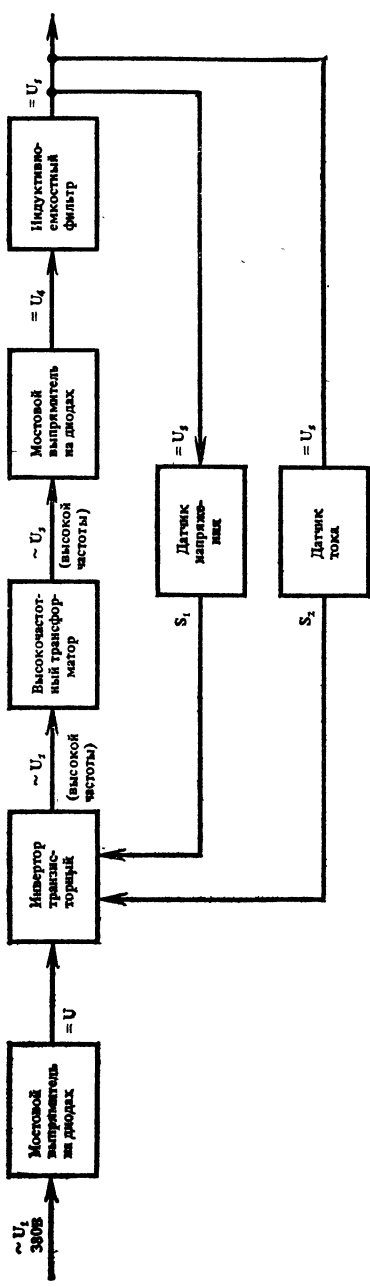


Рис. 54. Принципиальная схема преобразователя для питания РЭА

Производная морфологическая таблица для источника питания РЭА

1. Ф010 — выпрямление	2. Ф012 — инвертирование, регулирование, стабилизация, включение, фильтрация	3. Ф03 — увеличение	4. Ф05 — выпрямление	5. Ф07 — получение управляющего сигнала	8. Ф08 — получение управляющего сигнала
$A_1 \equiv A_1^1$ $A_1^1 \equiv A_2^1$ $A_2^1 \equiv A_3^1$ $A_3^1 \equiv A_4^1$ $A_4^1 \equiv A_5^1$	A — инвертор транзисторный на ключках с колеба- тельным контуром и без A — инвертор тиристорный на ключках	A_1^1 A_1^1 A_2^1 A_2^1 A_3^1 A_3^1 A_4^1 A_4^1 A_5^1 A_5^1	A_1^1 A_1^1 A_2^1 A_2^1 A_3^1 A_3^1 A_4^1 A_4^1 A_5^1 A_5^1	A_1^1 A_1^1 A_2^1 A_2^1 A_3^1 A_3^1 A_4^1 A_4^1 A_5^1 A_5^1	$A_1^1 \equiv A_1^1$ $A_2^1 \equiv A_2^1$ $A_3^1 \equiv A_3^1$ $A_4^1 \equiv A_4^1$ $A_5^1 \equiv A_5^1$ $A_6^1 \equiv A_6^1$ $A_7^1 \equiv A_7^1$

Примечание. Столбцы альтернативных вариантов для физических операций Ф010, Ф03, Ф05, Ф06, Ф07, Ф08 остались такими же, как в основной табл. 60; Ф09, Ф011 заменены одной Ф012.

**Сокращенная матрица альтернативных вариантов
для источника питания РЭА**

1. Ф010 — выпрямление	2. Ф012 — инвертирование, стабилизация, выключение	3. Ф03 — увеличение на- пряжения	4. Ф05 — выпрямление тока	5. Ф06 — стабилизация напряжения	6. Ф07 — получение управля- ющего сигнала	Ф08 — получение вы- ключающего сигнала
A_1^1 — мо- стовой выпрями- тель на диодах	A_{12}^1 — ин- вертор транзис- торный на ключах (с колеба- тельным контуром и без него)	A_3^1 — транс- форматор, действующий на основе закона электро- магнитной индукции	A_5^3 — транзи- сторный регули- руемый выпря- митель	A_6^1 — ин- дуктивно-емкост- ный фильтр	A_7^1 — ре- зисторный дат- чик	$A_8^1 \equiv A_7^1$
A_1^2 — ти- ристорный ре- гулируемый вып- рямитель	A_{12}^2 — ин- вертор тиристор- ный на ключах		A_5^5 — мо- стовой выпрями- тель на диодах	A_6^2 — ак- тивный фильтр на тран- зисторах	A_7^2 — дядчик Холла	$A_8^2 \equiv A_7^2$

антов по табл. 59 (рис. 53) с учетом физических операций 8, 10 составляет 376320, по табл. 60 — 37632. Проведем сокращение числа альтернатив в столбцах. Рассмотрим Ф03 — способы увеличения переменного напряжения (см. табл. 59, столбец 4):

A_3^2, A_3^6 — пьезотрансформатор и умножитель могут быть исключены по причине маломощности имеющихся образцов.

A_3^4 — невысокие КПД и надежность.

A_3^5 — пригоден более при постоянных нагрузках.

A_3^7 — наличие подвижных контактов.

Из оставшихся выбираем A_3^1 как наиболее простой, надежный и экономичный способ.

Аналогично рассматриваются и остальные столбцы. В результате получаем сокращенную матрицу, приведенную в табл. 61.

11. *Выбор наиболее эффективных вариантов и их описание.* Комбинации A_7^1 с последующими устройствами дают большие пульсации напряжения и поэтому являются неудовлетворительными. Наиболее эффективное решение приведено на рис. 54.

Переменное электрическое напряжение, поступающее от генератора, с помощью мостового выпрямителя на диодах, работа которого основана на полупроводниковом эффекте, преобразуется в постоянное. Затем с помощью управляемого инвертора реализуются функции получения тока высокой частоты, стабилизации, регулирования, защиты от перенапряжений. Полученное высокочастотное напряжение повышается с помощью высокочастотного трансформатора до нужного уровня и выпрямляется мостовым выпрямителем. Обратная связь осуществляется с помощью датчиков, выдающих управляющие сигналы на инвертор. Приведенная схема преобразователя удовлетворяет поставленным техническим требованиям, является решением поставленной задачи. Она устраняет недостатки прототипа.

ГЛАВА 12. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Люди с психологией машинопочклонников часто питают иллюзию, будто в высокоавтоматизированном мире потребуется меньше изобретательности, чем в наше время; они надеются, что мир автоматов возьмет на себя наиболее трудную часть нашей умственной деятельности ... Это явное заблуждение.

Норберт Винер

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТАБЛИЦ

Рассматриваемый метод предназначен для решения задач 5-го типа (см. п. 4 гл. 1), связанных с выбором наиболее рациональных технических решений (ТР). В своей основе он представляет собой дальнейшее развитие метода морфологического анализа и синтеза ТР, изложенного в гл. 10.

С математической точки зрения суть метода состоит в том, что информацию о прототипах или известных ТР определенного назначения представляют и записывают в виде И-ИЛИ-дерева (И-ИЛИ-графа). Варьируя на этом дереве конструктивными элементами и признаками, можно получить как известные, так и неизвестные (новые) ТР. И-ИЛИ-дерево — это многоуровневая (иерархическая) морфологическая таблица. Метод синтеза ТР на И-ИЛИ-графе отличается от метода морфологического анализа и синтеза тем, что человек выполняет только работу по составлению усложненной морфологической таблицы с предварительной оценкой некоторых показателей качества ТР и их элементов. ЭВМ выбирает в этой таблице по заданному списку требования, подходящие ТР, и формирует их иерархическое описание.

В связи с этим метод синтеза на И-ИЛИ-дереве ТР имеет следующие преимущества по сравнению с традиционным методом морфологического синтеза:

- позволяет описывать ТР с любой степенью детализации;
- обеспечивает в большой мере автоматическую оценку и сравнение вариантов ТР, т. е. устраняет самый значительный недостаток морфологических методов;

автоматизирует описание синтезированных (выбранных) ТР на естественном языке или в виде графического эскиза.

Метод синтеза ТР на И-ИЛИ-графе имеет область наиболее эффективного применения. При значительном удалении от этой области метод становится мало рентабельным. Наиболее эффективно применение метода к классам ТО, удовлетворяющих следующим условиям.

1. Класс ТО должен иметь довольно большое трудно обозримое для специалистов число различных ТР, которое продолжает расти, причем большинство ТР не в сильной степени отличаются друг от друга по функциональным структурам и принципам действия и могут быть объединены в общее И-ИЛИ-дерево.

2. ТО должны состоять из элементов, имеющих небольшое число взаимных функциональных и конструктивных связей и не имеющих жестких конструктивных ограничений, исключающих или весьма затрудняющих замену элементов другими альтернативными вариантами. К таким ТО относятся рассредоточенные в пространстве поточные системы в виде технологических линий, измерительных или энергетических систем и сетей и т. п. Использование метода затруднительно для ТО, состоящих из плотно скомпонованных, взаимно переплетающихся и проникающих друг в друга элементов.

Для использования метода синтеза ТР на И-ИЛИ-дереве (графе) необходимо выполнить следующую работу: провести сбор, анализ и подготовку информации по интересующему классу ТО;

ввести информацию в ЭВМ и отладить на ней пакет программ поиска и синтеза ТР.

Такой пакет программ с необходимой документацией в виде обучающе-рабочего модуля «Синтез технических решений на И-ИЛИ-графе» можно получить в Волгоградском и Марийском политехнических институтах. Если пакет программ не подходит для имеющейся вычислительной техники, то программное обеспечение может быть разработано группой студентов при выполнении курсовой, дипломной работы или УИРС. При этом кроме материалов настоящего пособия, могут быть использованы еще книги [1, 31, 43].

Ниже изложены рекомендации по подготовке информации, алгоритмам и методике решения задач поиска рациональных ТР.

2. ПОСТРОЕНИЕ И-ИЛИ-ДЕРЕВА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В п. 3 гл. 1 дано определение ТР; перечислены шесть групп конструктивных признаков; показано, что с помощью этих групп признаков можно осуществлять многоуровневое иерархическое описание ТР. Рассмотрим подробнее методику такого описания.

Особенности групп конструктивных признаков. Их можно сформулировать следующим образом.

1. Функциональные элементы определяют главные конструктивные признаки. Рекомендации по разделению ТО на элементы даны в п. 1 гл. 2. Для описания функциональных элементов используют их общепринятые наименования.

2. Взаимное расположение элементов в пространстве характеризует расположение функциональных элементов относительно друг друга. Для описания этих признаков обычно используют слова: сверху, снизу, сзади, вставлен внутрь, размещен и т. п.

3. Взаимосвязь элементов определяет такие связи между функциональными элементами, которые обеспечивают их взаимную работу при работе ТО в целом. Связи могут быть самые различные: шарнирное соединение, трубопровод, лазерный луч и т. д.

4. Геометрическая форма элементов характеризует главный признак формы, например: квадратный, круглый в виде параболоида, ребристый, спиральный и т. д.

5. Материал элементов обычно указывает наименование материала, его марку, главное свойство и т. д.

6. Соотношение параметров определяет принципиально важные размеры, значения параметров и их соотношения.

7. Другие особенности конструктивного исполнения элементов могут характеризовать ТО по физическому принципу действия (пьезоэлектрический динамометр), виду используемой энергии (электропечь), технологическому способу изготовления (литой корпус), последовательности взаимодействия элементов во времени и т. д.

Представление отдельного ТР в виде иерархического дерева. При описании ТР в виде иерархического дерева необходимо выполнить следующее.

1. Изучить ТО или ТР, разделить его на функциональные элементы, представляющие интерес для рассматриваемой задачи, и присвоить им, по возможности, обще-

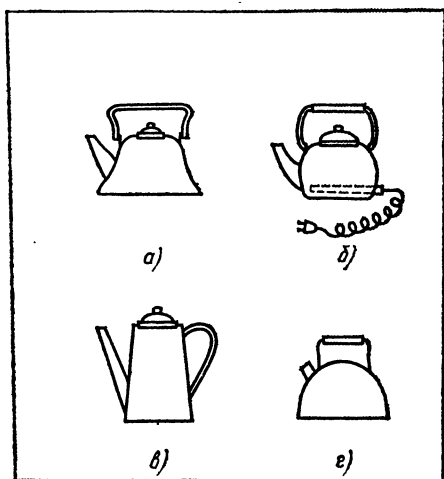


Рис. 55. Конструкция чайников:

а — обыкновенного; б — электрического; в — чайника-кофейника; г — без крышки

принятые наименования. Эти названия элементов изображают в виде вершин 1-го уровня иерархического дерева под названием рассматриваемого ТО.

2. Для каждого функционального элемента 1-го уровня определить существенные (для решаемой задачи) конструктивные признаки, которые изображают в виде вершин 2-го уровня. Среди этих вершин могут быть как перечисленные признаки 2—7, так и наименования функциональных элементов, на которые имеет смысл разделить рассматриваемый элемент.

3. Если некоторые элементы 2-го уровня недостаточно детально (полно) описывают ТР, то для них следует выполнить работу, аналогичную п. 2, и т. д.

Примеры построения иерархических деревьев для четырех вариантов чайников (рис. 55) показаны на рис. 56—59.

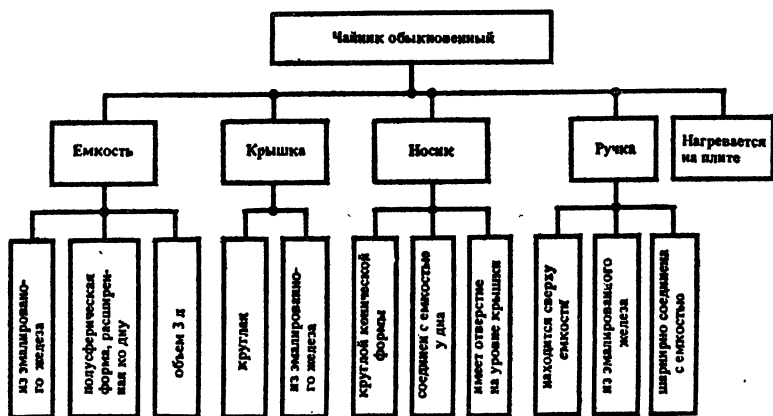


Рис. 56. Представление чайника в виде иерархического дерева

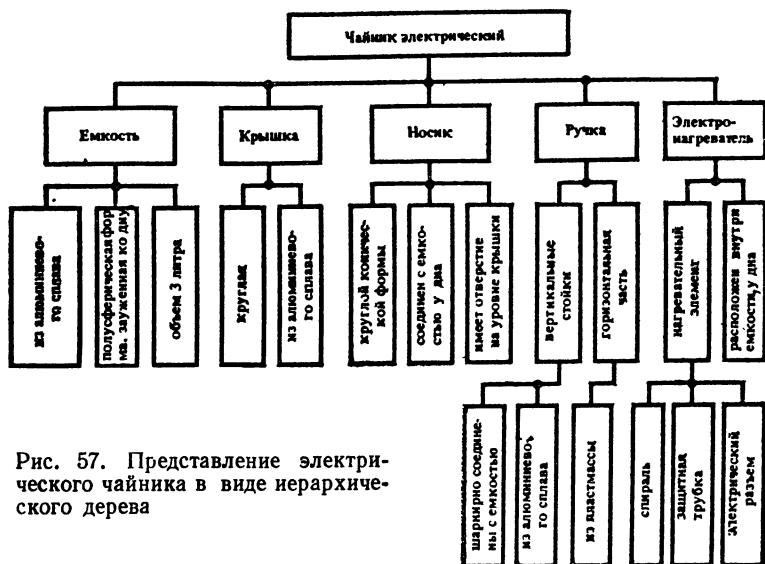


Рис. 57. Представление электрического чайника в виде иерархического дерева

Обратим внимание на то, что дерево описания отдельного ТР имеет только И-вершины, обозначенные на рис. 56—59 точками. И-вершины показывают, что ТО — чайник состоит «из емкости и крышки, и носика, и ручки» и т. д., таким же перечислением соединены вершины 2-го уровня. В связи с этим такие деревья, описывающие отдельные ТР, называют также И-деревом.

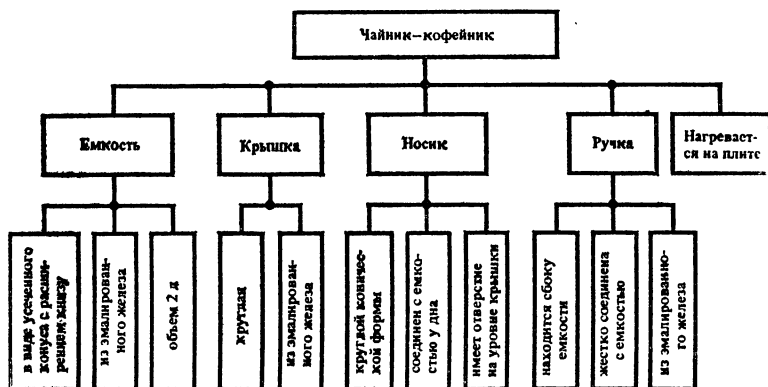


Рис. 58. Представление чайника-кофейника в виде иерархического дерева

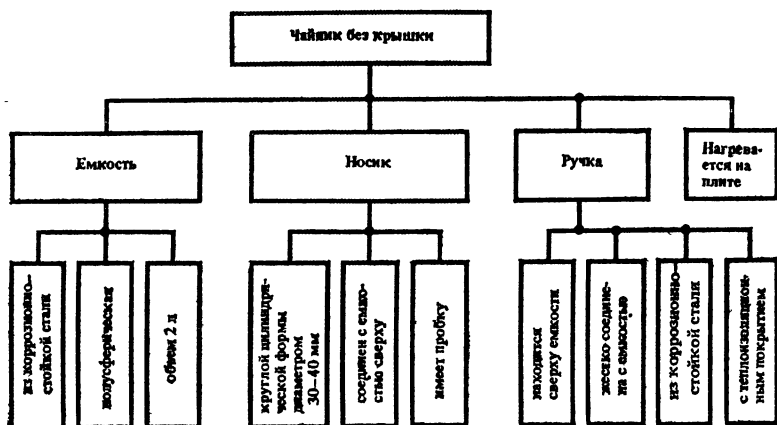


Рис. 59. Представление чайника без крышки в виде иерархического дерева

Объединение нескольких отдельных деревьев ТР в одно общее И-ИЛИ-дерево. Для машинного синтеза рациональных и новых ТР необходимо представить по интересующему классу ТО все наиболее интересные и существенно отличающиеся ТР в виде одного обобщенного дерева ТР. Эта цель достигается построением И-ИЛИ-дерева, которое, помимо вершин И, образующих различные структуры отдельных ТР, содержит вершины ИЛИ, объединяющие альтернативные элементы и признаки, характеризующие индивидуальные особенности каждого ТР.

Построение общего И-ИЛИ-дерева выполняется в следующем порядке.

1. Все множество отобранных ТР, для которых построены И-деревья, разбивают на несколько групп, каждая из которых состоит из ТР наиболее близких, по строению и выполняемым функциям. Будем считать, что ТР, представленные на рис. 56—59, принадлежат к одной группе.

2. Для каждой группы берут отдельные элементы, относящиеся к 1-му иерархическому уровню, и строят для них свои И-ИЛИ-деревья, где И-вершина объединяет характерные элементы и признаки 2-го уровня, а ИЛИ-вершины — альтернативные элементы и признаки. Так, для элемента «емкость» на рис. 60 показан самый типичный случай. Обратим внимание на то, что повторяющиеся

у разных ТР признаки на И-ИЛИ-дереве указываются только один раз. За счет этого достигается значительная экономия в запоминании и хранении информации о большом фонде ТР.

Наряду с типичными случаями для элементов «емкость» и «носик» могут иметь место различные отклонения. Так, для элемента «крышка» (рис. 60) сначала идет вершина ИЛИ, обозначенная буквой В, которая позволяет описать также вариант чайника без крышки, а затем вершина И, обозначенная буквой А. При этом, поскольку во всех четырех вариантах ТР признак «круглая» повторяется, то он указан один раз и не имеет альтернативных вариантов.

В результате для группы близких ТР получают единое И-ИЛИ-дереве, как показано на рис. 60.

3. И-ИЛИ-деревья, построенные для отдельных групп ТР, объединяют в одно общее И-ИЛИ-дереве ТР. При этом для упрощения общего дерева и наибольшего сжатия информации обо всем классе ТР рекомендуется особое внимание уделять единой терминологии, т. е. конструктивные элементы и признаки, одинаковые по функциям и содержанию, следует называть одинаково.

Если И-ИЛИ-дереве объединяет десятки и сотни вариантов ТР, то нужно создавать специальный терминологический словарь, который облегчает составление и развитие И-ИЛИ-дереве и повышает грамотность описания ТР. При создании терминологического словаря целесообразно использовать рубрики указателей классов изобретений, энциклопедий, технические словари, стандарты на терминологию. Словарь лучше всего оформлять в виде таблицы, содержащей четыре столбца со следующими заглавиями:

описание функции элемента (узла, детали и т. д.);

наименование элемента;

возможные конструктивные признаки элемента;

эскиз ТР элемента; эскизы значительно облегчают просмотр и «чтение» И-ИЛИ-деревьев, а также служат исходной информацией для составления эскизов синтезированных ТР и разработки программ для автоматизированного выполнения чертежей.

Расширение множества возможных ТР. Общее И-ИЛИ-дереве в первую очередь представляет интерес как средство компактного представления и хранения информации о многих известных ТР, а также неизвестных, которые

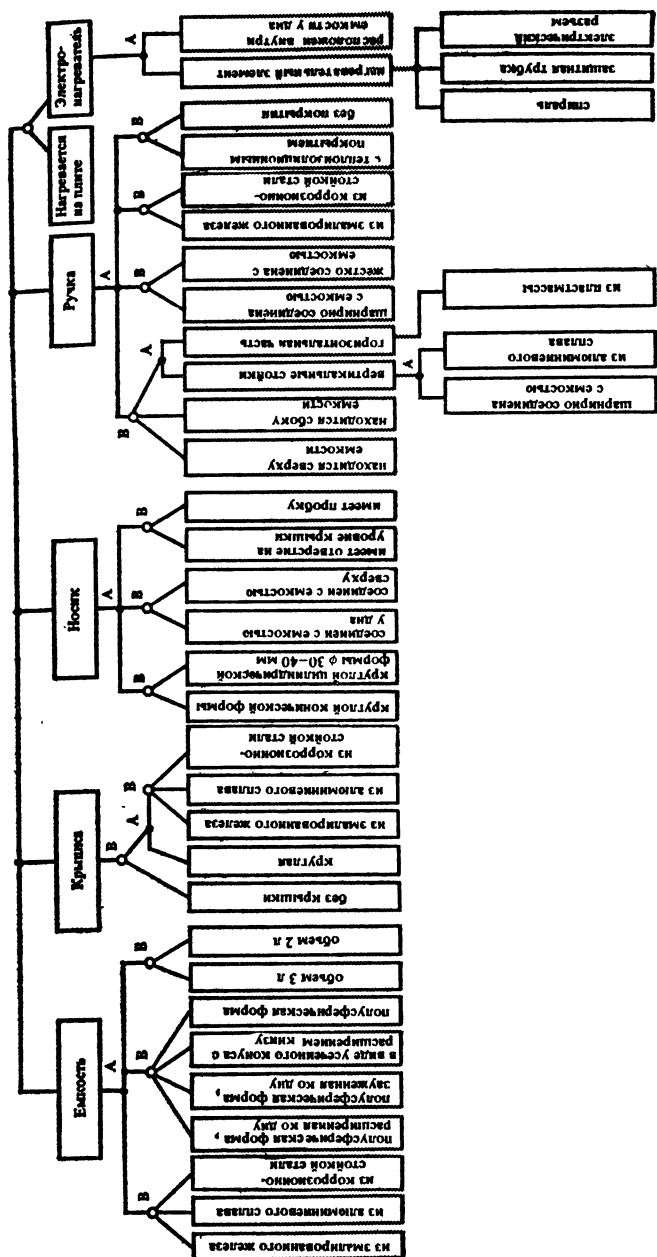


Рис. 60. Общее И-ИЛИ-дерево, построенное на основе И-дерева, представленных на рис. 56—59: А-И-вершины; В-ИЛИ-вершины

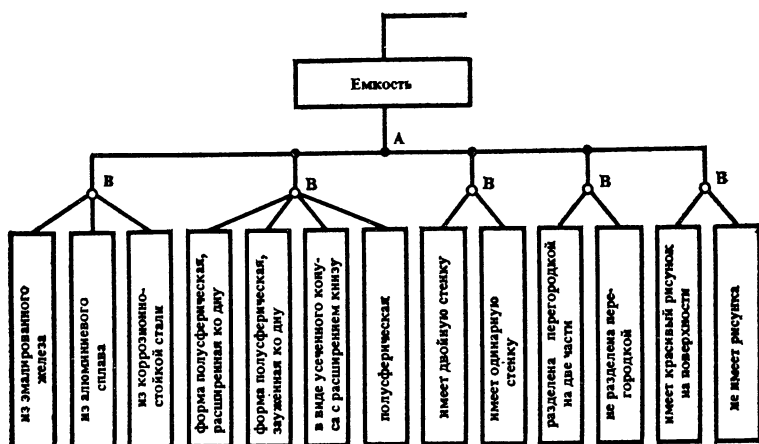


Рис. 61. Пример расширения И-ИЛИ-дерева

могут быть получены путем комбинирования элементов и признаков известных ТР. Однако, как показывает опыт, И-ИЛИ-деревья, построенные на основе только известных ТР, часто содержат мало новых патентоспособных ТР. Поэтому И-ИЛИ-дерево, полученное на основе известных ТР, рекомендуется расширять и дополнять для повышения в нем доли новых патентоспособных ТР. Такое расширение и дополнение ведется, во-первых, на основе изучения самых последних патентов и авторских свидетельств по функционально близким ТО и их элементам; во-вторых, с помощью метода и фонда эвристических приемов (см. гл. 9).

На рис. 61 показан фрагмент дерева, который имеет дополнения для емкости по сравнению с рис. 60. При этом признак «разделена перегородкой на две части» потребует для элемента «носик» ввести альтернативу «два носика».

После составления общего И-ИЛИ-дерева необходимо проконтролировать правильность построения. При этом следует руководствоваться тем, что И-ИЛИ-дерево должно обеспечивать хранение всех известных ТР. При таком контроле берут любое ТР в виде И-дерева и определяют, можно ли его получить из общего И-ИЛИ-дерева путем исключения ИЛИ-вершин.

3. СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА ТРЕБОВАНИЙ

Наряду с информацией, содержащейся в И-ИЛИ-графе, вторым важным информационным фондом является общий список требований для всего интересующего класса ТО. Этот список должен соответствовать всему множеству ТР, представленных в И-ИЛИ-дереве, т. е. общий список требований должен обеспечивать формирование технических заданий (частных списков требований) для выбора (синтеза) любого ТР из И-ИЛИ-деревя. Под техническим заданием подразумевается совокупность требований, оговаривающих необходимую степень выполнения функций объектом и его элементами при заданных условиях и ограничениях.

Общий список требований в первую очередь включает набор требований, относящихся к выполнению функций ТО и его элементов (в эту группу входит большинство требований списка). Далее в него входят требования, касающиеся других групп критериев развития техники (см. гл. 3): технологические, экономические, антропологические и др.

Общий список требований целесообразно разделить на две группы:

обязательные требования, невыполнение которых приводит к прекращению функционирования ТО (нулевой или отрицательный результат функционирования);

дополнительные требования, невыполнение которых приводит к ухудшению эффективности и работоспособности ТО.

В частных технических заданиях требования также разделяются на обязательные и дополнительные. При этом обязательные требования позволяют выявить допустимые ТР, а дополнительные — выбрать из допустимых наилучшие решения.

Следует заметить, что граница между обязательными и допустимыми требованиями условная. Одни и те же требования для различных условий использования ТО и различных технических заданий могут быть как обязательными, так и дополнительными.

Формула описания функциональных требований изложена в п. 3 гл. 1 и п. 1 гл. 2. Описание других требований должно быть кратким, четким и исчерпывающим.

Каждое требование должно иметь определенный диапазон значений. Нужно стремиться к тому, чтобы этот

**Фрагмент списка требований к чайникам
для кипячения воды**

№	Наименование требования	Значения
1	Нагревание воды до 100 °С за время	< 3 мин $3-10$ мин $10-20$ мин > 20 мин
2	Обеспечение хранения и нагревания воды емкостью	1—6 л
5	Обеспечение переноса чайника рукой и выливания воды	Да, нет
9	Вид используемой энергии для нагревания	Химическая, электрическая, солнечная
10	Местоположение источника тепла	Вне емкости, внутри
14	Масса чайника	0,1—3 кг
15	Срок службы	0,1 год 1—3 года 10 лет

диапазон имел количественное выражение (например, масса прибора от 2,5 до 6 кг или не более 3 кг; число рабочих, обслуживающих комплекс, — не более 5 человек). Если количественная оценка значений требований затруднительна, то диапазон может быть выражен через шкалу порядка (например, трудоемкость сборки прибора: высокая, средняя, низкая). Иногда приходится ограничиться только шкалой наименований (например, цвет упаковки: зеленый, синий, желтый).

При формировании технического задания набор требований можно записать в виде

$$T_i = I_1(a_1), I_2(a_2), \dots, I_n(a_n), \quad (24)$$

где I_1, I_2, \dots, I_k — формулировки требований; a_1, a_2, \dots, a_k — уровень выполнения соответствующих требований.

При составлении общего списка требований и частных технических заданий рекомендуется дополнительно руководствоваться п. 6. гл. 1 по составлению списков СТ1—СТ5; гл. 7 и прил. 5 (этапы 1—4); государственными стандартами, техническими условиями, техническими заданиями на разработку, актами испытаний и эксплуатации близких или аналогичных ТО, а также патентами и авторскими свидетельствами.

Поскольку трудоемкость разработки модели оценки вариантов ТР в сильной степени зависит от числа требований в общем списке, то рекомендуется брать небольшое число требований, не включать в общий список те требования, которые не оказывают существенного влияния на выбор более рациональных ТР и легко выполняются в последующей конструкторской проработке.

В табл. 62 приведен фрагмент из общего списка требований по классу ТО «чайники для кипячения воды».

4. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

На основе И-ИЛИ-дерева ТР и общего списка требований разрабатывается модель оценки синтезируемых ТР, которая позволяет ЭВМ сравнивать различные варианты ТР, выбирать ТР, удовлетворяющие заданному списку требований, а также наилучшие ТР.

Модель оценки вариантов ТР основывается на вычислении значений требований (показателей) И-вершин, которые выражают связь между списком требований и конструктивными признаками в И-ИЛИ-дереве.

Показатели И-вершин вычисляются через показатели их преемников (элементов и признаков, объединяемых И-вершиной). При этом рекомендуется использовать пять способов свертки и вычисления показателей.

1. Свертка СУММА используется в тех случаях, когда значение показателя И-вершины определяется суммой значений показателей ее преемников (например, при вычислении массы, стоимости, трудоемкости изготовления и т. п.). Так, масса чайника складывается из массы его элементов.

2. Свертка МИНИМУМ и МАКСИМУМ применяется в тех случаях, когда значение показателя И-вершины

определяется исходя из минимального или максимального значения показателей ее приемников. Например, для вычисления максимальной производительности технологической линии необходимо взять минимальное значение из множества значений максимальных производительностей оборудования на каждой из операций.

Требование эстетичности для чайника определяется сверткой МИНИМУМ значения по этому показателю крышки, емкости, ручки и носика, т. е. красота чайника будет определяться минимальной оценкой показателя одного из его элементов.

3. Свертка СРВЗВ (средневзвешенное) используется в тех случаях, когда значение показателя И-вершины определяется через взвешенные значения показателей ее приемников и когда степени влияния показателей элементов на показатель И-вершины значительно различаются. Так, для чайника время нагревания воды на 30 % зависит от размера емкости и на 70 % — от источника теплоты.

4. Свертка КЛАСС (классификационная) применяется в тех случаях, когда значения показателей ее приемников не различаются, т. е. имеют шкалу наименований (например, форма ручки чайника: круглая, эллиптическая, квадратная и т. д.).

Ниже приведены способы вычисления всех типов сверток.

1. СУММА $K = \sum X_i, i = 1, \dots, n.$

2. МИНИМУМ $K = \min, X_1, \dots, X_n.$

3. МАКСИМУМ $K = \max, X_1, \dots, X_n.$

4. СРВЗВ $K = \frac{\sum \alpha_i X_i}{\sum \alpha_i}, i = 1, \dots, n.$

5. КЛАСС $K = \begin{cases} X_1, & \text{если } X_1 = X_2 = \dots = X_n; \\ \text{в противном случае неопределенно.} \end{cases}$

В формулах приняты обозначения: K — значение требования (показателя) для рассматриваемой И-вершины; X_1, \dots, X_n — показатели приемников, участвующих в свертке; α_i — веса приемников.

При описании и кодировании модели И-вершины присваивается номер (шифр) вершины и составляют список моделей для отдельных требований. Модель для требова-

Т а б л и ц а 63

Форма таблиц совместимости

Преемники вершины B	Преемники вершины A		
	A_1	A_2	...
B_1	X_{11}	X_{12}	...
B_2	X_{21}	X_{22}	...
...

Т а б л и ц а 64

Фрагмент таблицы совместимости для источников теплоты

Источник теплоты	Расположе- ние	
	вне емко- сти	вну- три емко- сти
Газовая плита	1	0
Дровяная печь	1	0
Электрический ток	1	1

ния включает его номер, тип свертки или значение требования (для данной вершины), список номеров преемников данной вершины.

К модели оценки ТР относятся также таблицы совместимости вершин И-ИЛИ-дерева. Эти таблицы предназначены для указания вершин (элементов и признаков), которые не могут появиться в описании ТР одновременно. Таблицы совместимости составляют для каждой пары ИЛИ-вершин, которые могут войти в одно ТР и не все преемники которой совместимы между собой.

Возможны случаи несовместимости по геометрической форме (например, круглое отверстие не может сопрягаться с квадратным элементом), по материалу (нельзя сопрягать некоторые металлы между собой, некоторые пары металл-пластмасса), по виду используемой энергии (переменный и постоянный ток) и т. д.

Для построения таблиц совместимости необходимо попарно просматривать все ИЛИ-вершины и отмечать несовместимые вершины. Результаты просмотра оформляются в виде табл. 63, где A_i — преемник ИЛИ-вершины A ; B_j — преемник ИЛИ-вершины B ;

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } A_i \text{ и } B_j \text{ совместимы;} \\ 0, & \text{если не совместимы.} \end{cases}$$

Фрагмент таблицы совместимости для элемента чайника «источник теплоты» дан в табл. 64.

5. АЛГОРИТМЫ ПОИСКА РЕШЕНИЯ НА И-ИЛИ-ДЕРЕВЕ

Поиск ТР осуществляется в два этапа. На первом этапе сужается область поиска за счет удаления из общего И-ИЛИ-дерева вершин, которые заведомо не могут удовлетворить техническому заданию искомого ТР. На втором этапе на «урезанном» И-ИЛИ-дереве выбирают допустимые и оптимальные ТР.

Алгоритм выполнения первого этапа. Он состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Из списка требований технического задания выбирают те, для которых тип свертки во всех промежуточных вершинах одинаков и входит в перечень табл. 65.

Шаг 2. Просматриваются все вершины И-ИЛИ-дерева, которые имеют оценки по списку требований, сформированному в шаге 1. Для этих вершин проверяются ограничения и индуцированные ограничения (из задания на поиск) в соответствии с табл. 66. Вершины, для которых какое-либо ограничение не выполняется, помечаются как временно удаленные из И-ИЛИ-дерева.

Шаг 3. Просматриваются вершины И-ИЛИ-дерева в порядке от концевых вершин к корню. При этом, если

а) у какой-либо И-вершины хотя бы один преемник оказывается помеченным как временно удаленный, то эта вершина также помечается как временно удаленная;

б) у какой-либо ИЛИ-вершины все преемники помечены как временно удаляемые, то эта вершина также помечается как временно удаляемая.

На этом выполнение первого этапа заканчивается.

Т а б л и ц а 65

Ограничения по типам свертки

Тип свертки	Тип ограничения в техническом задании	Индуктивное ограничение для вершин
МИНИМУМ	$=A$	$\geq A$
	$\geq A$	$\geq A$
	$[A, B]$	$\geq A$
МАКСИМУМ	$=A$	$\leq A$
	$\leq A$	$\leq A$
	$[A, B]$	$\leq B$
КЛАСС	$=A$	$=A$

Алгоритм выполнения второго этапа. Поиск ТР осуществляется путем последовательного перебора вариантов и сравнения их показателей со значениями требования технического задания. Имеется два варианта алгоритма поиска: без требования оптимизации и с требованием оптимизации по одному из показателей (критериев качества).

Шаг 1. На «урезанном» И-ИЛИ-дереве выбирается ТР в виде И-деревя и проверяются его вершины на совместимость. Если все вершины совместимы и показатели выбранного (синтезированного) ТР соответствуют требованиям технического задания, то оно заносится в архив допустимых ТР.

Шаг 2. Повторяется шаг 1, пока в архиве не будет накоплено заданное число допустимых ТР или не будет произведен полный перебор всех ТР на И-ИЛИ-дереве.

Шаг 3. Находится (или берется из архива) допустимое ТР и для него запоминается значение заданного критерия качества.

Шаг 4. Ищется следующее допустимое ТР и его критерий качества сравнивается со значением критерия качества, записанным в памяти после выполнения шага 3. Если критерий качества найденного следующего ТР лучше, то в памяти записывается новое значение критерия качества и соответствующее ему ТР. В противном случае записанное в памяти ТР остается неизменным.

Шаг 5. Шаг 4 повторяется до тех пор, пока не будут найдены на И-ИЛИ-дереве все допустимые ТР. В результате в памяти будем иметь наилучшее ТР.

Здесь приведен простой, надежный, но не самый эффективный алгоритм, работающий по принципу полного перебора. Возможны и более эффективные по быстродействию алгоритмы, основанные, например, на идеях метода ветвей и границ.

6. ПОРЯДОК РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Порядок решения задач поиска рациональных ТР показан на рис. 62.

Пользователь с помощью общего списка требований, вызванного на экран дисплея, формирует техническое задание: список требований к искомому ТР и значения требований в соответствии с формулой (24).

По введенному заданию ЭВМ синтезирует (находит на И-ИЛИ-дереве допустимые ТР и определяет их число).

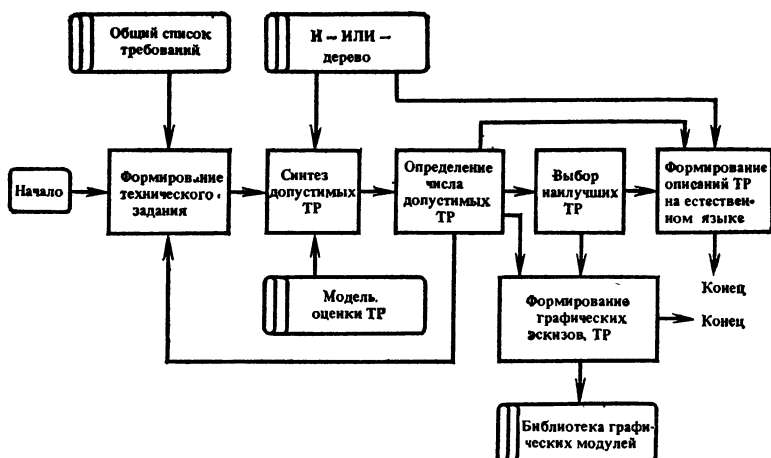


Рис. 62. Решение задач поиска рациональных ТР

Если это число оказывается слишком большим и необозримым, то пользователь усиливает наиболее выигрышные требования и тем самым сужает множество допустимых ТР. В противном случае ослабляет менее важные требования или исключает их из технического задания.

В результате нескольких таких итераций удастся получить небольшое (обозримое) число допустимых ТР и затем выбрать из них наилучшие варианты. Выбранные

Т а б л и ц а 66

Фрагмент технического задания по автоклаву

№	Список требований технического задания	Значения требований
Обязательные требования		
03	Максимальные габаритные размеры	400 мм
05	Время разборки	≤ 9 ч
07	Создаваемое давление	3,9 МПа
Дополнительные требования		
08	Надежность	$\geq 0,985$
09	Эффективность *	8
10	Стоимость *	≤ 6
* Значение дано по десятибалльной шкале		

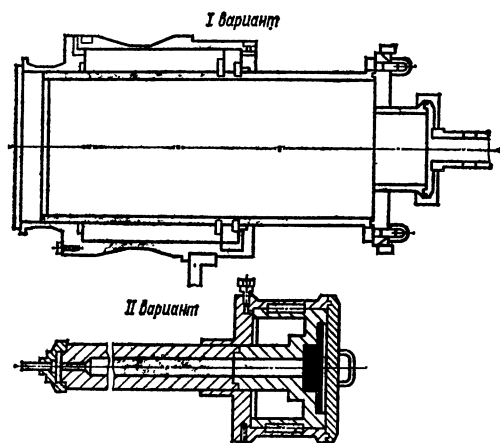


Рис. 63. Примеры графических эскизов, полученных на графопостроителе

ТР могут быть документированы с помощью алфавитно-цифрового печатающего устройства в виде иерархического описания на естественном языке или с помощью графопостроителя в виде графических эскизов. Следует заметить, что существует также информационный фонд — библиотека графических модулей, которым пользуются при формировании графических эскизов ТР.

Пример. Рассмотрим пример поискового конструирования узла автоклава по техническому заданию, приведенному в табл. 66. Ниже приведено описание на естественном языке двух вариантов конструкции синтезированных ЭВМ.

I вариант:

- устройство подавливания СБ.0003
- корпус гидроцилиндра СБ.0007
- корпус Б4 дет. 0046
- заглушка Б4 дет. 0048
- стакан СБ.0008
- труба дет. 0054
- фланец дет. 0055
- кольцо уплотнительное дет. 0065
- поршень дет. 0059
- узел крепления поршня к стакану
- полукольцо нижнее дет. 0061
- полукольцо верхнее дет. 0062

II вариант:

- устройство подавливания СКБ.0001
- поршень СБ.0006
- поршень дет. 0019

- — шток дет. 0018
- крышка СБ.0010
- — крышка Б4 дет. 0022
- — штурец дет. 0021
- узел подачи рабочей жидкости
- — вентиль игольчатый
- — прокладка дет. 0011
- — пробка дет. 0025
- — прокладка дет. 0012

На рис. 63 показаны графические эскизы этих вариантов, также полученных с помощью ЭВМ.

В Волгоградском и Марийском политехнических институтах и Брянском институте транспортного машиностроения имеются учебные системы автоматизированного синтеза ТР на И-ИЛИ-графах, ориентированные на классы объектов: загрузочные устройства автоматических линий, схваты роботов, виброамортизаторы и вибровозбудители, оборудование для лесных складов, фундаменты, ограждающие конструкции и др.

ГЛАВА 13. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

... Гармония есть единственная объективная реальность, единственная истина, которой мы можем достигнуть; а если я прибавлю, что ... гармония мира есть источник всякой красоты, то будет понятно, как мы должны ценить те медленные и тяжелые шаги вперед, которые мало-помалу открывают ее нам.

Анри Пуанкаре

Каждый настоящий изобретатель, каждый творчески работающий конструктор ищут не просто новое улучшенное ТР, а стремятся найти самое эффективное, самое рациональное, лучшее из лучших решений. И такие решения некоторым изобретателям удавалось находить. Это, например, конструкция книги, карандаша, гвоздя, брюк, велосипеда, трансформатора переменного тока, паровой машины и многих других ТО. Такие конструкции в первую очередь характеризуются тем, что они сотни или десятки лет массово производятся и используются без изменения, если не считать мелких усовершенствований.

Но не каждому конструктору удается найти лучшее из лучших ТР. В связи с этим настоящие конструкторы-изобретатели — это не только люди с особым складом ума. Это прежде всего настойчивые, мужественные, смелые и целеустремленные *личности*. Такими они были, есть и будут. Их судьба сходна с первопроходцами земель и океанов, разведчиками недр земли и других романтических небезопасных профессий.

Если в гл. 8—12 даны методы поиска улучшенных ТР, то в настоящей главе рассмотрены постановка и методы решения задач поиска лучшего из лучших ТР, которые математики называют глобально оптимальными. При этом дается два универсальных метода. Один ориентирован на поиск глобально оптимальных многоэлементных структур, другой — на синтез оптимальных форм элементов ТО.

Наивысшие достижения инженерного творчества заключаются в нахождении глобально оптимальных принципов действия и структур ТО.

1. ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Постановка задачи параметрической оптимизации. Прежде чем рассматривать постановку задачи поиска оптимального ТР для заданного физического принципа действия (см. п. 4 гл. 1), разберем задачу более низкого уровня, которую называют задачей поиска оптимальных значений параметров для заданного ТР или сокращенно — *задачей параметрической оптимизации*. Эти задачи неизбежно приходится решать при поиске оптимального ТР, а кроме того, они имеют и самостоятельное значение (см. п. 4, гл. 1).

Любое отдельное ТР, как правило, можно описать единым набором переменных (изменяемых параметров)

$$X = (x_1, \dots, x_n), \quad (25)$$

которые могут изменять свои значения в некотором гиперпараллелепипеде

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (26)$$

где для расширения области поиска не рекомендуется накладывать жестких ограничений на a_i, b_i .

Математическая модель проектируемого изделия ставит в соответствие каждому набору значений (25) некоторый критерий качества (функцию цели) $f(x)$ и накладывает на переменные (25) дополнительные ограничения, представляемые чаще всего в виде системы нелинейных неравенств

$$g_j(X) \geq 0, \quad j = 1, \dots, m. \quad (27)$$

Тогда задача поиска оптимальных параметров ТР состоит в нахождении такого набора (25), который удовлетворяет неравенствам (26) и (27) и обеспечивает глобальный экстремум критерию качества. Для определенности будем считать, что отыскивается минимум, и, если обозначим через D область допустимых решений, удовлетворяющих неравенствам (26), (27), получим задачу математического программирования в n -мерном пространстве: найти точку $X^* \in D$, такую, что

$$F(X^*) = \min_{x \in D} F(X). \quad (28)$$

Часто в задачах параметрической оптимизации на переменные или часть из них наложены условия целочисленности или дискретности. В этом случае область поиска

D становится заведомо многосвязной, а сама задача с математической точки зрения — многоэкстремальной.

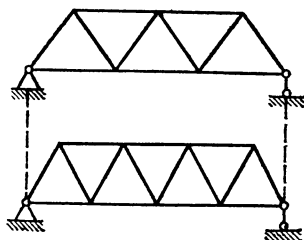
Следует еще заметить, что задачи поиска оптимальных значений параметров в подавляющем большинстве случаев представляют собой многопараметрические многоэкстремальные задачи, в которых функциональные ограничения (27) «вырезают» замысловатые допустимые области. Объемы этих областей могут быть очень малыми по сравнению с объемами гиперпараллелепипедов (26). Однако несмотря на такую сложность большинство задач параметрической оптимизации можно вполне удовлетворительно решить существующими методами.

Постановка задачи структурной оптимизации. Среди задач поиска оптимальных ТР рассмотрим только подкласс, называемый задачами поиска оптимальных многоэлементных структур ТО или коротко — задач структурной оптимизации.

Строгое определение понятия структуры ТО дать затруднительно, поэтому укажем лишь некоторые инженерные и математические свойства, которые связаны с этим понятием.

С инженерной точки зрения разные структуры рассматриваемого класса ТО отличаются числом элементов, самими элементами, их компоновкой, характером соединения между элементами и т. д. Понятие структуры в большей мере аналогично понятию технического решения, данному в п. 3 гл. 1, однако имеются различия, которые вызывают необходимость введения этого дополнительного понятия. Во-первых, в рамках заданного физического принципа действия, как правило, существует более широкое множество ТР по сравнению с множеством, которое можно формально описать при постановке и решении задачи структурной оптимизации. Во-вторых, между отдельными ТР подразумеваются более существенные различия по конструктивным признакам, чем различия между отдельными структурами, иногда формально отличающимися значениями несущественных дискретных переменных. Например, на рис. 64 показаны две фермы моста с решеткой в виде равнобедренных треугольников, которые имеют одинаковые ТР, но разные структуры. Короче говоря, для заданного физического принципа действия множества возможных ТР и множества возможных структур (для рассматриваемой задачи структурной оптимизации) пересекаются, но, как правило, не совпадают.

Рис. 64. Пример различных структур при одинаковом ТР



При этом одно ТР можно представить несколькими близкими структурами.

С математической точки зрения два варианта ТО будут иметь различную структуру, если соответствующие им задачи параметрической оптимизации по одному и тому же критерию качества и при условии выбора оптимальных параметров каждого элемента структуры имеют различные наборы переменных (25) и функции (27), т. е. для различных структур существуют различные задачи параметрической оптимизации. Под критерием качества также подразумевается физико-технический, экономический или другой показатель (масса, точность, мощность, стоимость и т. п.), по значению которого из любых двух структур можно выбрать лучшую.

Постановку задач структурной оптимизации обычно начинают с определения набора переменных по следующей методике.

1. Задают такие переменные, чтобы они могли по возможности описать множество всех рациональных структур S_0 , которые в состоянии оценить существующая математическая модель (см. п. 8 гл. 1) в рассматриваемом классе ТО.

2. Просматривают и анализируют методы преобразования структур, указанные в гл. 9. Дополняют множество S_0 подмножествами новых структур, которые можно синтезировать и оценить с помощью существующей или доработанной математической модели. В результате строится расширенное множество рассматриваемых структур S и описывающий его набор переменных, который обозначим вектором A . Пусть, например, задача структурной оптимизации допускает следующий набор A :

$$(k, l, i, j, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_k, \bar{z}_1, \dots, \bar{z}_l, \bar{v}_{11}, \dots, \bar{v}_{kl}, \omega), \quad (28)$$

где k — число элементов в структуре; l — число способов соединения элементов; \bar{y}_i — вектор, описывающий геометрические, физические и другие свойства i -го элемента; i — номер элемента (1, ..., k); \bar{z}_j — вектор, описывающий геометрические, физические и другие свойства j -го способа

соединения: j — номер способа соединения ($1, \dots, n$); \bar{V}_{ij} — вектор, характеризующий положение i -го элемента в пространстве при j -м способе соединения ($i = 1, \dots, k$, $j = 1, \dots, n$); \bar{w} — другие переменные.

3. Из вектора \bar{A} выделяют вектор \bar{A} независимых переменных, которыми можно варьировать при поиске оптимальных структур. Для зависимых переменных задают алгоритм их определения через независимые переменные.

4. Вектор \bar{A}' разделяют на вектор переменных \bar{A}'_s , обеспечивающих изменение структуры, и вектор переменных \bar{A}'_p , с помощью которых ставят и решают задачи параметрической оптимизации для заданной структуры. Вектор \bar{A}'_p состоит из набора общих переменных \bar{A}_0 , которые присутствуют при изменении любой структуры, и набора переменных \bar{A}'_c , изменяющихся при переходе от структуры к структуре. При решении задачи параметрической оптимизации для заданной структуры используется только определенная часть переменных из набора \bar{A}'_c .

Так, если в задаче структурной оптимизации с указанным набором переменных (28) структура определяется способом соединения, то можно считать, что \bar{A}'_s есть одна переменная

$$j, \bar{A}'_c = \{\bar{y}'_1, \dots, \bar{y}'_k, \bar{w}'\}, \quad \bar{A}'_c = \{\bar{A}'_c, \dots, \bar{A}'_{cl}\},$$

где $\bar{A}'_{cj} = \{\bar{z}'_j, \bar{v}'_{kj}, \dots, \bar{v}'_{ki}\}$ — собственные переменные j -й структуры; штрих означает, что среди соответствующих переменных выбраны независимые.

Допустим, имеется алгоритм выбора из множества S подмножества всех допустимых структур $\{S_1, \dots, S_m\}$, у которых существует хотя бы один набор значений параметров, удовлетворяющих заданным ограничениям. Допустим также, что для любой структуры S_j ($j = 1, \dots, m$) можно решить задачу параметрической оптимизации, т. е. задать пространство переменных

$$\bar{X}_j = (x^j_1, \dots, x^j_{n_j}), \quad j = 1, \dots, m, \quad (29)$$

и по единому критерию качества найти допустимые оптимальные параметры структуры S_j . Оптимальные значения параметров структуры S_j будем обозначать через X^*_j .

Тогда задаче структурной оптимизации можно дать следующую формулировку [1].

Имеется m n_j -мерных параллелепипедов

$$a_i^j \leq x_i^j \leq b_i^j, \quad i = 1, \dots, n_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (30)$$

как с непрерывным, так и с дискретным характером изменения переменных \bar{X}_i^j . Для каждого из параллелепипедов задана по единому критерию качества целевая функция

$$f = f^j(\bar{X}_j), \quad j = 1 \dots, m, \quad (31)$$

и система ограничений

$$g_r^j(\bar{X}_j) \geq 0, \quad r = 1, \dots, p_j, \quad j = 1, \dots, m. \quad (32)$$

Требуется найти точку \bar{X}_j^* , принадлежащую j^* -му параллелепипеду, для которой

$$\left. \begin{aligned} g_r^{j^*}(\bar{X}_{j^*}^*) &\geq 0, \quad r = 1, \dots, p_{j^*}; \\ f^{j^*}(\bar{X}_{j^*}^*) &= \min f^j(\bar{X}_j); \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

$$1 \leq j \leq m.$$

Таким образом, задача структурной оптимизации состоит в нахождении глобально-оптимальной структуры и глобально-оптимальных значений переменных внутри этой структуры, т. е. эту задачу можно назвать также задачей *структурно-параметрической оптимизации*.

К задачам структурной оптимизации относится задача выбора оптимальной компоновки ТО. При постановке и решении таких задач следует использовать закономерность минимизации компоновочных затрат (см. п. 3 гл. 5).

Отметим некоторые особенности задач структурной оптимизации. Во-первых, почти всегда в этих задачах одновременно присутствуют и дискретные, и непрерывные переменные, т. е. задачи структурной оптимизации в общем случае относятся к смешанным задачам математического программирования. Во-вторых, при структурных преобразованиях изменяются число и характер переменных и соответственно функции ограничений и целевые функции. Что касается характера многосвязной области поиска, то отдельные подобласти или имеют различную размерность или (при совпадении размерности) образованы различными наборами переменных.

Алгоритм поиска глобального экстремума. Алгоритм поиска глобально-оптимального решения можно использовать для решения задач как параметрической, так и структурной оптимизации. Укрупненная блок-схема алгоритма включает четыре процедуры (рис. 65):

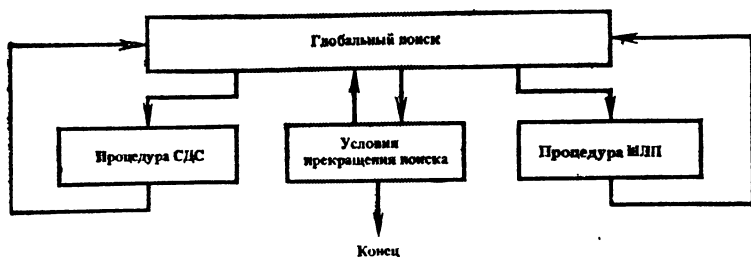


Рис. 65. Блок-схема алгоритма поиска глобального экстремума

1) *синтез допустимой структуры (СДС)*, обеспечивающий выбор допустимого решения из любой подобласти всей области поиска;

2) *шаг локального поиска (ШЛП)*, обеспечивающий переход от одного решения к другому допустимому решению, как правило, той же структуры, но с улучшенным значением критерия; под шагом локального поиска можно понимать некоторый условный шаг по какому-либо алгоритму поиска локального экстремума (например, одна итерация по методу наискорейшего спуска);

3) *глобальный поиск*, управляющий работой процедур СДС и ШЛП;

4) *проверка условий прекращения поиска*, определяющая конец решения задачи.

Более детально построение процедур СДС, ШЛП и проверки условий прекращения поиска рассмотрено в работе [17]. Приведем основные рекомендации.

В некоторых случаях построение процедуры СДС можно свести к предварительному составлению набора допустимых структур, из которого выбирают структуры при каждом обращении к процедуре СДС. Если суть этой процедуры состоит в выборе по возможности допустимого набора переменных структурной оптимизации, то представляется полезным включать в нее правила выбора переменных, основанные на эвристических соображениях, аналитических и экспериментальных исследованиях, изучении опыта проектирования и эксплуатации аналогичных ТО. Для некоторых сложных или малоизученных задач проектирования трудно построить процедуру СДС, обеспечивающую получение допустимых структур. В этом случае в процедуру целесообразно включать операции преобразования недопустимых структур в допустимые. Набор

таких операций можно составить из подходящих эвристических приемов (см. гл. 9, прил. 2). Преобразование недопустимых структур в допустимые можно также решать как задачу оптимизации [17]. В диалоговом режиме работы функцию процедуры СДС может взять на себя проектировщик.

В целом по процедуре СДС можно дать следующие рекомендации, направленные на повышение вероятности выбора допустимых структур и снижение объема вычислений по оценке недопустимых:

способы выбора значений переменных должны содержать правила, отсекающие заведомо нерациональные и недопустимые значения переменных и их комбинации;

ограничения следует проверять не после построения структуры в целом, а по возможности в процессе построения, что позволяет сократить лишнюю работу по ненужным построениям и в ряде случаев сразу внести поправки по устранению дефектов структуры;

проверяемые ограничения должны быть упорядочены по снижению вероятности их нарушения; такое упорядочение иногда можно проводить автоматически в процессе решения задачи.

Процедуры ШЛП включают обычно способы изменения переменных, ориентированные на решение задач как структурной, так и параметрической оптимизации. Приведенные рекомендации по построению процедур СДС можно использовать и при построении способов локального изменения дискретных переменных. Для изменения непрерывных переменных, как правило, применяют различные алгоритмы локального поиска. Ниже указаны наиболее предпочтительные.

В качестве процедуры глобального поиска используется *алгоритм конкурирующих точек*. В основе этого алгоритма лежит принцип эволюции популяции живых организмов, находящихся в ограниченном пространстве, например, на острове. В такой популяции резко обостряется конкуренция между отдельными особями. В связи с этим в основу алгоритма конкурирующих точек положены следующие положения:

поиск глобального экстремума осуществляется несколькими конкурирующими решениями (точками);

условия конкуренции одинаковых для всех решений; в определенные моменты некоторые «худшие» решения бракуются (уничтожаются);

последовательный локальный спуск каждого решения (вначале грубый, затем более точный) происходит независимо от спуска других решений.

Конкуренция позволяет за счет отсева решений, спускающихся в локальные экстремумы, достаточно быстро находить глобальный экстремум в задачах, для которых значение функционала, осредненное по области притяжения глобального экстремума, меньше значения функционала, осредненного по всей области поиска, а область притяжения глобального экстремума не слишком мала.

Алгоритм конкурирующих точек — один из наиболее простых и эффективных по сравнению с другими распространенными алгоритмами поиска глобального экстремума. Так, например, трудоемкость поиска (затраты машинного времени) по этому алгоритму на порядок меньше по сравнению с алгоритмом случайного перебора локальных экстремумов и на два порядка меньше по сравнению с методом Монте-Карло [1, 17].

Для удобства изложения алгоритма решение будем называть также точкой (в многомерном пространстве поиска) и независимо от того, решается ли задача параметрической оптимизации (25)—(28) или задача структурной оптимизации (29)—(33), будем обозначать его X .

Алгоритм конкурирующих точек в общем виде включает следующие операции [1].

1. По процедуре СДС синтезируется l ($l = \eta + \lambda_0$) точек \bar{X}_j ($j = 1, \dots, l$), в которых определяется значение минимизируемой функции (критерия сравнения). Из этих l точек отбирается η точек, имеющих наилучшие значения критерия, которые в дальнейшем называются основными. Запоминается наихудшее значение критерия основных точек φ_0 . При этом считается, что совершен нулевой глобальный (групповой) шаг поиска ($t = 0$).

Таким образом, на t -м групповом шаге поиска имеем основные точки

$$\bar{X}'_1, \bar{X}'_2, \dots, \bar{X}'_\eta, \quad (34)$$

и соответственно невозрастающую последовательность чисел

$$\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_t. \quad (35)$$

2. Каждая основная точка делает шаг локального поиска, в результате чего точки (34) переходят в новую последовательность

$$\bar{X}_1^{t+1}, \bar{X}_2^{t+1}, \dots, \bar{X}_\eta^{t+1}. \quad (36)$$

3. Синтезируется λ_{t+1} дополнительных допустимых точек, каждой из которых разрешается сделать $t+1$ шагов локального поиска при условии, что после каждого шага с номером τ ($0 \leq \tau \leq t$) ее критерий не хуже, чем соответствующий член последовательности (35). При нарушении этого условия точка исключается и не участвует в дальнейшем поиске глобального экстремума. Таким образом, имеется q ($q \leq \lambda_{t+1}$) дополнительных точек, сделавших $t+1$ шаг локального поиска:

$$\bar{X}_1^{t+1}, \bar{X}_2^{t+1}, \dots, \bar{X}_q^{t+1}. \quad (37)$$

4. Среди точек (36) и (37) отбирается η точек с лучшими критериями:

$$\bar{X}_1^{t+1}, \bar{X}_2^{t+1}, \dots, \bar{X}_\eta^{t+1}, \quad (38)$$

которые являются основными на $(t+1)$ -м групповом шаге поиска. Значение худшего критерия точек из последовательности (38) дополняет последовательность (35) числом η_{t+1} .

5. Цикл по пп. 2—4 повторяется до нахождения глобального экстремума по заданным условиям прекращения поиска. В качестве условий прекращения поиска могут быть использованы, например, выполнение заданного числа T групповых шагов.

Считая параметры λ_i независимыми от i , будем иметь только два настраиваемых параметра алгоритма: η — число основных точек и λ — число дополнительных точек.

Проведенные исследования [1, 17] позволяют рекомендовать следующие оптимальные значения этих параметров: $\eta = 2 \div 3$, $\lambda = 12 \div 18$. Для простоты реализации алгоритма можно брать постоянные значения η и λ .

В качестве процедуры ШЛП рекомендуется использовать следующие алгоритмы поиска локального экстремума [1]:

алгоритм случайного поиска в подпространствах (см. п. 2 гл. 13);

алгоритм случайного поиска с выбором по наилучшей пробе;

алгоритм сопряженных градиентов;

алгоритм Нельдера-Мида.

Организация глобального поиска в морфологической таблице. В п. 4 гл. 10 была рассмотрена одна процедура поиска наилучшего решения в морфологической таблице. Однако эту процедуру затруднительно использовать для таблиц, содержащих очень большое число вариантов ТР. В таких случаях для организации поиска в морфологической таблице может быть использован алгоритм конкурирующих точек. Заметим, что организация поиска в морфологической таблице наилучшего ТО — это малоизученная, но очень интересная задача для использования алгоритмов глобального поиска.

В общем случае морфологическая таблица в качестве наименований столбцов содержит описания функций элементов, признаков и свойств элементов и ТО в целом. Будем иметь в виду, что таблица содержит n столбцов с наименованиями:

$$x_1, x_2, \dots, x_n. \quad (39)$$

Для каждого столбца задано множество возможных альтернативных значений B_i , которые представляют собой области возможных значений переменных x_i . Прямое произведение множеств B_i ($i = 1, \dots, n$)

$$B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n, \quad (40)$$

образует морфологическую область поиска в некотором пространстве размерностью n . Среди X_i , как правило, присутствуют и дискретные, и непрерывные переменные.

При выборе наилучшего варианта из (40) обычно принимается во внимание, что:

имеются определенные ограничения, по которым синтезируемые ТР разделяются на допустимые и недопустимые;

имеется вполне определенный критерий качества, по которому из допустимых ТР выбирают лучшие варианты.

Таким образом, задача поиска решения в морфологической таблице может быть сведена к задаче структурно-параметрической оптимизации (33). В книге [41] приведен пример такого преобразования задачи с применением алгоритма конкурирующих точек.

Следует заметить, что при рассмотрении реальных задач машинного поиска решения в морфологической таблице часто возникают трудности построения математических моделей для вычисления критерия качества (31) и ограничений (32). Поэтому организация поиска в морфологической таблице с помощью алгоритма конкурирующих точек имеет смысл не только в случае полного или частичного программирования модели (31), (32), но и при ее отсутствии, когда синтезируемые машиной варианты оцениваются экспертным путем, а глобальный алгоритм обеспечивает организацию наиболее эффективной стратегии поиска. В последнем случае возможно и целесообразно использовать различные принципы сужения области поиска или сократить число экспертно оцениваемых ТР на основе оценок предыдущих вариантов [1, 17].

Если в морфологической матрице требуется выбрать решение не по одному, а по нескольким критериям качества, то ставятся и решаются задачи векторной оптимизации, рассмотренные в работе [1].

2. ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ФОРМ

Анализ большого числа патентов в области машиностроения показывает, что для различных классов ТО число изобретений, в которых патентуются рациональные и эффективные формы элементов, составляет 20—30 %. Однако специальные исследования показали [17, 46], что для реализации определенного списка требований может быть предложено несколько допустимых значительно различающихся форм (различных ТР), каждая из которых представляет локальный экстремум и среди них может быть глобально-оптимальная форма.

Глобально-оптимальные формы мы наблюдаем, можно сказать, каждый день. У любого животного почти любой его орган при внимательном изучении оказывается предельно совершенным. Как возникли эти формы?

Секрет создания оптимальных структур и форм живых организмов был открыт Чарлзом Дарвином, сформулировавшим знаменитый закон естественного отбора. Согласно этому закону природа тысячелетие за тысячелетием совершенствует структуры и формы живых организмов — доводит их до глобально-оптимального состояния или поддерживает в этом состоянии.

Сам собой возникает вопрос: нельзя ли смоделировать закон Дарвина по отношению к ТО и заставить согласно

ему эволюционировать ТО или их ТР? Тем более, что при использовании быстродействующих ЭВМ время эволюции можно сжать на много порядков и, как говорится, наблюдать эволюцию воочию. Такая попытка была сделана в излагаемом здесь методе поиска оптимальных форм [46].

Суть метода состоит в том, что берется некоторая исходная форма конструкции элемента и подвергается в каком-либо месте локальному случайному изменению. Если это изменение недопустимо (нарушаются ограничения) или ухудшается критерий качества, то порожденная форма уничтожается. А если порожденная форма допустима и улучшается критерий качества, то она закрепляется и становится «родителем» — исходной формой для дальнейшего изменения. В результате такой эволюции форма конструкции монотонно улучшается до определенного предела, называемого локальным или глобальным экстремумом. Время эволюции для разных задач составляет при этом всего от нескольких минут до нескольких часов!

С математической точки зрения излагаемый метод автоматизированного поиска оптимальных форм имеет две особенности. Первая состоит в том, что выбирается такое *универсальное пространство параметров* (УПП), в котором для рассматриваемого класса задач можно описать все множество возможных и имеющих смысл форм. Таким образом, УПП должно позволять описывать особенности формы всех известных ТР, а также возможных новых ТР.

Вторая особенность заключается в алгоритме поиска, который благодаря моделированию процесса эволюции живой природы обеспечивает быстрое нахождение локальных и глобального экстремума в заданном УПП.

Постановка задачи. Формальная постановка задачи такая же, как в п. 1 гл. 13, т. е. имеется свой набор переменных (25), функция цели и ограничения (26), (27). Отличие состоит только в задании набора переменных, который назвали УПП.

Могут быть различные способы и модификации задания УПП [1]. Ниже рассмотрим только плоские и осесимметричные формы. Приведем основной способ, в котором *параметрами описания и оптимизации формы являются координаты точек на границе поверхности, образующей форму элемента*. Для образования формы указанные точки соединяются между собой отрезками линий, полученными с помощью способов кусочно-линейной или кусочно-нелинейной аппроксимации. При этом исполь-

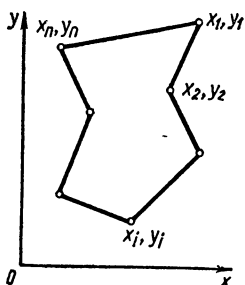


Рис. 66. Прямоугольная система координат

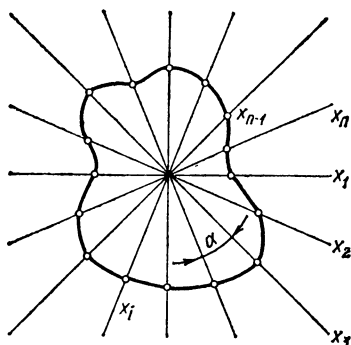


Рис. 67. Полярная система координат

зуют либо прямоугольную либо полярную систему координат. Произвольная форма тела описывается в прямоугольной системе (рис. 66) вектором

$$\bar{X} = [(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)], \quad (41)$$

а в полярной системе (рис. 67) вектором

$$\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha), \quad \alpha = 2\pi/n. \quad (42)$$

В ряде задач при описании плоскосимметричных и осесимметричных тел более подходит специальная система координат в виде параллельных осей X_i (рис. 68). При этом высота оптимизируемой формы вдоль оси y делится на отрезки равной ($\Delta y_i = \text{const}$) или неравной ($\Delta y_i \neq \text{const}$) длины. Наборы оптимизируемых параметров в этом случае можно описать соответственно векторами

$$\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n, \Delta y); \quad (43)$$

$$\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n, \Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n). \quad (44)$$

При фиксированной длине отрезков Δy в формуле (43) или Δy_i в формуле (44) набор оптимизируемых переменных описывается вектором (25).

Если требуется иметь однозначное плавное очертание формы,

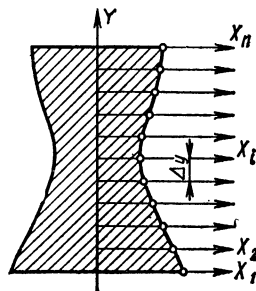


Рис. 68. Способ описания плоскосимметричных и осесимметричных тел

то используют какую-либо плавную кривую, например, полином Лагранжа

$$x = f(y) = a_1 y + a_2 y^2 + \dots + a_n y^n.$$

При этом оптимизируемыми параметрами также остаются компоненты векторов (41)—(44).

Алгоритм поиска оптимальной формы. Поиск глобально-оптимальной формы осуществляется по алгоритму поиска глобального экстремума, изложенному в п. 1 гл. 13 и изображенному на рис. 65. Отличие состоит только в используемой процедуре ШЛП, которая представляет собой описанный ниже алгоритм случайного поиска локального экстремума. Этот алгоритм отличается от широко распространенных алгоритмов случайного поиска в основном тем, что поиск ведется не во всем пространстве переменных, а в *случайно выбранных подпространствах*. Кроме того, приращения переменных учитывают специфику задач поиска формы.

Сравнение алгоритмов при решении различных задач поиска оптимальных форм показало [17, 46], что трудоемкость поиска по алгоритмам, работающим в подпространствах, на два порядка ниже, чем по алгоритмам случайного поиска, работающим во всем пространстве переменных, и на порядок ниже по сравнению с методом сопряженных градиентов.

Рекомендуемый алгоритм случайного поиска в подпространствах можно записать в виде следующих рекуррентных выражений:

$$\bar{X}_{i+1} = \bar{X}_i + \Delta \bar{X}_{i+1};$$

$$\bar{X}_i = \bar{X}_{i-h} \text{ при } [f(\bar{X}_{i-1}) < f(\bar{X}_i)] \vee [g(\bar{X}_i) < 0].$$

Здесь h — число последовательно неудачных шагов поиска; $\Delta \bar{X}_{i+1}$ определяется по формуле

$$\Delta X_{i+1} = \begin{cases} a \bar{\xi}_{i+1} & \text{при } (i = 0) \vee (|\Delta \bar{X}_i| = |\Delta \bar{X}_{i-1}|) \wedge (h > 1); \\ \Delta \bar{X}_i & \text{при } [f(\bar{X}_{i-1}) \geq f(\bar{X}_i)] \wedge [q(\bar{X}_i) \geq 0]; \\ -\Delta \bar{X}_i & \text{при } (|\Delta \bar{X}_i| \neq |\Delta \bar{X}_{i-1}|) \wedge (h \geq 1), \end{cases}$$

где a — максимальная величина рабочего шага поиска; $\bar{\xi}_{i+1}$ — вектор случайных чисел; $\Delta \bar{X}_{i-1}$, $\Delta \bar{X}_i$, $\Delta \bar{X}_{i+1}$ — векторы приращений на $(i-1)$ -, i -, $(i+1)$ -м шагах поиска; \bar{X}_i , \bar{X}_{i+1} , \bar{X}_{i-h} — векторы, описанные по формуле

(25); $f(\bar{X}_{i-1})$, $f(\bar{X}_i)$, $f(\bar{X}_{i+1})$ — значения критериев качества после осуществления $i-1$ -, i -, $i+1$ -го шагов поиска.

Вектор случайных чисел

$$\bar{\xi}_{i+1} = (0, \dots, 0, \xi_k^{i+1}, \xi_{k+1}^{i+1}, \dots, \xi_l^{i+1}, 0, \dots, 0);$$

$$\bar{\xi}_k^{i+1} = \xi_{k+1}^{i+1} = \dots = \xi_l^{i+1} = \psi,$$

где ψ — случайное равномерно распределенное число, выбираемое из интервала $[-1, 1]$; k и l — случайные целые числа, распределенные на отрезке $[1, n]$ и упорядоченные соотношением $k \leq l$.

Имеются и другие модификации этого алгоритма [1], которые могут оказаться более эффективными.

Изложенный локальный алгоритм случайного поиска имеет также смысл использовать самостоятельно, а не как процедуру ШЛП в алгоритме глобального поиска. Более того, целесообразнее работать только с локальными алгоритмами, чтобы прочувствовать и ощутить существование сложной многомерной многоэкстремальной поверхности и научиться ориентироваться в такой ситуации.

Полученную оптимальную форму рекомендуется проанализировать с точки зрения приобретения ею симметрии в соответствии с законами симметрии ТО [12].

3. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Изложенные алгоритмы поиска оптимальных ТР нетрудно запрограммировать и отладить на тестовых задачах, приведенных в книгах [1, 17], что можно сделать в порядке учебной работы, например, в курсе математики (раздел численные методы), программирования и др. При этом можно взять и другие тестовые задачи или придумать их самим.

Основная цель настоящей главы заключается в том, чтобы показать теоретические и методические возможности рассмотрения и решения задач поиска глобально оптимальных структур и форм ТО. В связи с этим не дается подробных примеров решения подобных задач. Познакомиться с такими примерами можно в работе [1, 17].

Разработка алгоритмов и программ решения задач выбора оптимальных структур и форм обычно связана с созданием и развитием САПР, выполнением аспирант-

ских работ, учебно-исследовательских работ студентов и т. п.

Непременным условием применения изложенных методов поиска оптимальных ТР является наличие *универсальной математической модели*, которая должна позволять вычислять и оценивать критерии качества (31) и системы ограничений (27), (32) для любого синтезированного ТР.

В некоторых случаях разработка такой математической модели для интересующего класса ТО не составляет особого труда. В других случаях возникают значительные трудности. В связи с этим могут оказаться весьма полезными разработки методов и пакетов программ по созданию универсальных математических моделей, выполненные в НИИ прикладной математики и механики Томского университета [19], Уфимском авиационном институте [38] и других организациях.

Кроме изложенных здесь алгоритмов, существуют и другие эффективные методы поиска оптимальных ТР, ориентированных на определенный класс ТО. Примеры таких красивых подходов даны в книгах [4, 39, 42].

ГЛАВА 14. ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Последовательно усиливать режим экономии, являющийся одним из важнейших факторов интенсификации производства. Превратить ресурсосбережение в решающий источник удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства.

(Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года)

1. ВСЕСТОРОННЯЯ ЭКОНОМИЯ РЕСУРСОВ

Начиная с конца 60-х годов в инженерной практике технически развитых стран стал быстро распространяться новый подход снижения стоимости (затрат) и повышения качества продукции. Этот подход назвали функционально-стоимостным анализом (ФСА). Многочисленная статистика разных стран показывает, что ФСА позволяет на одну денежную единицу затрат получить до 20 единиц экономии.

Основная суть ФСА заключается в следующем:

применение системного подхода при выявлении по возможности всех излишних затрат (трудоемкость, расход материалов и энергии и т. д.) в существующих или проектируемых изделиях;

систематическое применение методов инженерного творчества при поиске новых ТР с пониженными затратами;

четкая организация работ, исходящая от руководства предприятием и направленная на проведение ФСА и реализацию его предложений.

При проведении ФСА выполняют следующую работу: выявляют и определяют функции (назначение) элементов изделия;

оценивают стоимость выполнения каждой функции (в виде расхода материала, энергии, денежных затрат и т. д.);

выделяют «лишние» (ненужные) функции и функции с чрезмерными затратами на реализацию;

исключают элементы с ненужными функциями и выбирают наиболее рациональные ТР элементов с чрезмерными затратами;

реализуют на практике результаты ФСА.

Причину возникновения ФСА можно пояснить следующим образом [11].

Решение задач, связанных со снижением себестоимости, предполагает возможность применения двух подходов: предметного и функционального. Традиционным, применяемым в течение многих десятилетий, является предметный подход. Специалист, занимающийся проблемой снижения себестоимости изделия, формулирует задачу примерно следующим образом: как снизить затраты на данное изделие?..

При функциональном подходе специалист, наоборот, полностью абстрагируется от реальной конструкции анализируемой системы и сосредоточивает внимание на ее функциях. При этом изменяется и направление поиска путей снижения себестоимости продукции. Четко определив функции анализируемого объекта, их количественные характеристики, специалист по-другому формулирует задачу: необходимы ли эти функции? Если да, то необходимы ли предусмотренные количественные характеристики? Каким наиболее экономичным путем можно достичь выполнения функций?..

Важность и целесообразность функционального подхода обуславливается тем, что потребителя в конечном итоге интересуют не предметы и вещи как таковые, а те действия, которые он может производить с их помощью, т. е. их функции. Например, его интересует не электродвигатель, холодильник, трансформатор, лампочка и т. д., а соответствующие выполняемые ими функции: вращение вала, сохранение продуктов, изменение напряжения, излучение света и т. д.

Область применения ФСА весьма широка, поскольку этот подход имеет смысл использовать в любой сфере человеческой деятельности, в которой требуется снизить какие-либо затраты. ФСА является очень сильным средством интенсификации экономики. Учитывая опыт успешного применения ФСА, его в первую очередь рекомендуется использовать при решении следующих задач:

- проектирование новых изделий и технологий;
- модернизация освоенных в производстве изделий;
- реконструкция предприятий;
- снижение затрат основного и вспомогательного производства;

- снижение затрат сырья, материалов, топлива и энергии;
- снижение трудоемкости и экономия людских ресурсов.

В нашей стране наибольший опыт по освоению и использованию ФСА имеет Министерство электротехнической промышленности СССР, которое начиная с 1977 г. определило следующие организационные основы этой системы:

создание специальных органов и подразделений, способных реализовать резервы снижения затрат с помощью ФСА;

разработка методических и руководящих материалов по организации и проведению ФСА;

обучение основам метода ФСА и его пропаганда среди возможно большего числа специалистов отрасли;

непосредственное проведение ФСА конкретных изделий, освоенных как в производстве, так и на стадии их проектирования; внедрение рекомендаций ФСА для получения реального экономического эффекта.

Все эти мероприятия взаимосвязаны между собой. В настоящей главе в основном обобщен и развит опыт указанного Министерства [11, 49] в направлении усиления ФСА с помощью широкого использования методов инженерного творчества.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ФСА

Один из основополагающих принципов ФСА — определенная последовательность его проведения, задаваемая рабочим планом ФСА. Рабочий план ФСА включает четыре взаимосвязанных этапа, каждый из которых состоит из нескольких отдельных работ. Последовательность, заданная рабочим планом, должна носить обязательный характер, т. е. нельзя приступать к очередному этапу, не выполнив полного объема работы предыдущего этапа.

Рабочий план проведения ФСА включает следующие этапы и виды работ:

1. Подготовительный этап

1.1. Выбор ТО и определение целей ФСА.

1.2. Подбор и утверждение состава исследовательской группы.

1.3. Обучение специалистов группы основам ФСА.

1.4. Составление, согласование и утверждение технического задания (ТЗ) на проведение ФСА.

2. Информационно-аналитический этап

2.1. Сбор и изучение информации по проектно-конструкторским решениям ТО, интересующим затратам, условиям работы и недостаткам ТО.

2.2. Построение конструктивной функциональной структуры ТО.

2.3. Определение списка основных показателей и требований к ТО, критериев развития ТО.

2.4. Анализ и классификация функций элементов ТО.

2.5. Определение и сравнение стоимостей функций.

2.6. Выявление функциональных зон наибольшего сосредоточения затрат в ТО.

2.7. Постановка задач поиска более рациональных и оптимальных конструкторско-технологических решений.

3. Поисково-исследовательский этап

3.1. Поиск улучшенных ТР.

3.2. Математическое моделирование улучшенных ТР.

3.3. Поиск оптимальных параметров улучшенных ТР.

3.4. Экспериментальное испытание новых ТР.

3.5. Выбор наилучших вариантов ТР.

3.6. Оформление результатов в виде технического предложения или (и) эскизного проекта, их согласование с заинтересованными подразделениями и утверждение.

4. Разработка и внедрение результатов ФСА

4.1. Составление и оформление проектно-технологической документации и рекомендаций по реализации результатов ФСА с уточнением расчетов эффективности.

4.2. Согласование предложений по п. 4.1 с заинтересованными подразделениями, службами и их утверждение.

4.3. Организация работы по реализации предложений.

4.4. Материальное и моральное поощрение участников разработки и внедрения рекомендаций по ФСА. Оформление отчета о выполненной работе с предложениями по улучшению проведения ФСА.

Работа на первом, подготовительном этапе имеет две стадии. Сначала по пп. 1.1, 1.2 готовится приказ, в котором, во-первых, указывается, какое изделие или какой технологический процесс требуется проработать с позиции ФСА и какие затраты понизить в первую очередь. Во-вторых, определяется состав временной группы специалистов, сроки проведения исследований и подразделения, обеспечивающие работу временной группы ФСА.

Во временную группу ФСА входят один или несколько человек из постоянной группы (отдела) ФСА, а также прикомандировываются разные специалисты (технолог, методолог, энергетик, снабженец, экономист, эколог и т. д.), компетенция которых необходима при решении поставленных задач ФСА. Если на предприятии нет подразде-

ления ФСА, то во временную группу необходимо включить хотя бы одного специалиста (желательно руководителя временной группы), владеющего подходом ФСА, и методолога-специалиста, владеющего методами инженерного творчества.

На второй стадии (пп. 1.3, 1.4 подготовительного этапа) временная группа ФСА составляет ТЗ, в котором уточняется:

какие узлы и блоки изделия необходимо подвергнуть тщательному ФСА;

какие затраты требуется сократить в первую и во вторую очередь;

какие особые условия и ограничения требуется выполнить;

какая необходима работа обеспечивающих подразделений по сбору и подготовке информации.

Составной частью ТЗ является также сетевой график или план-график проведения ФСА.

Одновременно с составлением ТЗ ведется обучение членов временной группы основам ФСА, если они не имеют соответствующего опыта работы. Для этого иногда целесообразно привлекать преподавателя (методолога) со стороны.

Рекомендации по выполнению этапов 2—4 ФСА даны в следующих параграфах.

3. СБОР И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ

Выполнение работ по пп. 2.1—2.3 информационно-аналитического этапа не требует дополнительных пояснений. Напомним, что при выполнении п. 2.1 в первую очередь нужно руководствоваться рекомендациями п. 1 гл. 2 и использовать словарь технических функций. Заметим, что при комплексном изучении затрат придется часто проводить многоуровневый анализ функций ТО, например, описывать функции интересующих блоков ТО, затем функции узлов, из которых состоят блоки, затем функции деталей и т. д. При выполнении п. 2.3 целесообразно использовать положения и рекомендации, изложенные в гл. 1, 3, 4.

Классификация функций ТО (п. 2.4). Функции элементов ТО, выявленные и описанные при выполнении п. 2.2, могут быть разделены на четыре группы [30]: главные, основные, вспомогательные, ненужные.

Главные функции имеют главные элементы, которые определены в п. 1 гл. 2; они выделяются при составлении таблицы анализа функций и обозначаются через Φ_0 .

Основные функции относятся к элементам, которые непосредственно обеспечивают работу главных элементов; при исключении любой основной функции главная функция в принципе не может быть реализована.

Вспомогательные функции относятся к элементам, которые делают реализацию главной или основной функции более эффективной, более приемлемой или привлекательной для потребителя и т. п.; при исключении любой вспомогательной функции работоспособность ТО сохраняется, но ухудшаются некоторые показатели качества.

Ненужные функции относятся к элементам, которые не играют существенной (или никакой) роли в обеспечении работоспособности ТО и повышении его качества; таким образом, при исключении ненужной функции и соответствующих элементов показатели качества не ухудшаются, а некоторые могут даже улучшаться.

Часть элементов с ненужными функциями выявляется уже при составлении таблицы анализа функций, когда возникает затруднение при формулировке функции какого-либо элемента. Для этих элементов в таблице анализа функции следует указывать: «Полезной функции не имеет». Другую часть таких элементов выявляют среди тех, которые имеют вспомогательные функции. По отношению к этим элементам задают вопрос: «Какие появятся отрицательные последствия при исключении данного элемента?» При ответе на этот вопрос проводят мысленное моделирование (см. п. 8 гл. 1); если оно не дает четкого ответа, проводят математическое моделирование или физическое — путем экспериментального испытания.

Ниже приведен пример классификации функций для электросчетчика.

Класс функций	Описание функций
Главная функция	Измерение расхода электроэнергии
Основные функции	Обеспечение непрерывности электрической цепи между входом и выходом
	Преобразование электрической энергии в механическую
	Измерение мгновенных значений расходуемой электроэнергии
	Непрерывное суммирование мгновенных расходов электроэнергии

Вспомогательные функции	Обеспечение индикации результатов измерения
	Обеспечение необходимой точности измерений
	Создание внешнего красивого вида
	Гарантирование требуемой надежности и износоустойчивости
	Обеспечение нормального уровня техники безопасности
	Уменьшение уровня шума
	Облегчение наблюдения за показаниями

Определение и сравнение стоимости функций (п. 2.5).
Стоимость функций понимается в широком смысле, т. е. имеются в виду любые затраты, связанные с реализацией функций.

Поскольку определение и сравнение стоимости функций проводится для выявления излишних затрат, то укажем следующие основные причины возникновения (источники) излишних затрат.

1. Конструкторы в первую очередь стремятся получить требуемые эксплуатационные показатели. При этом они не уделяют достаточного внимания экономическим показателям или у них нет полной информации о стоимости некоторых материалов, способов обработки и т. д. Это часто приводит к изготовлению многих деталей из неоправданно дорогих или дефицитных материалов, с использованием не самых дешевых технологий.

2. Иногда конструкторы слабо знают условия эксплуатации и изготовления ТО. В связи с этим к некоторым показателям ТО они предъявляют для перестраховки неоправданно высокие требования, что приводит к излишним затратам.

3. В ряде случаев из-за чрезмерной загруженности конструкторы принимают на начальных стадиях проектирования временные, недостаточно обоснованные и отработанные ТР, которые затем переходят в документацию на серийное производство.

4. Стремление к достижению высокого уровня унификации часто превращается в самоцель. При этом не учитываются объем выпускаемой продукции и экономическая целесообразность унификации.

Существуют два способа оценки стоимости функций. Первый — метод прямого расчета затрат на основании стоимости материалов, операций технологического про-

Сравнение затрат на реализацию функции

№ по пор.	Варианты реализации функции	Показатели затрат					
		Расход материала		Трудоемкость		Энергозатраты γ_5	Суммарная стоимость $\sum \gamma_i$
		сталь γ_1	медь γ_2	изготовления γ_3	эксплуатации γ_4		
1	Изучаемое изделие	3	2	5	4	2	16
2	Аналог 1	1	3	3	5	5	17
3	Аналог 2	5	4	1	3	1	14
4	Патент 1	4	1	2	2	3	12
5	Патент 2	2	5	4	1	4	16

цесса и т. д. Несмотря на высокую точность этого метода часто не удастся (в связи с большой трудоемкостью сбора информации или отсутствием таковой) расчетным путем определить стоимость функций для изучаемого и аналогичных ТО.

В связи с этим чаще используют менее трудоемкий и более универсальный метод экспертных сравнений стоимостей функций для изучаемого и аналогичных изделий. При использовании этого метода для каждой функции заполняют форму (табл. 67), в которой по каждому показателю и для каждого варианта реализации функции устанавливается относительная шкала порядка, т. е. лучшему варианту присваивается стоимость 1, худшему — стоимость m , равная числу сравниваемых вариантов. В табл. 67 приведен пример относительной оценки затрат для пяти вариантов реализации функции, где вариант 4 (патент 1) имеет наименьшие затраты.

Разумеется, набор показателей затрат в табл. 67 для разных функций будет различным.

Самая предварительная оценка затрат, определяемая по табл. 67, равна сумме оценок $C = \sum \gamma_i$. Более точная оценка затрат может быть сделана с учетом весовых коэффициентов:

$$C = \sum_{i=1}^m \frac{\gamma_i}{k_i}, \quad (43)$$

Сводная ведомость стоимостей функций

Описание функции	Наименование соответствующего элемента	Наименование показателей затрат (оценки стоимости функции)	Единица измерения	Стоимость функции	
				минимально возможная	максимально допустимая
1 ...	1 ...	1.1. ... 1.2.			
2 ...	2 ...	2.1. -.. 2.2.			

где k_i — весовой коэффициент, принимает значения на отрезке $[1, 10]$; чем важнее показатель, тем выше вес.

При относительной оценке стоимостей функций важно выделить минимальную стоимость по табл. 67 или формуле (43) и максимальную допустимую стоимость (обычно соответствующую изучаемому изделию). Обе эти величины являются хорошими ориентирами при поиске улучшенных вариантов ТР при выполнении третьего, поисково-исследовательского этапа.

Работу по оценке стоимостей отдельных функций оформляют в виде сводной таблицы стоимостей функций, форма которой дана в табл. 68. Следует заметить, что функция может иметь несколько показателей оценки, при этом в табл. 68 приводят только основные показатели.

Оценка функций и установление стоимостных ориентиров в виде минимально возможной и максимально допустимой стоимости функций делают процесс снижения затрат *целенаправленным*.

Изложенная методика сравнительной оценки функций элементов и изделий в целом представляется довольно трудоемкой. Устранение этого недостатка, по-видимому, возможно при создании объектно ориентированных каталогов или банков данных, где конструктор мог бы быстро находить готовые оценки затрат на реализацию интересующей функции.

Выявление зон наибольшего сосредоточения затрат (п. 2.6). При выявлении функциональных зон наибольшего сосредоточения затрат в ТО можно использовать несколько подходов.

1. После выявления затрат на выполнение функций элементов для каждой из них определяют ресурс функции по сравнению с нормативным сроком эксплуатации ТО. Относительно этого срока вычисляют повышенный (со знаком «+») или пониженный (со знаком «-») ресурс

$$P_i = \frac{D_i \pm D_n}{D_n} 100\%.$$

i -го элемента, реализующего свою функцию. Здесь D_i — срок службы i -го элемента (детали, узла, и т. п.); D_n — нормативный (фактический) срок службы ТО.

Далее определяют долю излишних и недостающих затрат

$$R_i = \frac{P_i Q_i}{100}, \quad (44)$$

где Q_i — относительные затраты на выполнение функции i -м элементом в процентах. Значение R_i соответствует доле повышенных (излишних) или пониженных (недостающих) затрат по отношению к стоимости ТО.

Наибольшие положительные значения R_i соответствуют зонам наибольшего сосредоточения затрат. Если повышение ресурса ТО в целом является актуальной задачей, то следует рассматривать наибольшие отрицательные значения R_i повышения ресурса i -го элемента.

2. С помощью табл. 68 и 69 составляют таблицу наибольших разностей между существующей (в рассматриваемом ТО) и минимально возможной стоимостью функций, форма которой дана в табл. 69, где относительная разность берется между существующей и минимально возможной стоимостями по отношению к существующей. В этой таблице функции упорядочивают по уменьшению разностей до 5—10 %. Зоны наибольшего сосредоточения излишних затрат соответствуют наибольшим разностям стоимостей функций.

3. Для выявления зон наибольшего сосредоточения затрат используют АВС-анализ, который предполагает разбивку узлов и деталей любого изделия на три группы:

- группа А — дорогостоящие элементы (детали, узлы);
- группа В — элементы средней стоимости;
- группа С — элементы низкой стоимости.

Т а б л и ц а 69

Таблица наибольших разностей
стоимости функций

Описание функции	Наимено- вание соот- ветствующе- го эле- мента	Относи- тельная разность стоимо- стей, %
1.
2. ...		
.....		

Т а б л и ц а 70

Классификация зон
сосредоточения затрат

Группа элементов	Доля от об- щего числа элементов (деталей), %	Доля от общей стоимости изделия, %
А	5	75
Б	20	20
С	75	5

Статистические исследования показывают, что в большинстве случаев между числом деталей в этих группах и их суммарной себестоимостью сохраняется более или менее постоянное соотношение (табл. 70).

Для выявления зон наибольшего сосредоточения затрат используют данные расчетов по формуле (44) и данные табл. 69, на основе которых составляют список функций с наибольшими затратами. В этот список включают функции (элементы), которые одновременно имеют наибольшие значения в табл. 69 и наибольшие положительные значения R_i . Кроме того, выделяют функции с наибольшими отрицательными значениями R_i , для реализации которых необходимы другие (более долговечные и надежные) ТР или дополнительные затраты.

Другой способ выделения зон наибольшего сосредоточения затрат состоит в том, что на основании табл. 69 и 70 составляют два списка таких зон: первый (главный) список включает функции (элементы), которые одновременно вошли в табл. 69 и группу элементов А в табл. 70, второй (дополнительный) список включает функции элементов, которые одновременно вошли в табл. 69 и группу В в табл. 70.

Существует еще один подход выявления зон наибольшего сосредоточения затрат. В соответствии с изложенной выше классификацией функций затраты обычно имеют следующее нормативное распределение:

- основные функции 20—30 %;
- вспомогательные функции 40—50 %;
- ненужные функции 5—10 %.

При оценке функций нередко обнаруживается, что на осуществление вспомогательных функций приходится

чрезмерно большая доля затрат (60—70 %), т. е. здесь заложены основные резервы снижения себестоимости.

Следует оговориться, что распределение затрат в соответствии с классификацией функций в значительной степени зависит от специфики ТО. Поэтому требуются обоснованные нормативы распределения долей затрат по группам функций для интересующего класса ТО. Однако таких нормативов пока нет.

Постановка задач поиска более рациональных решений и оформление результатов информационно-аналитического этапа (п. 2.7). Постановка задачи поиска улучшенных решений выполняется по рекомендациям гл. 7; при этом ведется проработка по операциям 3—9, 11, 12. Отметим некоторые особенности только для двух операций. Так, при выполнении операции 3 берут имеющийся ТО, который требуется улучшить, и выбирают наиболее выигрышные и эффективные варианты реализации из табл. 67. В списке недостатков (операция 4) отражаются в основном зоны наибольшего сосредоточения излишних затрат.

В результате проведения информационно-аналитического этапа получаем следующую документацию:

- таблицу анализа функций ТО и конструктивную функциональную структуру ТО;

- перечень главных, основных, вспомогательных и ненужных функций;

- список критериев развития, основных показателей и требований, предъявляемых к улучшаемому ТО;

- сводную таблицу стоимостей функций;

- список и характеристику зон наибольшего сосредоточения затрат;

- постановку конструкторских задач по устранению элементов с ненужными функциями;

- постановку конструкторских задач по удешевлению функций, содержащих излишние затраты;

- список неясных вопросов, возникших при сборе, систематизации и анализе информации, для последующего обсуждения со специалистами;

- перечень и описание возникших идей по улучшению ТО.

При выполнении информационно-аналитического этапа можно отметить следующие характерные ошибки:

- слабое привлечение знаний и опыта специалистов других служб из-за ложной боязни потерять свой авторитет или из-за нежелания, а иногда и неумения, наладить с ними деловые контакты;

получение слишком скудного или чрезмерно большого объема информации об исследуемом объекте, на что затрачивается слишком много времени и ресурсов; поэтому следует ограничиваться оптимальным объемом информации, определяемым конкретными целями анализа и временем, оговоренным в плане работы; пренебрежение известными правилами делопроизводства; вся собранная и обработанная информация должна систематизироваться и надежно храниться для повторного использования.

Весьма характерной ошибкой является отвлечение на одну из первых идей, возникших в процессе сбора и анализа информации. Идея может показаться интересной, перспективной. Появляется желание заняться ее разработкой и, по существу, прекратить дальнейший сбор и анализ информации. От таких соблазнов следует уходить, не изменяя главным принципам системного анализа.

4. РАЗРАБОТКА УЛУЧШЕННЫХ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ

При выполнении п. 3.1 (поиск улучшенных технических решений) следует руководствоваться рекомендациями гл. 8—12.

Для выполнения п. 3.2 (математическое моделирование улучшенных ТР) целесообразно использовать интегрированные системы математического моделирования, которые имеют большие возможности по моделированию изделий с различными ТР. Такие работающие системы можно получить в Уфимском авиационном институте и НИИ ПММ при Томском университете [19, 38].

При выполнении п. 3.3 (поиск оптимальных параметров улучшенных ТР) следует руководствоваться рекомендациями гл. 13, а также использовать соответствующие пакеты прикладных программ.

Выполнение пп. 3.4—3.6 не требует дополнительных пояснений. Здесь только заметим, что п. 3.4 (экспериментальное испытание новых ТР) проводится в случае, если математическое моделирование не дает удовлетворительных результатов, а проверка предложений необходима. При выборе наилучших вариантов п. 3.5 полезно составлять положительно-отрицательные оценки по форме табл. 71.

Пример оценки вариантов

Факторы	Варианты	
	1	2
Положительные	Сумма приведенных затрат 72 тыс. р. Снижение себестоимости на 12 тыс. р. Рост производительности труда на 18 % Улучшение качества и товарного вида	Сумма приведенных затрат 90 тыс. р. Снижение себестоимости на 6 тыс. р. Рост производительности труда на 5 %
Отрицательные	Реактопластавтоматы — «узкое место» производства оборудования Изготовление сложной пресс-формы Необходимость применения нового пресс-материала ГСП—32	Остается трудоемкая операция доработки детали после прессования в компрессионной пресс-форме Сложность переработки пресс-материала АГ-4В

5. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ФСА

Выполнение пп. 4.1, 4.2 не требует особых пояснений. Следует заметить, что в некоторых случаях вообще не потребуются разработка проектно-технологической документации, а достаточно будет ограничиться рационализаторским предложением.

Выполнение п. 4.3 связано с составлением и утверждением плана-графика внедрения рекомендаций по ФСА, доведением его до соответствующих подразделений и служб, а также обеспечением контроля выполнения плана-графика. При этом необходимо добиться, чтобы внедрение предложений ФСА осуществлялось в рамках общего плана повышения эффективности производства, а мероприятиям по ФСА уделялось особое внимание ввиду их новизны и повышенной сложности из-за большего числа новых оригинальных решений.

Один из возможных путей ускорения практической реализации результатов ФСА — создание специальных групп (групп реализации, комплексных бригад и т. п.),

состоящих из конструкторов, технологов, исследователей, работников цехов, которые осуществляют более оперативное доведение найденных решений до практического осуществления [11].

В этой связи целесообразно участников внедрения заинтересовать и привлечь к работам по ФСА на всех четырех этапах.

6. МЕТОДИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Рассмотрим пример, иллюстрирующий использование ФСА на втором этапе (выполнение пп. 2.1—2.7) при решении задачи совершенствования конструкции школьного портфеля.

2.1. В настоящее время существует большое число различных моделей школьных портфелей. Портфель предназначен для переноса книг, тетрадей и прочих мелких предметов общей массой не более 5 кг. Условия эксплуатации портфеля довольно тяжелые. В дождь переносимые предметы должны защищаться от повреждения. Он часто

Т а б л и ц а 72

Анализ функций портфеля. Функция портфеля:
обеспечение хранения и переноса предметов общей массой не более 5 кг

Элементы		Функция	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_0	Корпус	Φ_0	Обеспечение хранения и переноса предметов (V_2) не более 5 кг
E_1	Крышка	Φ'_1	Предохранение предметов (V_2) от внешних воздействий (V_3)
		Φ''_1	Передача усилия от ручки (E_2) на корпус (E_0)
E_2	Ручка	Φ_2	Передача усилия от руки (V_1) на крышку (E_1)
E_3	Замок	Φ_3	Закрепление подвижной части крышки (E_1) на корпусе (E_0)
E_4	Перегородка	Φ'_4	Разделение переносимых предметов (V_2)
		Φ''_4	Увеличение устойчивости формы корпуса (E_0)
E_5	Карман на корпусе	Φ_5	Обеспечение хранения мелких предметов (V_2)

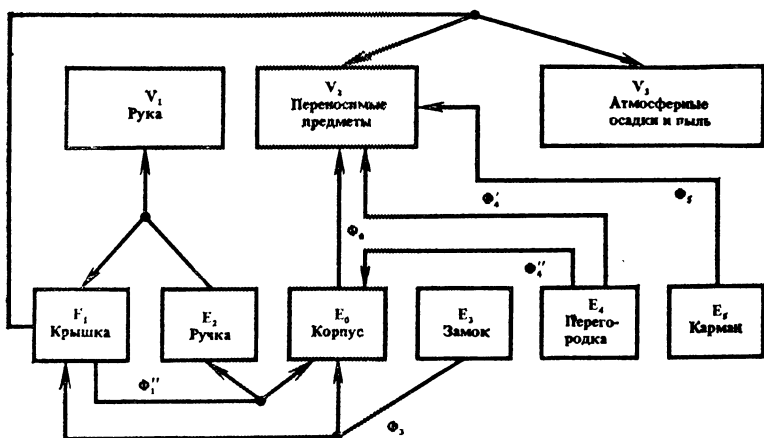


Рис. 69. Функциональная структура портфеля

используется не по назначению: в качестве орудия самозащиты и нападения, для сидения на нем и т. д. Портфель может лежать на сырой земле или траве, на снегу, в пыли. Срок эксплуатации 2—3 года — это нормативный ресурс. Существующие модели портфелей обладают рядом недостатков: недостаточно хорошо сохраняют внешнюю форму, не всегда обеспечивают предохранение предметов от воздействия окружающей среды и т. д.

2.2. В табл. 72 приведено описание конструктивной функциональной структуры наиболее распространенной конструкции портфеля, а на рис. 69 изображена соответствующая структура.

2.3. Список основных требований к школьному портфелю можно сформулировать таким образом:

надежное предохранение предметов внутри портфеля от действия окружающей среды;

обеспечение удобства переноса портфеля;

сроки эксплуатации 3 г.;

снижение себестоимости;

собственная масса не более 1,2 кг;

сохранение объемной формы;

повышение надежности работы замка;

улучшение внешнего вида портфеля.

Можно выделить следующие критерии развития:

трудоемкость изготовления портфеля;

расход материалов;

Сводная ведомость стоимостей функций

Функция	Наименование элементов	Стоимость функции, руб.	
		минимально возможная	максимально допустимая
Φ_0	Корпус	1,64	2,84
Φ'_1, Φ_1	Крышка	0,60	0,96
Φ_2	Ручка	0,28	0,32
Φ_3	Замок	0,24	0,76
Φ'_4, Φ_4	Перегородка	0,23	0,23
Φ_5	Карман	0,35	0,38

эргономичность;
красота внешнего вида.

2.4. Функции элементов портфеля, выявленные и описанные при выполнении п. 2.2 можно разделить следующим образом. Функция элемента E_0 совпадает с функцией ТО в целом и является главной. К основным функциям относятся Φ'_1, Φ_2 и Φ_3 . Функции $\Phi'_1, \Phi'_4, \Phi_4, \Phi_5$ относятся к вспомогательным. Ненужные функции отсутствуют, что, по-видимому, вызвано длительной эволюцией конструкции портфеля.

2.5. Определение и сравнение стоимости функций элементов портфеля нетрудно сделать в сопоставимых денежных единицах. В табл. 73 приведена сводная ведомость стоимости функций, где максимально допустимая стоимость соответствует выпускаемым портфелям, а минимально возможная определена по лучшим аналогам и экспертным оценкам специалистов.

2.6. Выявление зон наибольшего сосредоточения затрат начнем с оценки ресурса функций. Степень использования функции Φ_0 определяет ресурс всего портфеля. Как правило, в первую очередь нарушение (примерно на 25 %) этой функции происходит из-за повреждения углов корпуса.

Функция Φ'_1 реализуется только в условиях непогоды, и поэтому избыточность составляет 50 %.

Функция Φ'_1 реализуется при переносе портфеля и связана с функцией Φ'_1 . Крышка изготавливается из того же материала, что и корпус, и имеет повышенную жесткость. Таким образом, ресурс функции Φ'_1 завышен по сравнению с ресурсом портфеля примерно на 20 %.

Т а б л и ц а 74

Доли излишних и недостающих затрат

Обозначение функции	Ресурс функции повышенный (+), пониженный (-) $P_i, \%$	Относительные затраты на выполнение функции $Q_i, \%$	Доли излишних (+) или недостающих (-) затрат $R_i, \%$
Φ_0	-25	40	-10
Φ_1'	+50	15	7,5
Φ_1''	+20	8	1,6
Φ_2	0	6	0
Φ_3	-30	18	-5,4
Φ_4'	+60	5	3
Φ_4''	+10	6	0,6
Φ_5	+40	2	0,8

Т а б л и ц а 75

Пример выявления относительной разницы стоимостей

Функции	Наименование элементов	Относительная разность стоимостей, %
Φ_3	Замок	68
Φ_0	Корпус	42
Φ_1', Φ_1''	Крышка	37
Φ_2	Ручка	12

Функция Φ_2 имеет ресурс, соизмеримый с продолжительностью эксплуатации портфеля.

В рассматриваемой конструкции у функции Φ_3 заниженный ресурс, обусловленный сложной конструкцией замка и более низким сроком безотказной работы по сравнению с портфелем. Ресурс этой функции занижен на 30 %.

Функция Φ_4' имеет повышенный ресурс, примерно на 60 %.

Функция Φ_4'' совмещается с функцией Φ_4' и имеет повышенный на 10 % ресурс по сроку службы.

Функция Φ_5 имеет ресурс, превышающий срок службы портфеля на 40 %.

Для выявления зон наибольшего сосредоточения затрат результаты проведенного анализа удобно представить в виде табл. 74, из которой видно, что наибольшие излишние затраты выпадают на долю функции Φ_1' (крышки), а наибольшие недостающие затраты несут функции Φ_0 (корпуса) и Φ_3 .

На основе табл. 73 составим табл. 75 наибольших разностей (более 10 %) стоимостей функций в порядке убывания.

На основании табл. 74, 75 можно сделать вывод, что наибольшие затраты сосредоточены при реализации функций Φ_0 , Φ_1 , Φ_3 . Кроме того, следует обратить внимание на низкую надежность выполнения функций Φ_0 , Φ_3 .

2.7. По результатам расчетов, приведенных в табл. 74, 75, можно сформулировать задание по усовершенствованию конструкции портфеля в целях снижения его стоимости и повышения эксплуатационной надежности. Доля излишних затрат по функции Φ_0 значительна и требует перехода на другие, более дешевые и технологичные материалы. В то же время доля недостающих затрат по функции Φ_0 также велика по фактическим расходам. Усовершенствование корпуса за счет укрепления его углов металлическими планками или плотным материалом требует незначительных дополнительных затрат, позволяющих существенно повысить ресурс этой функции. Для исключения избыточности функций Φ'_1 и Φ''_1 целесообразно на конструктивной функциональной структуре (см. рис. 69) разделить элемент E_1 в соответствии с функциями Φ'_1 и Φ''_1 .

Для реализации функции Φ'_1 следует ввести элемент E'_1 , который может быть выполнен в виде тонкой полимерной пленки, а для реализации Φ''_1 — элемент E''_1 , который может быть изготовлен в виде ремней, несущих силовую нагрузку. При этом элементы E'_1 и E''_1 могут быть конструктивно скреплены. Имеет смысл упростить конструкцию замка. В качестве варианта конструкции замка можно использовать подпружинную защелку, конструктивно совмещенную с выделенным элементом E'_1 . Совершенствовать ручки конструкции нет необходимости, так как на реализацию ее функции излишние затраты незначительны.

Более подробно примеры выполнения ФСА можно найти в книге [11].

7. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ФСА

ФСА (как видно из рабочего плана его проведения) кроме своего основного назначения дает действенные организационные рекомендации для внедрения методов инженерного творчества на предприятиях. Наряду

с этими методами необходимо пропагандировать и обучать специалистов использованию подходов ФСА.

Следует отметить, что несмотря на успешный опыт применения ФСА в Министерстве электротехнической промышленности и ряде других ведомств, этот весьма эффективный и перспективный метод пока слабо разработан. В связи с этим укажем некоторые важные направления работ по развитию ФСА и повышению его эффективности.

1. Разработка объектно- и проблемно-ориентированных словарей технических функций (см. п. 3 гл. 1), а также межотраслевого словаря технических функций. Такие словари должны создаваться в виде баз данных на машинных носителях с необходимым программным обеспечением.

2. Теоретическая и методическая разработка вопросов определения стоимости функций элементов ТО. Особое внимание следует обратить на создание соответствующих автоматизированных информационно-поисковых систем и баз данных.

3. Теоретическая и методическая разработка вопросов определения зон наибольшего сосредоточения в ТО интересующих затрат. Полезно проводить исследования и разработки с учетом как объектной и проблемной ориентации, так и обобщенного межотраслевого характера.

4. Объединение разработки и внедрения САПР и ФСА, т. е. широкое использование подходов и достижений ФСА в САПР.

5. Разработка организационно-правовых вопросов внедрения ФСА на предприятиях с учетом последних постановлений и решений ЦК КПСС и Совета Министров СССР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторские свидетельства и патенты — наиболее распространенные результаты инженерного творчества. Однако главная цель инженерного творчества — создание машин, приборов, сооружений и технологий, превосходящих мировой уровень и обеспечивающих наиболее высокие темпы научно-технического прогресса. И чем в большей мере новое техническое решение превосходит мировой уровень, тем оно более выгодное и конкурентоспособное.

Создание технических объектов, превосходящих мировой уровень, аналогично установлению мировых рекордов в спорте. Любые мировые рекорды, как известно, даются нелегко. Поэтому при поиске наилучшего конструкторско-технологического решения недостаточно использовать какой-либо один из методов инженерного творчества. Для получения таких решений рекомендуется использовать совместно несколько (чем больше, тем лучше) взаимоусиливающих методов.

История технического прогресса много раз показывала, что любое окончательно выбранное наилучшее на определенной стадии техническое решение, как правило, имеет большие резервы дальнейшего улучшения. Поэтому выбранный вариант рекомендуется рассмотреть с более фундаментальных позиций, с точки зрения его соответствия законам техники (см. гл. 5). Целесообразно с позиции законов развития техники ответить на следующие вопросы:

Не следует ли в новом поколении ТО усилить или улучшить отдельные показатели и расширить число функций?

Достаточно ли исчерпаны возможности конструкции ТО с точки зрения закона прогрессивной эволюции?

Не следует ли перейти данному классу ТО на новую стадию развития?

При этом всегда остается открытым вопрос о полноте действующей системы законов и закономерностей техники, которым должен в наибольшей мере соответствовать новый ТО.

Эту полноту можно восполнить изучением истории технического прогресса рассматриваемого и близких классов машин или приборов (см. гл. 4).

Наряду с непосредственным использованием законов и закономерностей техники в решении задач инженерного творчества, существует другое очень важное направление — разработка на их основе новых и совершенствование существующих методов инженерного творчества.

И никогда не будет лишним рассмотреть окончательно полученное конструкторско-технологическое решение с эстетической точки зрения (см. гл. 6), ответить на вопросы, является ли новое поколение ТО более красивым, достаточно ли оно повышает красоту окружающей среды.

Наряду с отдельными методами, которые изложены в настоящей книге, существуют также и широко исполь-

ауются логически взаимосвязанные *системы методов*, процедур, приемов, способов, алгоритмов, машинных программ, информационных фондов и т. п. Системы методов обладают очень важным свойством большей или меньшей универсальности в смысле их адаптации к различным типам творческих инженерных задач, т. е. вероятность и качество решения случайно взятой задачи с помощью системы методов значительно выше по сравнению со случайно взятым методом инженерного творчества.

Освоение отдельных методов — это первая необходимая ступень обучения и подготовки творческой личности. Для дальнейшего повышения творческого потенциала и продуктивности необходимо переходить ко второй ступени — освоению и использованию отдельных систем методов, а еще лучше к составлению индивидуальной наиболее эффективной системы.

Из существующих систем можно рекомендовать для освоения и развития систему В. Роденакера [60], систематическую эвристику И. Мюллера [9, 37], методику Р. Коллера [59], алгоритм решения изобретательских задач Г. С. Альтшуллера [2, 18], систему методов, предложенную Г. Я. Бушем [3, 24, 26], систему методов Б. С. Воинова [4, 20], обобщенный эвристический метод [1, 41] и др. Содержание одной из таких систем — обобщенного эвристического метода, которые можно легко адаптировать при создании индивидуальной системы методов [1], приведено в прил. 5.

Следующая, более эффективная ступень овладения методами и средствами инженерного творчества — создание и использование систем информатики в виде автоматизированных банков инженерных знаний (АБИЗ), предназначенных для решения задач инженерного творчества с использованием вычислительной техники. В соответствии с законом прогрессивной эволюции техники в основе АБИЗ лежит методология системного иерархического выбора глобально-оптимальных конструкторско-технологических решений: сначала синтезируется наилучшая функциональная структура, для которой выбирается наиболее эффективный физический принцип действия, и на их основе разрабатывается наиболее рациональное техническое решение; затем моделируются и оптимизируются параметры технического решения.

АБИЗ имеет развитое информационное обеспечение в виде баз данных по техническим функциям, физико-тех-

ническим эффектам, техническим решениям, материалам, технологиям, модулям математических моделей и др. Если в системах методов на второй ступени предпочтение отдается в основном эвристическим методам и безмашинному решению задач, то на третьей ступени при использовании АБИЗ к эвристическим методам добавляется набор компьютерных методов поискового проектирования и конструирования [1, 4, 17, 19, 20, 42]. Указанные АБИЗ помогают получать конструкторско-технологические решения более высокого научно-технического уровня по сравнению с использованием отдельных методов и систем методов инженерного творчества. При достаточно полном информационном наполнении АБИЗ обеспечивают разработку изделий и технологий, превосходящих мировой уровень, или таких решений, которые затруднительно превзойти конкурентам.

Заканчивая книгу, хотелось бы особо отметить следующее. Начиная с XVIII века в сфере материального производства можно выделить несколько стадий научно-технического прогресса (НТП). В сфере проектирования первую стадию НТП можно отнести к рубежу XIX—XX веков, когда возникла технология разработки проектно-технологической документации. С 70-х годов в сфере проектирования началась вторая стадия НТП, которая завершается созданием систем автоматизированного проектирования, т. е. компьютерной технологии проектирования на основе известных принципов действия и технических решений.

К проектированию близко примыкает сфера инженерного творчества. В этой сфере в связи с созданием и распространением эвристических и компьютерных методов инженерного творчества по существу началась третья стадия НТП, которая завершится в 90-х годах созданием интенсивной технологии инженерного творчества на основе нового средства труда — АБИЗ. Отличительными чертами этой технологии инженерного творчества являются:

системное использование эвристических и компьютерных методов инженерного творчества:

наличие индустрии сбора и подготовки информации в виде развитых баз данных, необходимых для нахождения наилучших решений;

широкое использование вычислительной техники — пакетов прикладных программ, инструментальных и системных средств программирования;

организация творческого труда инженеров, включая социально справедливую оплату труда;

дополнительное обучение конструкторов и технологов, напавленное на овладение и развитие интенсивной технологии творчества.

Что даст интенсивная технология инженерного творчества? Страны, которые раньше других в широких масштабах овладеют этой технологией, будут создавать изделия наиболее высокого технического уровня и будут иметь наиболее высокие темпы НТП. В них появится возможность разработки таких новых высокоэффективных технических систем и комплексов, которые не смогут создавать страны, не имеющие такой технологии.

Разработка и широкое практическое использование интенсивной технологии инженерного творчества связаны с исследованием большого числа научных вопросов и созданием практически полезных систем искусственного интеллекта для инженеров различных специальностей и сфер деятельности. Эта новейшая проблема также актуальна, как, например, развитие генной инженерии, атомной и других альтернативных направлений энергетики, освоение космоса. Она ждет своих открывателей, разработчиков и энтузиастов.

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ ОПЕРАЦИЙ КОЛЛЕРА

1. Излучение — поглощение. Излучение будем соотносить с *источником* энергии, вещества или информации, поглощение — со *стоком* (местом впадения) энергии, вещества или информации (сигналов). Эти две основные операции, противоположные друг другу, представляют собой необходимое условие для создания или ликвидации потока (вещества, энергии или информации). Источники и стоки могут быть природные и искусственные (например, источники — солнце, топливо, генераторы; стоки — звукопоглощающее покрытие, заземление и т. п.). Источниками являются также все естественные источники энергии вещества или сигналов. В технических системах стоком в большинстве случаев служит природная окружающая среда. Для практического конструирования ТО обе эти операции, по мнению Р. Коллера, обычно имеют сравнительно небольшое значение.

2. Проводимость — изолирование. Для возникновения потока, кроме наличия источника и стока, требуется, чтобы между ними было *проводящее пространство*, обеспечивающее движение или распространение потока от источника к стоку (здесь не имеется в виду специальная организация потока, например, с помощью трубопровода).

Примеры проводящего пространства: воздушное пространство электродит и т. п.; примеры изолирования: непрозрачные шторы, изолятор, стенка и т. п.

3. Сбор — рассеяние. Основная операция «сбор» служит для того, чтобы поток (ресурсы) энергии, вещества и сигналов, распространяющийся по всем направлениям (рассредоточенный в пространстве или движущийся широким фронтом) заставить протекать в одном направлении или сосредоточиться (сфокусироваться) в одной точке. Операцию «сбор» осуществляет, например, параболическая антенна, фокусирующая линза, патрубков, через который вытекает жидкость из бассейна.

Операция «рассеяние» служит для того, чтобы имеющийся сконцентрированный или упорядоченный поток рассеять, распространить по всем направлениям или направить более широким фронтом. Операцию «рассеяние» осуществляет, например, антенна радиопередатчика, наконечник душа, рассеивающая линза и т. п.

Отметим различия между операциями «сбор — рассеяние» и «излучение — поглощение». Операции «излучение» и «поглощение» соответствуют первому (начальному) и последнему (конечному) участкам в потоке энергии, вещества или информации. До и после этих участков, можно сказать, нет организованного потока. Операции «сбор» и «рассеяние» соответствуют промежуточным участкам потока; до и после этих участков также существует организованный поток.

4. Проведение — непроведение. Операция «проведение» обеспечивает движение сконцентрированного потока по определенному заданному пути (траектории) с помощью технических средств, например, трубопровода, электропровода, шарнира. Непроведение означает, что на естественное направление движения и распространения потока ТО не оказывает никакого влияния (свободно падающая струя воды, летящая пуля, световой луч). Проведение — это движение, ограниченное связями; непроведение — свободное движение.

5. **Преобразование — обратное преобразование.** Это наиболее распространенные основные операции, противоположные друг другу, обеспечивают изменение *свойств* энергии, вещества и сигналов.

Под преобразованием энергии понимается превращение одного вида энергии в другой, которое происходит, например, в электродвигателе или двигателе внутреннего сгорания. К различным видам относятся тепловая, кинетическая, потенциальная, звуковая, оптическая и другие виды энергии.

Под преобразованием вещества понимается качественное изменение вещества, добавление или исчезновение определенных свойств вещества (например, изменения агрегатного состояния, нормальная проводимость — сверхпроводимость, немагнитное — магнитное вещество и т. п.).

Под преобразованием сигналов следует понимать операции, при которых одна физическая входная величина превращается в другую выходную физическую величину.

6. **Увеличение — уменьшение.** Эти основные операции изменяют состояние потока, т. е. значения какой-либо скалярной или векторной физической величины. При этом на входе и выходе имеем одну и ту же физическую величину. Примерами реализации операций «увеличение» и «уменьшение» являются: система рычагов, зубчатые передачи, передачи с изменяемым крутящим моментом, электрические трансформаторы, механические и электрические усилители, вентили, задвижки, регулирующие площадь сечения потока.

7. **Изменение направления — изменение направления.** Эти основные операции обеспечивают изменение направления векторной физической величины, значение которой остается неизменным. Изменение направления осуществляют: коленчатые равноплечные рычаги, передачи с коническими шестернями, зеркала и отражательные пластины, изогнутые трубопроводы или световоды и т. п.

Заметим, что для реализации операций «изменение направления» и «проведение» в отдельных случаях могут быть использованы одинаковые физические эффекты и соответственно одинаковые конструктивные элементы. Например, световод может применяться для проведения светового пучка и для изменения направления пучка лучей; такую же двойную функцию может иметь резиновый шланг с жидкостью. Это объясняется тем, что конструктивные элементы имеют не одно, а несколько свойств.

8. **Выравнивание — колебание.** Основная операция «выравнивание» преобразует колеблющийся (пульсирующий или нестационарный) поток в стационарный (электрические выпрямители, муфты свободного хода, обратные запорные клапаны и т. п.). Операция «колебание» производит обратное преобразование (кривошипный механизм, преобразующий равномерное вращательное движение в колебательное, прерыватель, колебательный контур и т. п.).

9. **Связь — прерывание.** Основная операция «прерывание» аналогично выключателю прерывает (останавливает) поток энергии, вещества или информации и соответственно прекращает их передачу от одного пункта к другому. Операция «связь», напротив, восстанавливает (возобновляет) движение или передачу энергии, вещества и сигналов в потенциально существующем потоке. Примеры реализации этих операций: выключатели, соединительные муфты, затворы, задвижки, запорные клапаны и т. п.

Следует заметить, что для реализации операций «связь—прерывание» и «увеличение—уменьшение» в отдельных случаях могут быть

использованы одинаковые конструктивные (функциональные) элементы, которые обеспечивают реализацию двух основных операций (например, вадвижка на трубопроводе и т. д.).

10. Соединение — разведение. Основные операции «соединение — разведение» имеют отношение к *неоднородным* потокам (энергий, веществ и сигналов), имеющим различные значения физических величин (массу, плотность, окраску, агрегатное состояние, амплитуду, длину волны, геометрическую форму, размеры и т. д.). Примеры реализации операции «соединение»: смесители механических компонент, частот, электрических сигналов, карбюраторы и насосы, соединяющие энергию и вещество и т. п. Примеры реализации операции «разведение»: сепараторы, центрифуги, различные фильтры, спектрометры, сортирующие устройства, гидравлические двигатели, или турбины, радиаторы водяного отопления, разъединяющие энергию и вещество и т. п.

11. Объединение — разделение. Основные операции «объединение — разделение» обеспечивают соответственно объединение нескольких *однородных* потоков энергии, веществ или сигналов в один поток или, напротив, разделение одного потока на несколько *однородных* потоков (т. е. устройства, реализующие операции «объединение — разделение», взаимодействуют с такими потоками энергии, веществ и сигналов, в которых параметры потока, кроме количества энергии, вещества или сигналов, до и после устройств объединения — разделения остаются *неизменными*). Примеры реализации операций «объединение — разделение»: тройники и разветвления в водопроводных, тепловых, газовых, электрических и измерительных сетях передачи с распределением энергии, вещества или сигналов; дифференциалы; устройства для сварки, пайки и резки материалов и т. п.

12. Накопление — выдача. Потоки энергии, веществ и информации могут накапливаться и при необходимости востребоваться из накопителя. Для этого существуют две основные операции «накопление — выдача». Примеры реализации этих операций:

для потоков энергии — механические, гидравлические, пневматические, электрические и тепловые аккумуляторы;

для веществ — резервуары, баки, газовые баллоны, бункеры, элеваторы и т. п.

для сигналов — перфокарты, магнитные ленты и диски, фото пленки и т. п.

13. Отображение — обратное отображение. Операция «отображение» применяется в том случае, когда реальный поток энергии, вещества или физических сигналов на входе в процессе преобразования получает информационное отображение на выходе в графическом, числовом и другом виде, удобном для визуальной оценки, наблюдения или расчета. Это может быть код, запись, изображение числового значения на цифровом индикаторе, показания на шкале прибора, изображение на экране дисплея или телевизора и т. д. «Обратное отображение» связано со случаями, когда на входе задается числовое значение или графическое изображение, а на выходе получается поток реального вещества или энергии.

14. Фиксирование — расфиксирование. Операция «фиксирование» связана с уменьшением числа свободы движения ТО, включая закрепление его в определенной точке пространства и уменьшение числа степеней свободы движения до нуля. Операцию «фиксирование» осуществляют приспособления и объекты, которые закрепляют одни элементы ТО или системы к другим, поддерживают составные части ТО на опре-

деленном расстоянии друг от друга, фиксируют заданное положение объекта. Здесь имеется в виду не только уменьшение степеней свободы какого-либо элемента относительно другого, а закрепление его на строго определенном расстоянии. В последнем случае на входе имеется неопределенная координата (одна или несколько), а на выходе — координаты, имеющие для данного технического объекта определенное значение. Операция «расфиксирование» связана с увеличением числа степеней свободы перемещения или с уменьшением определенности положения в пространстве.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ ФОНД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТА

1. Преобразование формы

1.1. Использовать круговую, спиральную, древовидную, сферическую или другую компактную форму.

1.2. Сделать в объекте (элементе) отверстия или полости. Инверсия приема.

1.3. Проверить соответствие формы объекта законам симметрии (см. прил. 5). Перейти от симметричной формы и структуры к асимметричной. Инверсия приема.

1.4. Перейти от прямолинейных частей, плоских поверхностей, кубических и многогранных форм (особенно в местах сопряжений) к криволинейным, сферическим и обтекаемым формам. Инверсия приема.

1.5. Объекту (элементу), работающему под нагрузкой, придать выпуклую (более выпуклую) форму.

1.6. Компенсировать нежелательную форму сложением с обратной по очертанию формой.

1.7. Выполнить объект в форме:

другого технического объекта, имеющего аналогичное название или назначение;

животного, растения или их органа;

человека или его органов.

1.8. Сделать объект (элемент) приспособленным к форме человека или его органов.

1.9. Использовать в аналогичных условиях работы природный принцип формирования в живой или неживой природе.

1.10. Сделать рациональный (оптимальный) раскрой листового или объемного материала; внести изменения в форму деталей для более полного использования материала.

1.11. Выбрать конструкцию деталей, в наибольшей мере приближающуюся по форме и размерам выпускаемого проката и других профильных заготовок.

1.12. Найти глобально-оптимальную форму объекта (см. п. 2 гл. 13).

1.13. Найти наибольшую цельную форму объекта (зрительное выделение главного функционального элемента, устранение или прикрытие многих ненужных деталей и т. д.).

1.14. Использовать различные виды симметрии и асимметрии, динамические и статические свойства формы, ритма (чередования одинаковых или схожих элементов), нюансов и контраста.

1.15. Осуществить гармоническую увязку форм различных элементов (выбор масштабов и соотношений между объектами и окружающей предметной средой, использование эстетически предпочтительных пропорций).

1.16. Выбрать (придумать) наиболее красивую форму объекта и его элементов.

2. Преобразование структуры.

2.1. Исключить наиболее напряженный (нагруженный) элемент.

2.2. Исключить элемент при сохранении объектом всех прежних функций. Один элемент выполняет несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других элементах. Убрать «лишние детали» даже при потере «одного процента эффекта».

2.3. Присоединить к объекту новый элемент в виде жестко или шарнирно соединенной пластины (стержня, оболочки или трубы), находящейся в рабочей среде или в контакте с ней.

2.4. Присоединить к базовому объекту дополнительное специализированное орудие труда, инструмент и т. п.

2.5. Заменить связь (способ или средства соединения) между элементами; жесткую связь сделать гибкой или наоборот.

2.6. Заменить источник энергии, тип привода, цвет и т. д.

2.7. Заменить механическую схему электрической, тепловой, оптической или электронной.

2.8. Существенно изменить компоновку элементов; уменьшить компоновочные затраты.

2.9. Сосредоточить органы управления и контроля в одном месте.

2.10. Объединить элементы единым корпусом, станиной или изготовить объект цельным.

2.11. Ввести единый привод, единую систему управления или энергоснабжения.

2.12. Соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты.

2.13. Объединить в одно целое объекты, имеющие самостоятельное назначение, которое сохраняется после объединения в новом комплексе.

2.14. Использовать принцип агрегатирования. Создать базовую конструкцию (единую раму, станину), на которую можно «навесить» различные (в различных комбинациях) рабочие органы, агрегаты, инструменты.

2.15. Совместить или объединить явно или традиционно несовместимые объекты, устранив возникающие противоречия.

2.16. Выбрать материал, обеспечивающий минимальную трудоемкость изготовления деталей и обработки заготовок.

2.17. Использовать раздвижные складные сборные надувные и другие конструкции, обеспечивающие значительное уменьшение габаритных размеров при переводе ТО из рабочего состояния в нерабочее.

2.18. Найти глобально-оптимальную структуру.

2.19. Выбрать (придумать) наиболее красивую структуру.

3. Преобразования в пространстве.

3.1. Изменить традиционную ориентацию объекта в пространстве: горизонтальное положение на вертикальное или наклонное; положить на бок;

повернуть низом вверх;

повернуть путем вращения.

3.2. Использовать «пустое пространство» между элементами объекта. Один элемент проходит сквозь полость в другом элементе.

3.3. Объединить известные поровнь объекты (элементы) с размещением одного внутри другого по принципу «матрешки».

3.4. Размещение по одной линии заменить размещением по нескольким линиям или по плоскостям. Инверсия приема.

3.5. Заменить размещение по плоскости размещением по нескольким плоскостям или в трехмерном пространстве; перейти от одноэтажной (однослойной) компоновки к многоэтажной (многослойной). Инверсия приема.

3.6. Изменить направление действия рабочей силы или среды.

3.7. Перейти от контакта в точке к контакту по линии; от контакте по линии к контакту по поверхности; от контакта по поверхности к объемному (пространственному). Инверсия приема.

3.8. Осуществить сопряжение по нескольким поверхностям.

3.9. Приблизить рабочие органы объекта к месту выполнения ими своих функций без передвижения самого объекта.

3.10. Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на их доставку.

3.11. Перейти от последовательного соединения элементов к параллельному или смешанному. Инверсия приема.

3.12. Разделить объект на части так, чтобы приблизить каждую из них к тому месту, где она работает.

3.13. Разделить объект на две части — «объемную» и «необъемную»; вынести «объемную» часть за пределы, ограничивающие объем.

3.14. Вынести элементы, подверженные действию вредных факторов, за пределы их действия.

3.15. Перенести (поместить) объект или его элемент в другую среду, исключающую действие вредных факторов.

3.16. Выйти за традиционные пространственные ограничения или габаритные размеры.

4. Преобразования во времени

4.1. Перенести выполнение действия на другое время. Выполнить требуемое действие до начала или после окончания работы.

4.2. Перейти от непрерывной подачи энергии (вещества) или непрерывного действия (процесса) к периодическому или импульсному. Инверсия приема.

4.3. Перейти от стационарного во времени режима к изменяющемуся.

4.4. Исключить бесполезные («вредные») интервалы времени. Использовать паузу между импульсами (периодическими действиями) для осуществления другого действия.

4.5. По принципу непрерывного полезного действия осуществлять работу объекта непрерывно, без холостых ходов. Все элементы объекта должны все время работать с полной нагрузкой.

4.6. Изменить последовательность выполнения операций.

4.7. Перейти от последовательного осуществления операций к параллельному (одновременному). Инверсия приема.

4.8. Совместить технологические процессы или операции. Объединить однородные или смежные операции. Инверсия приема.

5. Преобразование движения и силы

5.1. Изменить направление вращения.

5.2. Заменить поступательное (прямолинейное) или возвратно-поступательное движение вращательным. Инверсия приема.

5.3. Устранить или сократить холостые, обратные и промежуточные ходы и движения.

5.4. Существенно изменить направление движения, в том числе на противоположное.

5.5. Заменить традиционную сложную траекторию движения прямой или окружностью. Инверсия приема.

5.6. Заменить изгиб растяжением или сжатием. Заменить сжатие растяжением.

5.7. Разделить объект на две части — «тяжелую» и «легкую», передвигать только «легкую» часть.

5.8. Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать обрабатываемый объект.

5.9. Заменить трение скольжения трением качения. Инверсия приема.

5.10. Перейти от неподвижного физического поля к движущемуся. Инверсия приема.

5.11. Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга. Сделать движущиеся элементы неподвижными, а неподвижные движущимися.

5.12. Изменить условия работы так, чтобы опасные или «вредные» моменты осуществлялись на большой скорости. Инверсия приема.

5.13. Использовать магнитные силы.

5.14. Компенсировать действие массы объекта соединением его с объектом, обладающим подъемной силой.

6. Преобразование материала и вещества

6.1. Рассматриваемый элемент и взаимодействующие с ним элементы сделать из одного и того же материала или близкого ему по свойствам. Инверсия приема.

6.2. Выполнить элемент или его поверхность из пористого материала. Заполнить поры каким-либо веществом.

6.3. Разделить объект (элемент) на части так, чтобы каждая из них могла быть изготовлена из наиболее подходящего материала.

6.4. Убрать лишний материал, не несущий функциональной нагрузки.

6.5. Изменить поверхностные свойства объекта (элемента); упрочить поверхность объекта; нейтрализовать свойства материала на поверхности объекта.

6.6. Заменить жесткую часть элементами из материала, допускающего изменение формы при эксплуатации; вместо жестких объемных конструкций использовать гибкие оболочки и пленки. Инверсия приема.

6.7. Изменить физические свойства материала, например, изменить агрегатное состояние.

6.8. Заменить некоторые объекты среды на объекты с другими физико-механическими и химическими свойствами.

6.9. Использовать другой материал (более дешевый, новейший и т. д.).

6.10. Использовать детали из материала с последующим отверждением.

6.11. Отделить вредные или нежелательные примеси от вещества.

6.12. Заменить традиционную окружающую среду. Рассмотреть возможность использовать вакуума, инертной, водной, космической или какой-либо другой среды.

6.13. Заменить объекты их оптическими копиями (изображениями); использовать изменение масштаба изображения. Перейти от видимых оптических копий к инфракрасным, ультрафиолетовым и другим изображениям.

6.14. Дорогостоящий долговечный элемент заменить дешевым, недолговечным.

6.15. Заменить разнородные по материалу и форме элементы одним унифицированным или стандартным элементом.

6.16. Выполнить элементы из материалов с различающимися характеристиками, дающими нужный эффект (например, с разным термическим расширением).

6.17. Вместо твердых частей использовать жидкие или газообразные (надувные, гидронаполняемые, воздушные подушки, гидростатические, гидрореактивные). Инверсия приема.

6.18. Выбрать материалы, обеспечивающие снижение отходов при изготовлении деталей. Например, перейти от применения деталей, изготавливаемых обработкой резанием, к деталям из пластмассы (изготавливаемых формовой) или металлокерамики.

6.19. Перейти к безотходным технологиям, например, получить отходы материалов в более ценном виде, позволяющем использовать их для изготовления других деталей.

6.20. Осуществить упрочнение материалов механической термической, термохимической, электрофизической, электрохимической, лазерной и другими видами обработки.

6.21. Использовать материалы с более высокими удельными прочностными, электрическими, теплофизическими и другими характеристиками.

6.22. Использовать армированные, композиционные, пористые и другие новые перспективные материалы.

6.23. Использовать материал с изменяемыми во времени характеристиками (жесткостью, прозрачностью и т. д.).

7. Приемы дифференциации

7.1. Разделить движущийся поток (вещества, энергии, информации) на два или несколько.

7.2. Разделить сыпучий, жидкий или газообразный объект на части.

7.3. Сделать элемент съемным, легко отделяемым.

7.4. Дифференцировать привод и другие источники энергии; прилизить их к исполнительным органам и рабочим зонам.

7.5. Сделать автономным управление и привод каждому элементу.

7.6. Провести дробление традиционного целого объекта на мелкие однородные элементы с аналогичной функцией. Инверсия приема.

7.7. Разделить объект на части, после чего изготавливать, обрабатывать, грузить и т. п. каждую часть отдельно, а затем выполнять сборку.

7.8. Разделить объект на части так, чтобы их можно было заменять при изменении режима работы.

7.9. Разделить объект на части: «горячую» и «холодную»; изолировать одну от другой.

7.10. Представить объект в виде составной конструкции; изготовить его из отдельных элементов и частей.

7.11. Придать блочную структуру объекту; при которой каждый блок выполняет самостоятельную функцию.

7.12. Выделить в объекте самый нужный элемент (нужное свойство) и усилить его или улучшить условия его работы.

8. Количественные изменения

8.1. Резко изменить (в несколько раз, в десятки и сотни раз) параметры или показатели объекта (его элементов, окружающей среды).

8.2. Увеличить в объекте число одинаковых или подобных друг другу элементов (или сделать наоборот). Изменить число одновременно

действующих или обрабатываемых объектов (элементов), например, рабочих машин, их рабочих органов, двигателей и т. д.

8.3. Изменить габаритные размеры, объем или длину объекта при переводе его в рабочее или нерабочее состояние.

8.4. Увеличить степень дробления объекта (или сделать наоборот).

8.5. Допустить незначительное снижение требуемого эффекта.

8.6. Использовать идею избыточного решения (если трудно получить 100% требуемого эффекта, задаться получить несколько больше).

8.7. Изменить (усилить) вредные факторы так, чтобы они перестали быть вредными.

8.8. Уменьшить число функций объекта и сделать его более специализированным, соответствующим только оставшимся функциям и требованиям.

8.9. Гиперболизировать, значительно увеличить размеры объекта и найти ему применение. Инверсия приема.

8.10. Повысить интенсивность технологических процессов с рабочей зоной в виде площадки или замкнутого объекта.

8.11. Создать местное локальное качество; осуществить локальную концентрацию сил, напряжения и т. п.

8.12. Найти глобально-оптимальные параметры ТО по различным критериям развития.

9. Использование профилактических мер

9.1. Предусмотреть прикрытие и защиту легко повреждающихся элементов. Экранировать объект.

9.2. Ввести предохранительные устройства или блокировку.

9.3. Разделить хрупкий и часто повреждающийся объект на части.

9.4. Выполнить объект (элемент) разборным так, чтобы можно было заменить отдельные поврежденные части.

9.5. Для уменьшения простоев и повышения надежности создать легко используемый запас рабочих органов или элементов. Предусмотреть в ответственных частях объекта дублирующие элементы.

9.6. Защитить элемент от воздушной или другой агрессивной среды.

9.7. Заранее придать объекту напряжения, противоположные недопустимым или нежелательным рабочим напряжениям.

9.8. Заранее придать объекту изменения, противоположные недопустимым или нежелательным изменениям, возникающим в процессе работы.

9.9. Заранее выполнить требуемое изменение объекта (полностью или хотя бы частично).

9.10. Обеспечить автоматическую подачу смазочных материалов к трущимся частям.

9.11. Изолировать объект от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких пленок (поместить объект в оболочку, капсулу, гильзу). Инверсия приема.

9.12. Придать объекту новое свойство, например, обеспечить его плавучесть, герметизацию, самовосстановление, сделать его прозрачным, электропроводным и т. д.

9.13. Сделать объект (элементы) взаимозаменяемым.

9.14. Предусмотреть компенсацию неточностей изготовления объекта.

9.15. Разделить объект на части так, чтобы при выходе из строя одного элемента объект в целом сохранял работоспособность.

9.16. Для повышения надежности заранее подготовить аварийные средства.

9.17. Обеспечить снижение или устранение вибрационных, ударных нагрузок и инерционных перегрузок.

9.18. Использовать объекты живой и неживой природы в формировании зоны эстетического воздействия.

9.19. Исключить из окружающей предметной среды объекты, вызывающие отрицательные эмоции (создание зеленой изгороди из деревьев и кустарников, маскировка, мимикрия под предметы, вызывающие положительные эмоции и т. д.).

9.20. Исключить шумы и запахи, вызывающие отрицательные эмоции; трансформировать их в более эстетические звуки и ароматы.

9.21. Создать замкнутые безотходные технологии с утилизацией и возвращением в производство загрязняющих веществ в виде сырья и материалов.

9.22. Осуществить разработку новых устройств и технологий, обеспечивающих резкое снижение загрязнения и изменения среды (например, геотехнология, приливные гидроэлектростанции и т. д.).

10. Использование резервов

10.1. Использовать массу объекта (элемента) или периодически возникающие усилия для получения дополнительного эффекта.

10.2. Компенсировать чрезмерный расход энергии получением какого-либо дополнительного положительного эффекта.

10.3. Исключить подбор и подгонку (регулировку и выверку) деталей и узлов при сборе объекта.

10.4. Устранить вредный фактор (например, за счет компенсации его другим вредным фактором).

10.5. Использовать или аккумулировать тормозную и другую попутно получаемую энергию.

10.6. Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие (например, не охлаждать объект, а нагревать).

10.7. Выполнивший свое назначение или ставший ненужным элемент, отходы (энергия, вещество) использовать для других целей.

10.8. Использовать вредные факторы (в частности, вредные воздействия среды) для получения положительного эффекта.

10.9. Выбрать и обеспечить оптимальные параметры (температуру, влажность, освещение и др.).

10.10. Уточнить расчетные напряжения в элементах на основе использования более точных математических моделей и ЭВМ.

10.11. Перейти на другие физические принципы действия с более дешевыми или доступными источниками энергии или более высоким КПД.

10.12. После конструктивного улучшения какого-либо элемента определить, как должны быть изменены другие элементы, чтобы эффективность объекта в целом еще более повысилась.

11. Преобразования по аналогии

11.1. Применить объект, предназначенный для выполнения аналогичной функции в другой отрасли техники, пользуясь классификаторами патентов.

11.2. Использовать природный принцип повторяемости однотипных элементов (пчелиные соты, клетки, листья, кристаллы и т. п.).

11.3. Использовать в качестве прототипа искомого технического решения объект неживой или живой природы, близкие или отдаленные области техники.

11.4. Применить решение, аналогичное имеющемуся: в ведущей отрасли техники или в древних и прошлых технических объектах;

в неживой природе (физика, химия, биохимия и др.);
в современных или вымерших живых организмах;
в экономике или общественной жизни людей;
в научно-фантастической литературе.

Ответить на вопрос, как решаются подобные задачи в указанных областях?

11.5. Использовать аналоги свойств других объектов; использовать свойства без самого объекта.

11.6. Применить принцип имитации, заключающийся в создании таких объектов, которые по форме, цвету, внешнему виду и другим необходимым свойствам аналогичны другому объекту.

11.7. Использовать эмпатию: мысленно превратить себя в объект (элемент), с помощью своих ощущений найти наиболее целесообразное решение.

11.8. Использовать в качестве прототипа детские игрушки.

11.9. Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии, модели, макеты.

12. Повышение технологичности

12.1. Упростить форму и конструкцию деталей путем сокращения числа обрабатываемых поверхностей, неплоских и некруговых поверхностей, рабочих ходов при обработке.

12.2. Выбрать форму и конструкцию элементов, обеспечивающие применение наиболее производительного технологического оборудования, приспособлений и инструмента.

12.3. Выбрать конструкцию деталей узлов, обеспечивающую максимальное совмещение и одновременное выполнение операций обработки и сборки.

12.4. Снизить или исключить пригоночные работы при сборке. Использовать средства компенсации неточности изготовления.

12.5. Осуществить технологическую унификацию конструкций, формы и размеров деталей.

12.6. Заменить механическую обработку способом обработки без снятия стружки.

12.7. Использовать саморегулирующиеся, восстанавливающиеся, самозатачивающиеся элементы и инструменты, сокращающие трудоемкость профилактического ухода и ремонта.

12.8. Максимально применять стандартные элементы, имеющие весьма широкую область применения.

12.9. Использовать модульный принцип конструирования, когда из небольшого числа стандартных элементов (универсального набора) можно собрать любое изделие в заданном классе (например, универсально-сборные приспособления, универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики).

12.10. Максимально использовать в проектируемом объекте освоенные в производстве узлы и детали.

12.11. Максимально использовать заготовки с размерами, близкими к размерам готовой детали. Использовать точное литье, штамповку, сварку.

12.12. Выбрать наиболее целесообразное расчленение объекта на блоки, узлы и детали.

12.13. Выбрать материал, обеспечивающий минимальную трудоемкость изготовления деталей.

Фонд физико-технических эффектов (ФТЭ) *

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы]	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
1	Закон Ома [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	Проводники	Электрический ток <i>Плотность тока</i>	Возникновение в проводнике электрического тока, плотность которого пропорциональна напряженности поля
2	Закон Джоуля—Ленца [5, 12]	Электрический ток <i>Сила тока</i>	Проводники	Количество теплоты	Выделение в проводнике при протекании через него электрического тока определенного количества теплоты, пропорционального квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока
3	Эффект Зеебека [5, 12]	Температура <i>Градиент</i>	Контакт разнородных проводников	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение ЭДС в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми имеют различные температуры
4	Эффект Томсона [5, 12]	1. Температура <i>Градиент</i> 2. Электрический ток <i>Постоянный Сила тока</i>	Проводники	Тепловой поток	Выделение или поглощение теплоты (помимо выделения Джоулевой теплоты) в проводнике с током, вдоль которого имеется градиент температуры

5	Эффект Пельтье [5, 12]	Электрический ток <i>Сила тока</i>	Контакт разнородных проводников	Тепловой поток	Выделение или поглощение теплоты при протекании электрического тока через контакт разнородных проводников
6	Закон Био-Савара-Лапласа [5, 12]	Электрический ток <i>Сила тока</i>	Проводники	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Создание в окружающем пространстве магнитного поля при протекании по проводнику электрического тока
7	Сверхпроводимость [5, 12]	Температура <i>Уменьшение Ниже критической</i>	Металлы Полупроводники	Удельное электрическое сопротивление <i>Скачкообразное уменьшение</i>	Скачкообразное уменьшение практически до нуля электрического сопротивления ряда металлических проводников и сильнодегированных полупроводников при охлаждении ниже критической температуры, характерной для данного материала
8	Тензорезистивный эффект [1, 12]	Деформация <i>Опосредственная деформация</i>	Твердые проводники	Удельное электрическое сопротивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопротивления в твердых проводниках под действием растягивающих или сжимающих напряжений
9	Вторичная электронная эмиссия [5, 12]	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Первичный Плотность потока</i>	Твердые тела Жидкости	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Вторичный Плотность потока</i>	Испускание электронов (атомичных) твердыми и жидкими телами при их бомбардировке электронами (первичными)

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы]	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
10	Эффект Ганна [6, 12]	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Полупроводники GaAs, InP, ZnSe, CdTe, InSb, InAs и др.	Электрический ток <i>Высокочастотный</i> <i>Частота</i>	Генерация высокочастотных колебаний электрического тока в полупроводниках с N-образной вольт-амперной характеристикой
11	Второй закон Ньютона [10, 12]	Сила	Материальная точка	Ускорение	Возникновение под действием силы (или равнодействующей сил), приложенной к телу (материальной точке), ускорения, пропорционального силе и направленного по прямой, по которой эта сила действует
12	Магниторезистивный эффект [4, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Твердые проводники	Удельное электрическое сопротивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопротивления твердых проводников под действием магнитного поля
13	Эффект Гопкинсона [4]	1. Температура <i>Увеличение.</i> <i>Вблизи точки Кюри</i> 2. Магнитное поле <i>Магнитная ин-</i>	Ферромагнетики	Магнитная проницаемость <i>Скачкообразное изменение</i>	Резкое возрастание магнитной проницаемости ферромагнетика в слабом магнитном поле вблизи точки Кюри. В непосредственной близости к точке Кюри проницаемость падает (ферромаг-

14	Катодолюминесценция [12]	дукция Поток элементарных частиц (электронов) <i>Плотность потока</i>	Люминофоры	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i>	нетяг становится парамагнетиком) Излучение света, возникающее при возбуждении люминофора электронным пучком
15	Пирозлектрический эффект [11, 12]	Температура <i>Изменение</i>	Нецентросимметричные кристаллические диэлектрики	Поверхностная плотность электрического заряда <i>Изменение</i>	Возникновение электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллических диэлектриков (пирозлектриков) при их нагревании или охлаждении
16	Закон Ампера [5, 12]	1. Магнитное поле <i>Однородное. Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток <i>Сила тока</i>	Твердые проводники	Сила	Возникновение механической силы, действующей на проводник, по которому протекает электрический ток, при помещении его во внешнее магнитное поле
17	Электрокалорический эффект [12]	Электрическое поле <i>Постоянное. Напряженность электрического поля</i>	Кристаллические твердые тела (пирозлектрики)	Температура <i>Изменение</i>	Изменение температуры пирозлектрического кристалла под влиянием электрического поля
18	Термоэлектронная эмиссия [5, 12]	Температура	Твердые тела, жидкости	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Плотность потока</i>	Испускание электронов нагретыми телами в вакуум или другую среду

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литера- туры]**	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
19	Эффект Холла [6, 12]	1. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная ин- дукция</i> 2. Электриче- ский ток <i>Постоянный.</i> <i>Сила тока</i> Магнитное поле <i>Магнитная ин- дукция</i>	Металлические проводники, по- лупроводники	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Разность по- тенциалов</i>	Возникновение разности потенциалов между боковы- ми гранями пластинки из металлического проводника или полупроводника, вдоль которого протекает электри- ческий ток, при действии перпендикулярного к ней магнитного поля Изменение формы и раз- меров тела при его намаг- ничивании
20	Магнитострик- ция [5, 12]		Ферромагнети- ки, антиферро- магнетики Ферримагнети- ки	Деформация <i>Относительная</i> <i>деформация</i>	
21	Эффект Эйн- штейна-де-Хааза [5, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная ин- дукция</i>	Ферромагнети- ки	Угловая ско- рость	Поворот свободно подве- шенного ферромагнитного образца во внешнем магнит- ном поле
22	Автоэлектрон- ная эмиссия [5, 12]	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность</i> <i>электрического</i> <i>поля</i>	Твердые и жид- кие проводники	Поток элемен- тарных частиц (электронов) <i>Плотность по- тока</i>	Испускание электронов проводящими твердыми и жидкими телами под дей- ствием внешнего электриче- ского поля высокой напря- женности у их поверхности
23	Эффект Вилла- ри (магнитоуп- ругий эффект) [4, 12]	Деформация <i>Относительная</i> <i>деформация</i>	Ферромагнети- ки	Намагничен- ность <i>Изменение</i>	Влияние механических де- формаций (растяжения, кру- чения, изгиба и т. д.) на на- магниченность ферромагне- тика

24	Электролюминесценция [12]	Электрическое поле <i>Разность потенциалов</i>	Люминофоры (твердые тела, газы)	Электромагнитное излучение <i>Ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное</i>	Люминесценция, возбуждаемая электрическим полем
25	Эффект Магнуса [12]	1. Угловая скорость 2. Поток жидкости (газа) <i>Скорость потока</i>	Твердые тела	Сила	Возникновение поперечной силы, действующей на тело, вращающееся в набегающем на него потоке жидкости (газа)
26	Естественная оптическая активность [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Линейно поляризованное</i>	Оптически активные вещества (твердые тела, жидкости)	Электромагнитное излучение <i>Линейно поляризованное</i> <i>Вращение плоскости поляризации</i>	Вращение плоскости поляризации оптического излучения при прохождении через некоторые вещества
27	Эффект Баркгаузена [12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> <i>Близка к коэрцитивной силе ферромагнетика</i> <i>Непрерывное изменение</i>	Ферромагнетики	Намагниченность <i>Скачкообразное изменение</i>	Скачкообразное изменение намагниченности ферромагнитного образца при непрерывном изменении внешнего магнитного поля
28	Эффект Барнетта [5, 12]	Угловая скорость	Ферромагнетики	Намагниченность <i>Изменение</i>	Изменение намагниченности ферромагнетика при его вращении в отсутствие внешнего магнитного поля

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник, литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
29	Закон Брюстера [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Неполяризованное</i>	Граница двух диэлектриков	Электромагнитное излучение <i>Линейно поляризованное</i>	Полная поляризация естественного (неполяризованного) света при падении на границу двух диэлектриков под углом Брюстера
30	Закон всемирного тяготения [10, 12]	Гравитационное поле <i>Напряженность гравитационного поля</i>	Материальная точка	Сила <i>Сила тяготения</i>	Действие на тело, находящееся в произвольной точке гравитационного поля, обусловленного массой m_1 , силы гравитации, зависящей от массы этого тела и от напряженности гравитационного поля
31	Пьезоэлектрический эффект [5, 12]	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Кристаллические диэлектрики (пьезоэлектрики)	Поляризованность <i>Изменение</i>	Изменение поляризации некоторых кристаллических диэлектриков (пьезоэлектриков) при механической деформации
32	Обратный пьезоэлектрический эффект [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	То же	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Появление механической деформации в анизотропных кристаллических диэлектриках под действием электрического поля
33	Пьезомагнитный эффект [4, 12]	Давление	Антиферромагнетики	Намагниченность	Возникновение в веществе намагнитченности под действием внешнего давления

34	Закон Кулона [5, 12]	Электрическое поле <i>Поле точечного заряда</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Точечный заряд	Сила	Два точечных заряда взаимодействуют друг с другом с силой, пропорциональной произведению их зарядов и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними Действие на движущуюся в магнитном поле заряженную частицу силы, перпендикулярной вектору магнитной индукции этого поля и вектору ее скорости
35	Сила Лоренца [5, 12]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Скорость	Заряженные частицы	Сила	Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока через ограниченную контуром поверхность
36	Электромагнитная индукция [5, 12]	Магнитное поле <i>Постоянное или переменное</i> <i>Магнитный поток</i> <i>Переменный</i>	Проводящий контур Движущийся (если магнитное поле постоянно) или неподвижный (если магнитное поле переменное)	Электрическое поле <i>Переменное ЭДС</i>	Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока
37	Электроstaticкая индукция [5, 12]	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Проводники, диэлектрики	Поверхностная плотность электрического заряда <i>Увеличение</i>	Образование под действием внешнего электрического поля на поверхности проводника или диэлектрика равных и противоположных по знаку зарядов
38	Самоиндукция [5, 12]	Электрический ток <i>Сила тока</i> <i>Увеличение или уменьшение</i>	Замкнутый проводящий контур	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
39	Фотоэлектронная эмиссия (внешний фотоэффект) [5, 12]	Электромагнитное излучение <i>Монохроматическое</i> <i>Частота</i> <i>Выше красной границы фотоэффекта</i>	Твердые тела, жидкости	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Кинетическая энергия</i>	Испускание электронов твердыми телами и жидкостями под действием электромагнитного излучения в вакуум или другую среду
40	Терморезистивный эффект [1, 5]	Температура <i>Изменение</i>	Проводники, полупроводники	Удельное электрическое сопротивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопротивления проводящих тел при изменении их температуры. У металлических проводников сопротивление возрастает с ростом температуры, у жидких электролитов и полупроводников — падает
41	Эффект Мейснера [12]	1. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i> <i>Ниже критического значения</i> 2. Температура <i>Уменьшение</i> <i>Ниже критического значения</i>	Сверхпроводники	Намагниченность <i>Изменение</i>	Вытеснение магнитного поля из толщи проводника при его переходе из нормального состояния в сверхпроводящее

42	Эффект Покельса [12]	Число значения сверхпроводящего перехода Электрическое поле Напряженность электрического поля	Пьезоэлектрики	Показатель преломления Изменение	Изменение показателя преломления света в кристаллах, помещенных в электрическое поле
43	Вихревые токи (токи Фуко) [5, 12]	Магнитное поле Магнитный ток Переменный ток	Массивные проводники	Электрический ток Замкнутый (вихревой). Сила тока	Возникновение замкнутых электрических токов в массивном проводнике при изменении пронизывающего его магнитного потока
44	Гальваноупругий магнитный эффект [12]	1. Деформация Относительная деформация 2. Магнитное поле Магнитная индукция	Ферромагнетики	Удельное электрическое сопротивление Изменение	Изменение электрического сопротивления ферромагнетика, помещенного в магнитное поле и подвергнутого односторонним упругим напряжениям растяжения или сжатия
45	Диэлектрический гистерезис [5, 12]	Электрическое поле Напряженность электрического поля Циклическое изменение	Сегнетоэлектрики	Поляризованность Циклическое изменение	Неоднозначная зависимость электрической поляризации сегнетоэлектрика от электрического поля. При циклическом изменении поля кривая, характеризующая изменение поляризации образца, образует петлю диэлектрического гистерезиса

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
46	Магнитоэлектрический эффект в антиферромагнетиках (1) (Открытие № 123) [7]	Электрическое поле <i>Переменное</i> <i>Напряженности</i> <i>электрического поля</i>	Антиферромагнетики: окись хрома и др.	Намагниченность	Намагничивание антиферромагнитного диэлектрического кристалла. Внешним электрическим полем при определенных типах симметрии расположения магнитных ионов в элементарной ячейке кристалла
47	Магнитоэлектрический эффект в антиферромагнетиках (11) (Открытие № 123) [7]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Антиферромагнетики: окись хрома и др.	Поляризованность	Электрическая поляризация антиферромагнитного диэлектрического кристалла внешним магнитным полем при определенных типах симметрии расположения магнитных ионов в элементарной ячейке кристалла
48	Акустомангнетический эффект (Открытие № 133) [7]	1. Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i> 2. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Полупроводники	Электрическое поле <i>Разность потенциалов</i>	Возникновение разности потенциалов в полупроводнике, помещенном в поперечное магнитное поле, в направлении, перпендикулярном магнитному полю и направлению распространения звуковой волны при пропускании через него ультразвука

49	Действие магнитного поля на контур с током [5, 12]	1. Магнитное поле <i>Однородное</i> <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток <i>Постоянный</i> <i>Сила тока</i>	Замкнутый проводящий контур	Момент силы	Поворот рамки с током под действием вращающего момента, возникающего при помещении рамки в однородное магнитное поле
50	Акустический парамагнитный резонанс (Открытие № 153) [7, 12]	1. Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i> 2. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i>	Парамагнетики	Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Мощность</i> <i>Уменьшение</i>	Резонансное поглощение энергии ультразвуковой волны определенной частоты при прохождении через парамагнитный кристалл, находящийся в постоянном магнитном поле
51	Магнитный гистерезис [4, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> <i>Циклическое изменение</i>	Ферромагнетики	Намагниченность <i>Циклическое изменение</i>	Неоднозначная зависимость намагниченности ферромагнитного образца от напряженности внешнего магнитного поля. При циклическом изменении напряженности магнитного поля кривая, характеризующая изменение намагниченности образца, образует петлю магнитного гистерезиса

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
52	Поляризация диэлектриков [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i> <i>Меньше значения, соответствующего пробой диэлектрика</i>	Диэлектрики: твердые, жидкие, газообразные	Поляризованность	Образование объемного дипольного момента диэлектрика под действием электрического поля. На поверхности диэлектрика появляются связанные (поляризованные) заряды
53	Ионизация газа под действием электрического поля [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i> <i>Увеличение выше критического значения</i>	Газы	Поток элементарных частиц (электронов и ионов) <i>Плотность потока</i>	Образование положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул газа под действием сильного электрического поля
54	Пробой диэлектриков [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i> <i>Увеличение Вблизи от электрической прочности диэлектрика</i>	Диэлектрики: твердые, жидкие, газообразные	Удельное электрическое сопротивление <i>Резкое уменьшение</i>	Резкое уменьшение электрического сопротивления диэлектрика при некотором критическом значении напряженности приложенного электрического поля

55	Взрывная электронная эмиссия (Открытие № 176) [7, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля.</i> <i>Увеличение выходящее критического</i>	Катод в виде металлического острого	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Плотность потока</i>	Испускание интенсивного электронного потока, обусловленное переходом вещества катода из конденсированной фазы в плотную плазму в результате разогрева локальных областей катода сверхсильным электрическим полем
56	Триболюминесценция [12]	Механическое напряжение	Кристаллические люминофоры	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Интенсивность</i>	Возникновение люминесценции при растрепывании, раздавливании или расклевывании некоторых кристаллов
57	Дуговой разряд [5, 12]	1. Электрическое поле Разность потенциалов 2. Давление <i>Выше 0,01—1 Па</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронный</i> <i>Сила тока</i>	Самостоятельный квазистационарный разряд в газе, горящий практически при любых давлениях газа и при постоянной или меняющейся с низкой частотой (до 10^3 Гц) разности потенциалов между электродами
58	Тлеющий разряд [5, 12]	1. Электрическое поле <i>Постоянное. Разность потенциалов</i> 2. Давление <i>Не выше 1—10 Па</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронный</i> <i>Сила тока</i>	Один из видов стационарного самостоятельного электрического разряда в газах. Происходит при низких давлениях и характеризуется сравнительно малой плотностью тока на катоде и большим (порядка сотен вольт) катодным падением потенциала

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источники литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
59	Искровой ряд [5, 12]	Электрическое поле Напряженность электрического поля	Газы (атмосферный газ, аргон, неон и т. д.)	Электрический ток <i>Электронно-ионный</i> <i>Сила тока</i>	Неустойчивый электрический разряд в газах, возникающий при ионизации газа по всей длине межэлектродного пространства. Характеризуется прохождением электрического тока по зигзагообразным разветвленным узким освещенным каналам
60	Эффект Кикона—Носкова (фотомагнитно-электрический эффект) [5, 12]	1. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Частота</i> 2. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i>	Полупроводники	Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i>	Возникновение электрического поля в полупроводнике, находящемся в магнитном поле, при освещении сильно поглощаемым светом. Электрическое поле перпендикулярно магнитному полю и направлению распространения света
61	Термоэлектронный эффект [12]	1. Электрическое поле <i>Постоянное</i> <i>Напряженность электрического поля</i> 2. Температура <i>Уменьшение</i>	Твердые диэлектрики (полиамиды, полиметилметакрилат, эбонит и др.)	Поляризованность	Образование устойчивой поляризации в диэлектрике при его охлаждении в присутствии постоянного электрического поля
62	Термолюминесценция	1. Электромагнитное излучение	Твердые люминофоры	Электромагнитное излучение	Возникновение люминесценции

сценция [12]	нитное излучение <i>Видимое, рентгеновое</i> 2. Температура <i>Увеличение</i>	нофоры (кристаллические и аморфные)	ное излучение <i>Видимое</i> <i>Интенсивность</i>	сценции при нагревании некоторых веществ, предварительно возбужденных светом или рентгеновским излучением
63 Магнитизирующие тел [5, 12]	Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i>	Магнетики (диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики)	Магнитичность <i>Изменение</i>	Возникновение или изменение намагниченности вещества при действии на него внешнего магнитного поля. Диамагнетики намагничиваются против поля, парамагнетики и ферромагнетики — в направлении поля
64 Безэлектродный кольцевой разряд [12]	Магнитное поле <i>Высокочастотное</i> <i>Магнитная индукция</i>	Разряженные газы	Электрический ток <i>Замкнутый</i> <i>Высокочастотный</i> <i>Сила тока</i> <i>Давление</i>	Разряд в разряженном газе, вызванный высокочастотным магнитным полем
65 Звуковое радиационное давление [11]	Акустическая волна <i>Ультразвук, звук</i> <i>Интенсивность</i>	Вещественное преломление		Постоянное по значению и направлению давление, которое испытывает поверхность преломления, находящегося на пути распространения звука
66 Электрострикция [5, 12]	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	Диэлектрики (твердые тела, жидкости, газы)	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Деформация диэлектрика под действием внешнего электрического поля, пропорциональная квадрату напряженности поля

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы]**	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
67	Эффект Фарадея [9, 12]	1. Магнитное поле <i>Постоянное</i> <i>Магнитная индукция</i> 2. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i>	Твердые тела, жидкости, газы	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i> <i>Вращение плоскости поляризации</i>	Вращение плоскости поляризации линейно поляризованного света, распространяющегося в изотропном веществе вдоль постоянного магнитного поля, в котором находится это вещество
68	Эффект Коттона-Мутона [9, 12]	1. Магнитное поле <i>Однородное</i> <i>Магнитная индукция</i> 2. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i>	Изотропные жидкости, твердые тела	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Эллиптически поляризованное</i>	Двойное лучепреломление света в изотропном веществе, помещенном в сильное магнитное поле (перпендикулярное световому лучу)
69	Эффект Дольера в оптике [1, 12]	1. Электромагнитное излучение <i>Частота</i> 2. Скорость	Движущееся тело	Электромагнитное излучение <i>Частота</i> <i>Изменение</i>	Изменение частоты колебаний, воспринимаемой наблюдателем, при движении источника электромагнитного излучения и наблюдателя относительно друг друга

70	Эффект Керра [9, 12]	1. Электрическое поле <i>Однородное</i> <i>Напряженность электрического поля</i> 2. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i>	Изотропные жидкости, твердые тела	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Эллиптически поляризованное</i>	Возникновение двойного лучепреломления в оптически изотропных веществах под действием однородного электрического поля
71	Теплопроводность изотропных тел [12]	Температура <i>Градиент</i>	Газы, жидкости, твердые тела	Тепловой поток	Возникновение теплового потока в изотропном теле под действием градиента температуры. Плотность теплового потока пропорциональна градиенту температуры
72	Фотопластический эффект (Открытые № 93) [7]	1. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Частота</i> 2. Деформация <i>Относительная деформация</i> Момент силы	Кристаллические полупроводники: CdS, CdSe и др.	Прочность <i>Увеличение</i>	Увеличение прочности пластических деформированного образца под воздействием света
73	Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела [10, 12]		Твердые тела	Угловое ускорение	Результирующий момент внешних сил, действующих на тело, имеющее ось вращения, создает угловое ускорение, пропорциональное моменту сил

78	Эффект Нернста [6]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток <i>Сила тока</i> Температура <i>Увеличение</i>	Полупроводники Твердые тела, жидкости, газы	Температура <i>Градиент</i>	перпендикулярными плоскостями поляризации Возникновение продольного градиента температуры в проводнике с током, находящегося в магнитном поле
79	Тепловое расширение тел [12]	<i>Сила тока</i> Температура <i>Увеличение</i>	Твердые тела, жидкости, газы	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Изменение размеров тела при его нагревании. Характеризуется коэффициентом линейного (для твердых тел) или объемного (для жидких и газообразных тел) температурного расширения
80	Фотоупругость (пъезооптический эффект) [9, 12]	1. Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Линейно поляризованное</i> 2. Механическое напряжение Электромагнитное излучение <i>Видимое, ультрафиолетовое</i>	Изотропные твердые тела	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> <i>Эллиптически поляризованное</i>	Возникновение оптической анизотропии в первоначально изотропных твердых телах под действием механических напряжений, что приводит к двойному лучепреломлению световой волны
81	Фотопроводимость (фоторезистивный эффект)	Электромагнитное излучение <i>Видимое, ультрафиолетовое</i>	Полупроводники	Электропроводность <i>Увеличение</i>	Увеличение электропроводности полупроводника под действием электромагнитного излучения
82	Поглощение звука [12]	Акустическая волна <i>Интенсивность</i>	Твердые тела, жидкости, газы	Акустическая волна <i>Интенсивность</i> <i>Уменьшение</i>	Уменьшение интенсивности акустической волны, проходящей через вещество, в результате необратимого перехода энергии волны в другие виды энергии, в частности в теплоту

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
83	Поглощение света [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Интенсивность</i>	Твердые тела, жидкости, газы Механические смеси фаз	Электромагнитное излучение <i>Интенсивность Уменьшение</i>	Уменьшение интенсивности электромагнитного излучения при прохождении через вещество
84	Полное внутреннее отражение [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Угол падения больше критического и меньше 90°</i>	Граница раздела двух диэлектриков с разными показателями преломления	Электромагнитное излучение <i>Угол отражения</i>	Полное отражение энергии электромагнитной волны, падающей на границу раздела двух прозрачных сред из среды с большим показателем преломления
85	Фотолюминесценция [12]	Электромагнитное излучение <i>Видимое Частота</i>	Фотолюминесфоры (твердые тела, жидкости, газы)	Электромагнитное излучение <i>Ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное</i>	Возникновение люминесценции, возбуждаемой при действии на вещество оптического излучения
86	Закон Кюри [4, 12]	Температура <i>Увеличение</i>	Парамагнетики (жидкие, твердые, газообразные)	Магнитная восприимчивость <i>Уменьшение</i>	Обратная пропорциональность температуре удельной магнитной восприимчивости некоторых парамагнетиков
87	Вентильный фотоэффект [6, 12]	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i>	Контакт двух разных полупроводников (<i>p-n</i> переход) или контакта полупроводника и металла	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение ЭДС в системе, содержащей контакт двух разных полупроводников или полупроводника и металла, при поглощении оптического излучения
88	Длинноволновый фотовольтаический эффект	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i>	Полупроводники в контакте с металлами Si—	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение фото-ЭДС в контакте полупроводника с металлическим электродом

[6, 12]	Длина волны <i>Больше длины волны, соответствующей краю поглощения полупроводника</i>	CdS и др.		при поглощении фотонов света, энергии которых меньше ширины запрещенной зоны полупроводника.
89 Излучение Черенкова—Вавилова [12]	Поток элементарных частиц (электронов, протонов, мезонов и др.) <i>Скорость</i>	Твердые тела, жидкости, газы	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i>	Излучение света электрически заряженной частицей при ее движении в среде с постоянной скоростью, превышающей фазовую скорость света в этой среде
90 Гидростатическое давление [12]	Гравитационное поле <i>Разность потенциалов гравитационного поля</i>	Жидкости	Давление	Давление, оказываемое в поле сил тяжести вытекающими слоями жидкости на нижележащие слои. Сумма этого давления на свободную поверхность жидкости составляет гидростатическое давление
91 Закон Архимеда [12]	Гравитационное поле <i>Напряженность гравитационного поля</i>	Тело, погруженное в жидкость или газ	Сила <i>Выталкивающая</i>	Образование выталкивающей силы, действующей на тело, погруженное в жидкость или газ. Выталкивающая сила равна весу вытесненной телом жидкости (газа), направлена по вертикали вверх и приложена к центру тяжести вытесненного объема

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
92	Эффект Эттингс-хаузена [6, 12]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Электрический ток (перпендикулярно магнитному полю) <i>Сила тока</i>	Твердые проводники	Температура <i>Градиент</i>	Возникновение градиента температуры в твердом проводнике с током под действием магнитного поля в направлении, перпендикулярном току и полю
93	Акустоэлектронная эмиссия (эффект Лучникова-Ситова) [12]	Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Интенсивность</i>	Радиоэлектроды (твердые диэлектрики)	Поток элементарных частиц (электронов) <i>Кинетическая энергия</i>	Аномальное увеличение выхода потока электронов из поверхности радиоэлектрета (полученного облучением диэлектриков электронами) при возбуждении ультразвуком
94	Пластическая деформация при воздействии ультразвука [11]	1. Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i> 2. Механическое напряжение	Пластически деформированные твердые тела	Предел течения <i>Уменьшение</i>	Усиление пластических свойств твердого тела, находящегося под механическим напряжением, при воздействии ультразвуковых колебаний
95	Влияние упорядочения сплавов на их электропроводность [8]	Концентрация одного из компонентов сплава <i>Изменение</i>	Двухкомпонентные сплавы типа твердого раствора	Удельное электрическое сопротивление <i>Скачкообразные изменения</i>	Наличие резко выраженных минимумов на кривых концентрационной зависимости электрического сопротивления двойных сплавов типа замещения с неограни-

96	Эффект пере- ключения [12]	Электрическое поле <i>Импульсное</i>	Полупровод- ники с S-образной вольтамперной характеристикой	Удельное элек- трическое сопро- тивление <i>Скачкообразное уменьшение</i>	Обратимый переход полу- проводника из высокоомно- го состояния в низкоомное под действием электрическо- го поля, превышающего по- ровое значение	ценной растворимостью ком- понентов в точках, соответ- ствующих стехиометрическо- му составу
97	Разряд Пен- нинга [12]	1. Магнитное поле <i>Магнитная ин- дукция</i> 2. Электриче- ское поле <i>Разность по- тенциалов</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронно- ионный Сила тока</i>	Стационарный самостоя- тельный электрический раз- ряд в газах в продольном магнитном поле	
98	Коронный раз- ряд [5, 12]	Электрическое поле <i>Неоднородное Напряженность электрического поля. До значения 10^3 В/м</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронно- ионный Сила тока</i>	Высоковольтный само- стоятельный электрический разряд в газах при давле- нии, большем 10^5 Па, возни- кающий в резко неоднород- ном электрическом поле вбли- зи электродов с большой кривизной поверхности	
99	Тихий разряд [5, 12]	Электрическое поле <i>Разность по- тенциалов</i>	Газы	Электрический ток <i>Электронно- ионный Сила тока</i>	Несамостоятельный элек- трический разряд в газе, возникающий при малой раз- ности потенциалов между электродами при давлении газа порядка 10^5 Па	

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы]**	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
100	Ионизация газа рентгеновскими лучами [12]	Электромагнитное излучение <i>Рентгеновское</i> <i>Интенсивность</i>	Газы	Поток ионов и электронов <i>Плотность потока</i>	Образование положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул газа под действием электромагнитного излучения рентгеновского диапазона
101	Зависимость модуля упругости металлов от температуры [2]	Температура <i>Увеличение</i> <i>Ниже температуры плавления</i>	Металлы	Модуль упругости <i>Уменьшение</i>	Плавное уменьшение модуля упругости металлов с увеличением температуры
102	Влияние легирования на модуль упругости металлов [2, 8]	Концентрация легирующего элемента <i>Увеличение</i>	Металлы	Модуль упругости <i>Уменьшение или увеличение</i>	Линейная зависимость модуля упругости металлов от концентрации легирующего элемента. Легирование может как уменьшать, так и увеличивать модуль упругости
103	Деформационное упрочнение металлов (наклеп) [2]	Деформация <i>Относительная деформация</i>	Металлы	Предел прочности <i>Увеличение</i>	Упрочнение металлов при пластической деформации. Предел прочности возрастает с увеличением степени пластической деформации

104	Влияние пластической деформации на электрическое сопротивление металлов [2, 8]	Деформация <i>Относительная деформация.</i> <i>Увеличение</i>	Металлы	Удельное электрическое сопротивление <i>Увеличение</i>	Возрастание удельного электрического сопротивления металлов при увеличении степени их пластической деформации
105	Влияние нагрева на механические свойства деформированного металла (рекристаллизационные процессы) [8]	Температура <i>Увеличение</i>	Пластически деформированные металлы	Предел прочности <i>Уменьшение</i>	Уменьшение предела прочности, улучшение пластичности и снижение твердости при нагреве предварительно пластически деформированного металла или сплава
106	Зависимость предела текучести металлов и сплавов от температуры [2]	Температура <i>Увеличение</i>	Металлы и их сплавы	Предел текучести <i>Уменьшение</i>	Уменьшение предела текучести металлов и их сплавов с возрастанием температуры. Зависимость предела текучести от температуры близка к экспоненциальному закону
107	Зависимость предела текучести металлов и сплавов от скорости деформации [2]	Деформация <i>Скорость изменения</i> <i>Увеличение</i>	То же	Предел текучести <i>Увеличение</i>	Возрастание предела текучести металлов и сплавов по степенному закону с увеличением скорости деформации (с уменьшением длительности нагружения)

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
108	Зависимость плотности металлов от температуры при переходе через точку плавления [9]	Температура <i>Увеличение. Вблизи температуры плавления металла</i>	Металлы	Плотность <i>Скачкообразное уменьшение</i>	Скачкообразное уменьшение плотности металла с увеличением температуры вблизи температуры плавления
109	Термическая ионизация [12]	Температура	Газы	Поток элементарных частиц (ионов и электронов) <i>Плотность потока</i>	Распад атомов и молекул нейтрального газа на заряженные частицы в результате столкновений вследствие тепловых движений при достаточно высокой температуре
110	Эффект Нернста—Эттингсхаузена [6, 12]	1. Магнитное поле <i>Магнитная индукция</i> 2. Температура <i>Градиент</i>	Твердые проводники	Электрическое поле <i>Напряженность электрического поля</i>	Возникновение электрического поля в твердом проводнике при наличии градиента температуры и перпендикулярного к нему магнитного поля
111	Звуколюминесценция [11, 12]	Акустическая волна <i>Ультразвук Интенсивность</i>	Жидкости	Электромагнитное излучение <i>Видимое, ультрафиолетовое</i>	Свечение в жидкости под действием интенсивной акустической волны (при акустической кавитации). Све-

112	Закон Блоха [4, 12]	Температура <i>Увеличение</i>	Ферромагнети- ки	Интенси́вность	Падение интенсивности излучения при значительном усилении или в полной тем- ноте
113	Звукокапил- лярный эффект (Открытие № 109) [7, 11]	Акустическая волна <i>Ультразвук</i> <i>Частота</i>	Жидкость в ка- пилляре	Намагничен- ность (самопро- извольная) <i>Уменьшение</i>	Уменьшение самопроиз- вольной намагнитченности ферромагнетиков с ростом температуры (для области температур значительно ниже точки Кюри)
114	Зависимость температуры плавления твердого тела от внешнего давления [12]	Давление <i>Увеличение</i>	Твердые тела	Деформация (высота подня- тия жидкости)	Подъем жидкости в ка- пилляре на anomalно боль- шую высоту (в десятки и сот- ни раз превышающую ожи- даемую) под действием в оп- ределенных условиях ультра- звуковой волны
				Температура плавления <i>Изменение</i>	Изменение температуры плавления кристаллических веществ при увеличении внешнего давления. Если удельный объем жидкой фа- зы больше, чем твердой, то температура плавления воз- растает

№ по пор.	Наименование ФТЭ [источник литературы] **	Вход А	Объект В	Выход С	Краткая сущность ФТЭ
115	Зависимость электрического сопротивления твердого тела от давления [12]	Давление <i>Увеличение</i>	Твердые тела	Удельное электрическое сопротивление <i>Изменение</i>	Изменение электрического сопротивления твердого тела при изменении внешнего давления в области высоких давлений. У большинства веществ электрическое сопротивление с ростом давления понижается
116	Эффект Дембера [6, 12]	Электромагнитное излучение <i>Видимое.</i> Длина волны <i>Не превышает длины волны края поглощения</i>	Высокоомные полупроводники (ZnS, CdS, CdSe, ZnSe и др.)	Электрическое поле <i>ЭДС</i>	Возникновение ЭДС электрического поля в однородном полупроводнике при его неравномерном освещении. В частности, ЭДС возникает между освещаемой и неосвещаемой поверхностями полупроводника при сильном поглощении света в нем
117	Закон Бугера — Ламберта-Бера [9, 12]	Электромагнитное излучение <i>Видимое</i> Монохроматическое <i>Интенсивность</i>	Поглощающее вещество	Электромагнитное излучение <i>Интенсивность</i> <i>Уменьшение</i>	Ослабление пучка монохроматического света при его прохождении через поглощающее вещество. Интенсивность пучка на выходе из поглощающего слоя уменьшается по экспоненциальному закону по сравнению с первоначальной интенсивностью

118	Эффект Рига-Ледюка [6, 12]	1. Температура <i>Градиент (первичный)</i> 2. Магнитное поле <i>Постоянное Магнитная индукция</i>	Металлы, полупроводники	Температура <i>Градиент (вторичный)</i>	Возникновение вторичной разности температур в проводнике с перепадом температуры, помещенном в магнитное поле, перпендикулярное тепловому потоку. Направление вторичной разности температур перпендикулярно первичному тепловому потоку и магнитному полю
119	Зависимость показателя преломления газов от плотности [3]	Плотность <i>Увеличение</i>	Газы	Показатель преломления <i>Увеличение</i>	Увеличение показателя преломления газа с увеличением его плотности. Зависимость носит сложный квадратичный характер
120	Зависимость показателя преломления газов от давления [3]	Давление <i>Увеличение</i>	Газы	Показатель преломления <i>Увеличение</i>	Возрастание показателя преломления газа при увеличении его давления. Зависимость показателя преломления от давления в широком диапазоне изменения давления может быть выражена полиномом некоторой степени

* Настоящий фонд физико-технических эффектов составлен на основе разработок Волгоградского и Марийского политехнических институтов, Ивановского университета и Ивановского энергетического института.

♦♦ См. список в конце приложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ *

1. Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н. Датчики контроля и регулирования/Справочные материалы. М.: Машиностроение, 1965. 928 с.
2. Бериштейн М. Л., Займовский В. А. Механические свойства металлов. М.: Металлургия, 1979. 496 с.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики: Пер. с англ. М.: Наука, 1973. 856 с.
4. Вонсовский С. В. Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1008 с.
5. Калашников С. Г. Электричество. М.: Наука, 1977. 592 с.
6. Киреев П. С. Физика полупроводников. М.: Высшая школа, 1975. 584 с.
7. Конюшная Ю. П. Открытия советских ученых. М.: Московский рабочий, 1979. 688 с.
8. Лифшиц Б. Г., Крапошин В. С., Липецкий Я. Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1980. 320 с.
9. Ландсберг Г. С. Оптика. М.: Наука, 1976. 926 с.
10. Савельев И. В. Курс физики, т. 1. М.: Наука, 1982. 432 с.
11. Ультразвук/Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1979. 400 с.
12. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ГИПОТЕЗЫ О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНАХ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ [12]

1. Закон корреляции параметров однородного ряда технических объектов (ТО). К однородному ряду относятся такие ТО, которые имеют одинаковые функцию, структуру, условия работы (в смысле взаимодействия с предметами труда и 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. Так, для лопастного насоса это будет диаметр рабочего колеса, для экскаватора — объем ковша, для огнестрельного оружия — калибр и т. п.

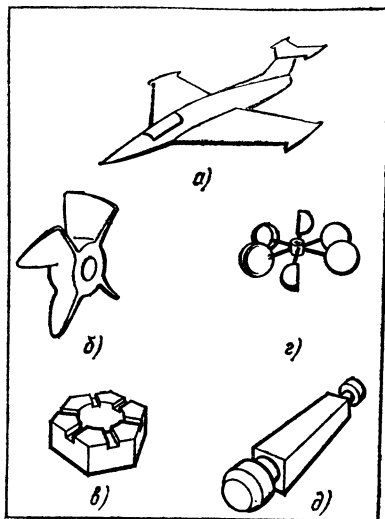
Гипотеза о законе имеет следующую формулировку:

Однородный ряд технических объектов S_1, S_2, \dots, S_k , имеющих одинаковые функцию и техническое решение, описываемое набором параметров x, y_1, \dots, y_n , и отличающихся значениями главного параметра x_j , связан между собой отношениями $y_i = a_i x_j + b_i$ ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, k$).

* Здесь в целях сокращения приведены только общедоступные литературные источники. В банке данных по физико-техническим эффектам, кроме ссылок на общедоступную литературу, даются ссылки еще на специальную литературу.

Рис. П.1. Примеры типов симметрии:

а — тип (m) — самолет; б — тип (n) — гребной винт; в — тип ($n \times m$) — гайка; г — типа ($n : m$) — вертушка анемометра; д — тип ($m \cdot n : m$) — вал переменного сечения



2. Законы симметрии технических объектов. На закономерный характер проявления в технике различных типов симметрии указывали многие ученые. Интересный в этом отношении вывод П. Кюри [56, с. 53]: «Симметрия порождающей среды как бы накладывается на симметрию тела, образующейся в этой среде. Получающаяся в результате форма тела сохраняет только те элементы своей собственной симметрии, которые совпадают с наложенными на него элементами симметрии среды». Иначе говоря, ТО, испытывающий определенное существенное действие среды в виде потоков вещества, энергии или информации, имеет определенный тип симметрии, обусловленный комбинацией и характером этих потоков.

Для основных типов симметрии [57] гипотеза о законе симметрии ТО имеет следующую формулировку.

Закон двусторонней симметрии.

Любой ТО, который испытывает действие потоков среды (в виде вещества или энергии), находящихся под углом друг к другу, имеет симметрию (m) а плоскость симметрии параллельна направлению векторов действия потоков (рис. П. 1, а).

Закон осевой симметрии.

А. Любый ТО, который испытывает существенное однонаправленное действие среды в виде потока вещества или энергии, имеет симметрию (n) или ($n \cdot m$) с осью симметрии, параллельной действию среды (рис. П. 1, б, в).

Б. Любый ТО, который испытывает существенное вертикальное действие силы тяжести и плоскопараллельное горизонтальное действие среды (равновероятное или равномерно распределенное со всех сторон), имеет симметрию (n) или ($n \cdot m$) с вертикальной осью симметрии.

В. Любый ТО, который испытывает существенное равновероятное или равномерно распределенное со всех сторон (снаружи или изнутри) плоскопараллельное действие среды, имеет симметрию (n) или ($n \cdot m$), ($n : m$), ($m \cdot n : m$) с осью симметрии, перпендикулярной действию среды (рис. П.1, б—д).

3. Закон гомологических рядов. Гипотеза об этом законе сформулирована по аналогии с законом гомологических рядов Вавилова, относящемся к живой природе. Суть биологического закона заключается в том, что у близких видов, принадлежащих одному роду, имеет место удивительный параллелизм одинаковых признаков, Н. И. 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 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» [12, с. 87].

Ученые отмечают, что закон Вавилова играет в биологии ту же роль, что и закон Менделеева в химии. При этом поиски новых форм, видов, родов на основе закона гомологических рядов становятся направленными, поскольку можно заранее предсказать строение еще не открытых или выведенных селекционерами видов и родов.

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 работ ТО, 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 $a_1^i, a_2^i, \dots, a_m^i, i = 1, \dots, k$.

Число совпадающих наборов признаков k будет тем больше, чем больше совпадающих компонент описания функций, принципов действия и условий работы. При этом имеют место корреляционные связи между определенными компонентами и признаками.

4. Закон расширения множества потребностей-функций. Этот закон имеет отношение к развитию техники в целом отдельной страны или всего мира. В политэкономии уже давно известен закон возвышения потребностей, который сформулирован на качественном уровне. Предлагаемая здесь 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 (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 страны или мира, со временем монотонно и ускоренно возрастает по экспоненциальному закону

$$P_t = P_0 e^{\alpha t},$$

где P_0 — число потребностей-функций до момента $t = 0$; α — эмпирический коэффициент; t — время в годах.

ОБОБЩЕННЫЙ ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД

Изложение настоящей методики инженерного творчества дано по книге [1] с некоторыми сокращениями.

Информационная база. По нашему мнению, недостаток многих весьма интересных и оригинальных эвристических методов поиска новых ТР заключается в отсутствии или слабой подготовке специальных информационных массивов. Поэтому в обобщенном эвристическом методе используется следующая информационная база.

М1 — фонд физико-технических эффектов (см. прил. 3).

М2 — информационный фонд ТР. Для рассматриваемого класса ТО должен содержать по возможности все наиболее интересные, перспективные и существенно различающиеся ТР в рассматриваемой области техники. Этот фонд должен включать следующие группы ТР: современные, широко применяемые ТР; современные ТР, прошедшие экспериментальную и опытную проверку; отечественные и зарубежные патентные решения последних лет (включая ТР, опубликованные в литературе); старые ТР. Кроме того, целесообразно провести систематизацию и классификацию фонда ТР по предметному, функциональному или другому более удобному принципу. Одним из наиболее рациональных способов представления и описания информации о классе ТР являются морфологические таблицы с постоянными столбцами, число которых может увеличиваться.

М2А — фонд ТР на уровне лучших мировых образцов. Представляет собой часть фонда М2, которая выделена в связи с особой важностью информации. В дополнение к методическим рекомендациям по фонду М2 выделяется список наиболее важных технико-экономических показателей, которыми характеризуется каждое ТР. М2А формируется с помощью торговых бюллетеней, рекламных материалов, проспектов выставок, последних публикаций в литературе, статистических отчетов по реализации продукции и т. п.

М3 — список требований, предъявляемых ТР. Включает требования ко всему классу ТО и используется для составления технических заданий на разработку изделий в целом и их элементов. Все множество требований целесообразно классифицировать по группам: эксплуатационные, конструктивные, технологические, эргономические, экономические, ремонтно-профилактические и т. д. При составлении списка требований и выбора их типа рекомендуется использовать ГОСТы и технические условия на рассматриваемый класс ТО, а также на ТО, близкие по функциям, условиям работы и т. п. Желательно также использовать технические задания и акты испытаний на уже разработанные ТО. Существенное дополнение и уточнение списка дает анализ функций изделия и его элементов.

М4 — информационный фонд материалов и конструктивных элементов, перспективных для создания новых ТР. Формируется путем изучения литературы по материаловедению и интересующим конструктивным элементам, новых стандартов в близких отраслях техники, новых патентов и авторских свидетельств, рекламных материалов, проспектов выставок и т. п.

М5 — информационный фонд технологических процессов. Содержит наборы технологического оборудования и технологических процессов, которые можно в принципе использовать для изготовления

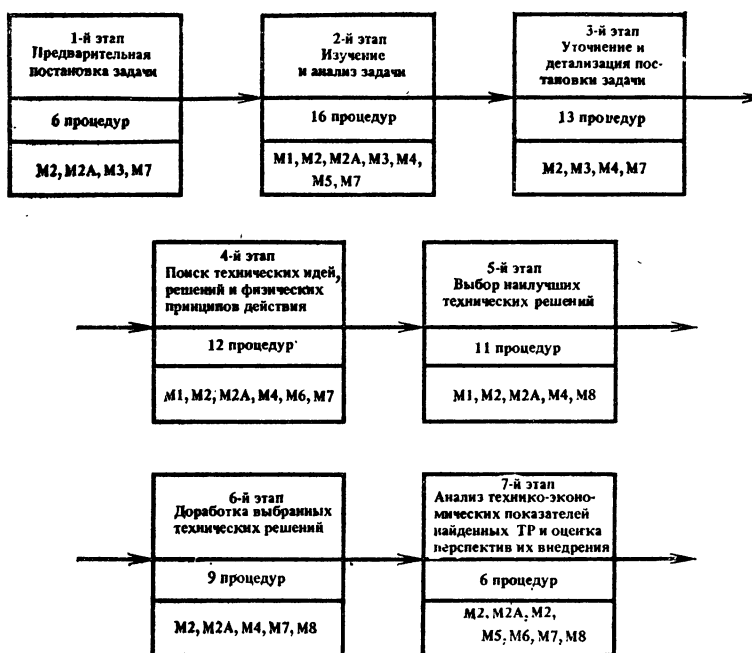


Рис. П.2. Схема обобщенного эвристического метода

разрабатываемого класса ТО. Фонд М5 целесообразно классифицировать по группам технологического оборудования, имеющегося на предприятии-изготовителе, в отрасли, стране, за рубежом.

М6 — фонд эвристических приемов (рис. прил. 2).

М7 — информационный фонд ТР ведущего класса ТО. Определение ведущего класса ТО приведено ниже в процедуре 2.5. Для формирования фонда М7 можно использовать рекомендации по формированию фондов М2, М2А, М4.

М8 — методы оценки и выбора вариантов ТР. Предназначены для сравнительной оценки множества ТР или ТО с целью выбрать наилучшие варианты, чаще всего по векторному критерию. К таким методам относятся: экспертные оценки и квалиметрический анализ, метод Делфи, метод ПАТТЕРН, комплексные технико-экономические оценки, различные методы математического моделирования, методики лабораторных и натурных испытаний и др.

Структура и процедуры метода. Поиск новых, более эффективных ТР — это, прежде всего, процесс подготовки и обработки информации, с помощью которой синтезируют новую информацию в виде конструктивных решений изделий или технологических процессов. В связи с этим обобщенный эвристический метод представляет собой описание такого процесса, условно разделенного на семь этапов. Каждый этап состоит из нескольких процедур подготовки и обработки информации, которые отличаются однородностью выполняемой работы.

На рис. П.2 приведена схема обобщенного эвристического метода, где указаны названия этапов, число процедур в каждом этапе и используемые информационные фонды.

Ниже дано описание процедур на каждом этапе. После названия процедуры в скобках указаны номера предыдущих процедур, результаты работы по которым используются в данной процедуре, а также номера информационных фондов. Процедуры, отмеченные звездочкой, являются инвариантными, их рекомендуется применять при решении любой задачи. Остальные процедуры используются в зависимости от наличия времени, специфики задачи и требуемой глубины ее проработки.

Изложение процедур по сравнению с изложением их в работе [1] дано с сокращением тех мест, которые освещены в гл. 1, 2, 4, 7, 9—13.

1-й этап. Предварительная постановка задачи.

1.1. Сформулируйте функцию на качественном уровне.

1.2*. Сформулируйте функцию на количественном уровне (1.1, М3).

1.3*. Выберите существующие ТО, в наибольшей мере удовлетворяющие сформулированной функции (1.2, М2, М2А, М7). Если при этом будет найден ТО с необходимой функцией, то решение задачи можно прекратить или перейти к процедуре 6.1.

1.4*. Составьте список недостатков существующих ТО (1.2, 1.3, М3).

1.5*. Составьте предварительную формулировку задачи (1.2—1.4). Имеются два варианта. Требуется:

а) усовершенствовать выявленные функционально близкие ТО для устранения их недостатков; при этом устранение недостатков будем одновременно считать целями решения задачи;

б) найти принципиально новый ТО, удовлетворяющий количественному описанию функции.

1.6. Сформулируйте задачу без специальных терминов.

2-й этап. Изучение и анализ задачи.

2.1. Составьте дерево конструктивной эволюции рассматриваемого класса ТО (1.3, М2, М2А).

2.2. Выявите тенденции развития рассматриваемого класса ТО (1.3, 2.1, М2, М2А) путем патентных исследований.

2.3. Соберите и изучите сведения о прогнозах развития рассматриваемого класса ТО.

2.4*. Определите основные факторы, решающим образом влияющие на развитие рассматриваемого класса ТО (1.1, 1.2, 1.4, 2.1—2.3, М2, М2А). Установите, какие причины заставляли каждый раз создавать новую модификацию ТО.

2.5. Определите основные факторы, влияющие на развитие ведущего класса ТО (М7). Ведущий класс ТО определяется функциональной близостью к рассматриваемому классу и более быстрыми темпами технического прогресса. Например, авиастроение представляется ведущим классом по отношению к автомобилестроению, космическая техника — по отношению к авиастроению, в целом машиностроение — по отношению к строительству.

2.6*. Определите возможности усиления отдельных характеристик функции (1.2—1.4, 2.1—2.5, М., М2А, М3, М4, М7).

2.7*. Проведите ранжирование недостатков (1.4, 2.6) с точки зрения степени важности их устранения. Выделите самые важные недостатки, устранение которых можно считать главными целями решения задачи.

2.8. Проведите ранжирование недостатков (1.4, 2.6, 2.7) с точки зрения трудности их устранения.

2.9. Выявите причины возникновения недостатков в существующих ТО (1.3, 1.4, 2.6—2.8).

2.10*. Изучите возможности комбинирования целей решения задачи (1.4, 1.5, 2.6—2.8), что позволит выделить взаимоусиливающие, взаимопротиворечивые и взаимонезависимые цели. Выделите наиболее перспективные комбинации целей.

2.11*. Проверьте реальность постановки задачи (1.5, 2.6, 2.9, М1, М2, М4, М5, М7) на современном уровне развития науки, техники и производства. Предварительная оценка физической, технической и технологической осуществимости предупреждает ненужную трату ресурсов на безуспешные попытки решения задачи.

2.12. Изучите условия достижения целей (1.4, 1.5, 2.1—2.11) и выделите благоприятные и неблагоприятные факторы, способствующие или мешающие достижению целей. К ним относятся психологические, этические, юридические, эргономические, экологические и другие факторы, влияющие на производство и функционирование будущих изделий. Следует выяснить, нет ли факторов, исключающих или запрещающих решение задачи.

2.13*. Постройте иерархическую систему (1.1, 1.2, 1.4, 2.6), в которой выделите в качестве отдельных элементов рассматриваемый ТО (задачу) и другие смежные с ним объекты, включая другие ТО. Установите связи рассматриваемого ТО со смежными объектами и проверьте соответствие этих связей по основным направлениям.

2.14*. Проверьте возможность удовлетворения потребности путем внесения изменений в смежные объекты (1.2, 1.4, 2.6, 2.13). Проведите технико-экономическое сравнение первоначальной постановки задачи (1.4, 2.6) с задачами внесения изменений в смежные объекты. Если задача изменения смежных объектов более эффективна, то проработайте ее по пп. 1.1—1.5, 2.1—2.11.

2.15. Оцените степень актуальности поставленной задачи в настоящее время и в обозримом будущем (1.2, 1.4, 1.5, 2.6, 2.13, 2.14, М2, М2А, М4, М5, М7). Рассмотрите решение задачи в историческом развитии всей проблемы или области техники, к которой относится задача. Возможны три ситуации:

а) решение задачи значительно опережает темпы развития рассматриваемой области техники и в настоящее время в целом не улучшает работу существующего комплекса технических систем;

б) степень актуальности соответствует требованиям комплексного прогрессивного развития рассматриваемой области техники;

в) поставленная задача остро актуальна, поскольку ее решение устраняет «узкое место» в рассматриваемой области техники или технологии.

В случае а) часто целесообразно отказаться от решения задачи, а в случае в) решение крайне необходимо.

2.16*. Составьте представление об идеальном техническом решении рассматриваемого класса ТО (1.1, 1.2, 1.4, 2.1—2.6, 2.13, 2.14, М2, М2А, М7).

3-й этап. Уточнение и детализация постановки задачи.

3.1*. Составьте список требований к существующим ТО, наиболее удовлетворяющим сформулированной функции (1.2, 1.3, М3).

3.2*. Составьте список требований к разрабатываемому ТО (1.2, 1.4, 2.6, 2.9, 2.15, М3).

3.3. Сравните список требований с показателями ведущего класса ТО (2.5, 3.2, М7) и дополните список требований в п. 3.2, что позволит повысить качество разрабатываемого ТО.

3.4. Выделите требования, которые заведомо нельзя изменять при решении задачи (1.2, 1.4, 2.4, 2.6—2.8, 2.11—2.14, 3.1—3.3, М2, М3).

3.5. Выявите путем анализа и экспертных оценок ложные требования и исключите их из списка (3.1—3.4). В большинстве случаев ложные или лишние требования возникают из-за субъективного отношения к задаче, инерции мышления, психологических барьеров и т. д. Оцените возможность нарушения неизбежности требований, выделенных в п. 3.4. Внесите изменения в список требований.

3.6*. Выделите главные требования к разрабатываемому ТО (1.2, 2.2—2.6, 2.15, 3.2, 3.3), которые обычно соответствуют его основной функции, и внесите поправку в эти требования и связанные с ними показатели с учетом времени освоения ТО и его морального старения.

3.7. Выделите новые требования (1.3, 3.1—3.3, М3), которые имели место в существующих близких ТО.

3.8. Определите входные и выходные параметры разрабатываемого ТО (1.2, 2.13, 2.14, 3.2, М2, М4, М7) и накладываемые на них численные ограничения с учетом настоящего и будущего времени. Часто входные и выходные параметры должны предусматривать резервы в некоторых пределах, отодвигающих срок морального старения.

3.9. Выявите функциональные связи между входными и выходными параметрами (3.8). Выразите их математически или алгоритмически. Проверьте необходимость внесения изменений в заданные значения входных и выходных параметров.

3.10. Рассмотрите входные параметры как выходные предыдущего смежного ТО, а выходные — как входные параметры последующего ТО (2.13, 2.14, 3.8, 3.9). Уточните полноту и значения входных и выходных параметров. На основе пп. 3.8—3.10 дополните список в п. 3.2.

3.11*. Выявите противоречия развития (улучшения) ТО (1.2, 1.4, 2.6—2.14, 3.2—3.5). Эти противоречия возникают, когда улучшение одних показателей (требований) ТО приводит к нежелательному изменению других ее показателей или окружающей среды, включая другие ТО и человека. Для выявления противоречий улучшения ТО рекомендуется построить прямоугольную матрицу, в которой по вертикали перечисляется список требований, а по горизонтали — тот же список требований и список факторов окружающей среды. Далее для каждого улучшаемого требования в матрице отмечаются ухудшаемые другие требования и факторы среды.

3.12. Изобразите графически противоречия развития (улучшения) ТО (3.11).

3.13. Выберите наиболее важные для решения задачи и трудноустраняемые противоречия улучшения (2.7, 2.8, 3.11, 3.12).

4-й этап. Поиск технических идей, решений и физических принципов действия.

4.1*. Преобразуйте в искомое ТР наиболее близкие решения существующих ТО (1.3, 2.2, 1.4, М2, М4).

4.2*. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР лучшие мировые образцы (М2А, М4).

4.3*. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР идеальное ТР (2.16, М1, М4), используя различные физические эффекты и дополнение его крайне необходимыми элементами.

4.4. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР прогнозируемые конструктивные решения (2.3, М1, М4).

4.5. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР аналогичные решения из ведущего класса ТО (2.5, М4, М7).

4.6. Попытайтесь преобразовать в искомое ТР старые практически используемые ТР или отброшенные в свое время, забытые решения (2.1, 2.2, М2, М4).

4.7*. Попытайтесь изменить стоящую выше по иерархии систему (2.13, 2.14), чтобы не создавать искомый ТО или существенно его упростить.

4.8. Попытайтесь решить задачу, устранив причины возникновения недостатков прототипов (2.9, М1).

4.9. Используйте методы морфологического анализа и синтеза (1.4, 1.5, 2.6, 2.9, 2.10, 2.14, 3.1—3.3, 3.6, 3.11, 3.12, М2, М2А, М4, М6, М7) для проверки полноты найденных ТР.

4.10*. Сформулируйте новые физические принципы действия ТО и его основных элементов (1.4, 1.5, 2.6, 2.9, 2.10, 2.14, 3.1—3.3, 3.6, 3.11, 3.12, М1, М2, М2А, М4, М7).

4.11. Используйте метод гирлянд ассоциаций и метафор [41].

4.12*. Комбинируйте идеи (4.1—4.11). Попробуйте сначала парную комбинацию всех найденных ТР и физических принципов действия и выберите из них взаимоусиливающие и взаимоулучшающие. Затем к выбранному парам попытайтесь присоединить третью (четвертую и т. д.) усиливающую идею. Попытайтесь комбинировать сразу по несколько идей.

5-й этап. Выбор наилучших ТР.

5.1. Проверьте полученные ТР на физическую осуществимость (М1) и выделите допустимые ТР.

5.2. Проверьте ТР на технологическую осуществимость (М5). Следует иметь в виду, что некоторые ТР в настоящее время технологически не реализуемые, но особо эффективные решения следует оставить для патентования и изучения возможности разработки соответствующей технологии.

5.3*. Проверьте оставшиеся ТР на их соответствие основным требованиям (1.2, 2.7, 3.6, 5.1, 5.2, М4, М8); выделите ТР, удовлетворяющие этим требованиям.

5.4. Проведите классификацию вариантов ТР (5.3) по физическому принципу действия, основным конструктивным, технологическим, эксплуатационным или другим признакам. Это позволит в дальнейшем проводить групповую обработку ТР.

5.5*. Выберите наиболее экономичные варианты (5.3, 5.4, М8), позволяющие решать задачу при минимальных затратах: материалов, энергии, трудовых ресурсов и т. п.

5.6. Выберите ТР, которые по основным показателям не ниже лучших мировых образцов (5.3, 5.4, М2А, М8).

5.7. Выберите ТР, в которых возможна наибольшая доля стандартных узлов и деталей (5.3, 5.4, М2, М4).

5.8*. Выберите ТР, наиболее полно реализующие сформулированную функцию, главные цели и требования (1.2, 2.6, 2.10, 3.6, 5.3, 5.4, М8).

5.9*. Выберите ТР, наиболее полно устраняющие главные противоречия улучшения ТО (3.11—3.13, 5.3, 5.4).

5.10. Выберите ТР, требующие минимального или значительного изменения в смежных ТО (2.13, 2.14, 3.10, 5.3, 5.4, М8). Такие ТР часто представляют наибольший интерес для анализа и последующего выбора наилучших ТР.

5.11*. Выберите наилучшие ТР на основе анализа результатов по пп.5.5—5.10. Рекомендуется окончательно отобрать не более 10 вариантов.

6-й этап. Доработка выбранных технических решений.

6.1*. Проверьте наилучшие ТР на их соответствие полному списку требований (3.2, 3.3, 3.5, 5.11). Выделите ТР, удовлетворяющие и не удовлетворяющие полному списку требований.

6.2*. Преобразуйте недопустимые ТР в допустимые (6.1, М4). Для этого рекомендуется использовать процедуры 4-го и 5-го этапов, рассматривая недопустимые ТР и их узлы как прототипы.

6.3*. Попытайтесь улучшить допустимые функциональные узлы (6.1, 6.2, М4) во всех наилучших допустимых ТР, используя также процедуры 4-го и 5-го этапов. Составьте уточненный список наилучших ТР.

6.4. Определите возможные изменения в смежных ТО всего комплекса, включающего разрабатываемый ТО (2.13, 2.14, 3.10, 6.3). Попробуйте снизить затраты на эти изменения, используя процедуры 4-го и 5-го этапов.

6.5. Определите оптимальные значения основных параметров наилучших ТР (6.3, 6.4). При этом рекомендуется использовать специальные методы оптимизации.

6.6. Проведите ранжировку наилучших ТР (6.3—6.5, М8) по степени эффективности, достижения главной цели и т. д. Для более точного построения последовательности от самого лучшего ТР до худшего рекомендуется использовать методы экспертных оценок, квалиметрического анализа и другие, указанные в М8.

6.7. Разработайте эскизы и чертежи наилучших ТР (6.6).

6.8. Проведите экспериментальную или опытную проверку наилучших ТР (6.6, 6.7).

6.9. Выявите недостатки ТР после экспериментальной (опытной) проверки (6.8). Устраните выявленные недостатки. Если выявленные недостатки существенны и при этом не очевидны пути их устранения, то рекомендуется снова использовать процедуры 4-го и 5-го этапов.

7-й этап. Анализ технико-экономических показателей найденных ТР и оценка перспектив их внедрения.

7.1*. Оцените ожидаемый эффект от использования полученных ТР (1.2, 1.5, 2.12, 2.14, 2.15, 3.1—3.3, 3.6, 3.13, 6.5—6.9, М2, М2А, М8, М7). Оценка производится по различным показателям в относительных величинах по сравнению с существующими наилучшими практически используемыми ТО.

7.2. Оцените перспективность найденных ТР (1.2, 1.5, 2.2—2.6, 2.11—2.16, 3.2, 3.3, 3.6, 3.13, 5.5—5.10, 6.5—6.9, 7.1, М2, М2А, М5, М8, М7). Ответьте на вопрос: как и в какой мере найденные ТР изменят существующую ситуацию в различных отраслях и областях техники, создадут ли новые возможности для удовлетворения потребностей, создадут ли новые потребности и новые трудности.

7.3*. Определите область практического применения полученных ТР в рассматриваемой области техники (2.2—2.4, 2.12—2.15, 3.2, 3.7, 5.5—5.10, 6.5, 6.6, 7.1, 7.2) в настоящем и будущем. Оцените объемы реализации новых ТО.

7.4. Определите область применения аналогичных ТР в ведущей и других областях и отраслях техники (1.3, 2.5, 3.1, 3.3, 5.5—5.10, 6.5—6.9, 7.1—7.3, М7) в настоящее время и в будущем. Оцените объем реализации новых ТО. Для более полного охвата возможных приложений рекомендуется использовать стандарты и тезаурусы отраслевой терминологии, классификаторы патентных описаний, ключевые слова библиографических описаний и т. д.

7.5*. Оцените ожидаемый экономический эффект (7.1—7.4, М8) в зависимости от объемов реализации новых ТО.

7.6. Составьте заявки на изобретения для найденных ТР (2.9, 2.14, 2.16, 4.1—4.12, 5.5—5.10, 6.2—6.5, М2, М2А, М3, М7).

После решения задачи и получения удовлетворительных результатов рекомендуется проанализировать ход ее решения и выявить методические средства (новые эвристические приемы), с помощью которых были получены наиболее эффективные новые ТР. Включите эти методические средства в массив М6. Дополните массив М2 наилучшими найденными ТР.

В книге [1] даны рекомендации по составлению специализированных эвристических методов на основе обобщенного эвристического метода. Приведены примеры составления и использования специализированных методов, ориентированных на определенный класс ТО. Этот же подход можно использовать для составления индивидуальных методик инженерного творчества для личного пользования.

Основная суть составления специализированного метода состоит в том, что в него, во-первых, включаются все инвариантные процедуры, отмеченные звездочкой; во-вторых, добавляются другие процедуры, которые обеспечивают значительное усиление метода, а также новые специальные процедуры и информационные фонды, которые также обеспечивают повышение эффективности специализированного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Автоматизация поискового конструирования/Под ред. А. И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981. 344 с.
2. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973. 296 с.
3. Буш Г. Я. Рождение изобретательских идей. Рига: Лиесма, 1976. 126 с.
4. Воинов Б. С. Принципы поискового проектирования: Учеб. пособие. Горький: ГГУ, 1982. 75 с.
5. Джонс Дж. К. Методы проектирования. /Пер. с англ. 2-е изд. М.: Мир. 1986. 326 с.
6. Каменев А. Ф. Технические системы: закономерности развития. Л.: Машиностроение, 1985. 216 с.
7. Кантор К. М. Красота и польза. М.: Искусство, 1967. 312 с.
8. Мелешенко Ю. С. Техника и закономерности ее развития. Л.: Лениздат, 1970. 246 с.
9. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках/Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1984. 144 с.
10. Одрин В. М., Кратавов С. С. Морфологический анализ систем. Киев: Наукова думка, 1977. 183 с.
11. Карпунин М. Г., Майданчик Б. И. Функционально-стоимостной анализ в электротехнической промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1984. 288 с.
12. Половинкин А. И. Законы строения и развития техники/Учеб. пособие. Волгоград: ВолгПИ, 1985. 202 с.
13. Тринг М., Лейтуэйт Э. Как изобретать?/Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 272 с.
14. Чус А. В., Данченко В. А. Основы технического творчества/Учеб. пособие. Киев—Донецк: Вища школа, 1983. 184 с.
15. Эберт Х. Томас К. Анализ затрат на основе потребительской стоимости. М.: Экономика, 1975. 190 с.

Дополнительная

16. Азгальдов Г. Г., Повилейко Р. П. О возможности оценки красоты в технике. М.: Изд. стандартов, 1977. 120 с.
17. Алгоритмы оптимизации проектных решений/Под ред. А. И. Половинкина. М.: Энергия, 1976. 264 с.
18. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979. 184 с.
19. Арайс Е. А., Дмитриев В. М. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1982. 160 с.
20. Бабанов Ю. Н., Воинов Б. С. Поиск новых технических решений в радиотехнике СВЧ/Учеб. пособие. Горький: ГГУ, 1981. 76 с.
21. Безмоздин Л. Н. Художественно-конструкторская деятельность человека. Ташкент, Фан АН УзССР, 1975. 246 с.

22. Богданов Г. М., Половинкин А. И. Об одном подходе к задаче компоновки технических систем//Управляющие системы и машины, 1983, № 2, с. 24—27.

23. Борисов В. И. Общая методология конструирования машин. М.: Машиностроение, 1978. 120 с.

24. Буш Г. Я. Методологические основы научного управления изобретательством. Рига: Лиесма, 1974. 167 с.

25. Буш Г. Я. Методы технического творчества. Рига: Лиесма, 1972. 94 с.

26. Буш Г. Я. Основы эвристики для изобретателей. Рига: Знание, 1977. Ч. 1, с. 55; ч. 2, с. 67.

27. Веселовский О. Н., Шнейберг Я. А. Энергетическая техника и ее развитие. М.: Высшая школа, 1976. 304 с.

28. Выявление обобщенных приемов улучшения основных характеристик преобразователей с распределенными параметрами/Заринов М. Ф., Файрушина Т. А., Зайнутдинова Л. Х. Мамаджанов А. М.//Теория информационных систем и систем управления с распределенными параметрами. М.: Наука, 1978. С. 148—153.

29. Гильде В., Штарке К. Д. Нужны идеи/Пер. с нем. М.: Мир, 1973. 64 с.

30. Грамп Е. А. Функционально-стоимостной анализ: сущность, теоретические основы, опыт применения за рубежом. М.: Информэлектро, 1980. 64 с.

31. Дворянkin А. М., Половинкин А. И., Соболев А. Н. Методы синтеза технических решений. М.: Наука, 1977. 103 с.

32. Диксон Д. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений/Пер. с англ. М.: Мир, 1969. 440 с.

33. Добровольский В. А., Эрлих Л. Б. Основные принципы конструирования современных машин. М.: Машгиз, 1956. 109 с.

34. Инструкция по государственной научно-технической экспертизе изобретений (ЭЗ—2—74). М.: ЦНИИ патентной информации и технико-экономических исследований, 1975. 62 с.

35. Капустин И. И. Как создают машины. М.: Московский рабочий, 1960. 128 с.

36. Капустян В. М., Махотенко Ю. А. Конструктору о конструировании атомной техники//Системно-морфологический подход в конструировании. М.: Атомиздат, 1981. 190 с.

37. Кох П., Мюллер И. Библиотека программ систематической эвристики для ученых и инженеров/Пер. с нем. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1974. 306 с.

38. Кумунжиев К. В., Кузьмин Н. И., Никитин Ю. В. Интеллектуальный интерфейс электромеханика/Учеб. пособие. Уфа: УАИ, 1984. 100 с.

39. Лазарев И. А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем. М.: Радио и связь. 1986. 326 с.

40. Мазуркин П. М., Половинкин А. И. Методика ретроспективного анализа эволюции лесной техники//Автоматизированное конструирование в приборостроении. Межвузовский сборник. Горький: ГГУ, 1978. С. 121—132.

41. Методы поиска новых технических решений/Под ред. А. И. Половинкина. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1976. 192 с.

42. Мищенко В. А., Козюминский В. Д., Семашко А. Н. Многофункциональные автоматы и элементная база цифровых ЭВМ/Под ред. В. А. Мищенко. М.: Радио и связь, 1981. 240 с.

43. Никитин С. В. Поиск новых технических решений узлов локомотивов. Брянск: БИТМ, 1982. 82 с.
44. Орлов П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие. Кн. 1 М.: Машиностроение, 1977. 623 с.
45. Повилейко Р. П., Левицкий Л. В. Человек, машина, красота. Новосибирск: Западно-сибирское кн. изд-во, 1969. 198 с.
46. Половинкин А. И. Метод оптимального проектирования с автоматическим поиском схем и структур инженерных конструкций/Научные труды ЦНИИС, вып. 34. М.: 1970. 162 с.
47. Половинкин А. И. Методы инженерного творчества. Учеб. пособие. Волгоград: ВолгПИ, 1984. 364 с.
48. Половинкин А. И., Вершинин Н. И., Зверева Т. И. Функционально-физический метод поискового конструирования/Учебно-методическое пособие. Иваново: ИЭИ, 1983. 83 с.
49. Положение об организации и проведении функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности. М.: Информэлектро. 1978. 148 с.
50. Семенов С. А. Развитие техники в каменном веке. Л.: Наука, 1968. 362 с.
51. Сидоров А. И. Основные принципы проектирования и конструирования машин. М.: МАКИЗ, 1929. 427 с.
52. Товмасын С. С. Философские проблемы труда и техники. М.: Мысль, 1972. 279 с.
53. Трушкин В. Ошибка! Как ее предотвратить. М.: Московский рабочий, 1971. 264 с.
54. Ханзен Ф. Основы общей методики конструирования/Пер. с нем. Л.: Машиностроение, 1969. 166 с.
55. Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники/Пер. с англ. под ред. Г. Н. Поварова. М.: Сов. радио, 1975, с. 448.
56. Шафрановский И. И. Симметрия в природе. Л.: Недра (Ленинградское отделение), 1968. 184 с.
57. Шубников А. В., Копчик В. А. Симметрия в науке и технике. М.: Наука, 1972. 340 с.
58. Hansen F. Konstruktionswissenschaft—Grundlagen und Methoden—Berlin: VEB. Verlag, Technik, 1976. 165 S.
59. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen — Geräte — und apparatebau—Berlin: Springer—Verlag, 1976. 184 S.
60. Rodenaker W. G. Methodisches Konstruieren. Springer—Verlag: Berlin — Heidelberg—New York, 1970 — 223 S.

АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоматизированный банк инженерных знаний 294—295 *см.* Банк инженерных знаний

Алгоритм конкурирующих точек 263, 264

Антропологические критерии развития технического объекта (ТО)
 безопасности 76
 красоты 76
 экологичности 77
 эргономичности 75

Б

База данных для функциональных элементов 120—122

Банк инженерных знаний 294, 295

З

Задачи

 изобретательские 11

 поискового конструирования 11

 постановка 149—161

 творческие инженерные 12

 технического творчества 11

 четко определенные инженерные 12—13

Закон гомологических рядов 339

 — корреляции параметров однородного ряда технических объектов 338

 — прогрессивной эволюции 80, 109

 — расширения множества потребностей-функций 340

 — соответствия между функцией и структурой 115—123

 — стадийного развития техники 125

 — техники 39, 40, 108, 125, 128, 129

И

Идеальное техническое решение 158, 159

Инвариантные понятия техники

 описание понятий 21

 принцип выбора понятий 19

 технический объект 20 *см.* Технический объект технология 21

Инженерное творчество (ИТ) 6—9

 задачи 20, 30

 интенсивная технология 7, 295—296

методология обучения 13—17
наклонности и способности 9
отличие от решения четко определенных задач 12

К

Компьютерные методы инженерного творчества 10—11

Конструктивная эволюция
методика описания 82
пример описания 85—107

Конструктивно-технологические решения
иерархическое исчерпание возможностей решения 111
методология системного иерархического выбора глобально оптимальных решений 112

Коэффициент использования материалов 69

Критерии развития технического объекта (ТО)

антропологические 75 *см.* Антропологические критерии развития
технического объекта (ТО)
безопасности ТО 76
виды 59

габаритных размеров 74

затрат на информационное обеспечение 73

использование материалов 69

красоты ТО 76, 140—146

надежности 64

понятие 35

производительности 64

расхода материалов 71

— энергии 72

расчленения ТО на элементы 69

систематика 61

технологические 65 *см.* Технологические критерии развития ТО
технологических возможностей 66

точности 64

требования к выбору и описанию 59

— к параметрам 60 *см.* Требования к параметрам критерия развития ТО

трудоемкости 65

функциональные 62 *см.* Функциональные критерии развития ТО
экологичности 77

экономические 71 *см.* Экономические критерии развития ТО
эргономичности ТО 35

М

Межотраслевой фонд эвристических приемов преобразования объекта
использование профилактических мер 305

— резервов 306

количественные изменения 304

повышение технологичности 307

преобразование в пространстве 301

— во времени 302

— движения и силы 302

— материала и вещества 303

— по аналогии 306

— структуры 301

— формы 300

- приемы дифференциации 304
- Метод мозговой атаки (МА) комбинированный 174, 175
 - обратной мозговой атаки 171—173
 - обобщенный эвристический 341—348 *см.* Обобщенный эвристический метод
 - прямой мозговой атаки 164—169
 - Цвикки 190
 - эвристических приемов 179, 181, 187
- Методы инженерного творчества
 - автоматизированный поиск оптимальных ТР 256 *см.* Поиск оптимальных технических решений
 - автоматизированный синтез ТР 237 *см.* Синтез технических решений
 - — физических принципов действия 212 *см.* Синтез физических принципов действия автоматизированный
 - виды 10, 11
 - выбор метода 10, 11
 - компьютерные 10 *см.* Компьютерные методы инженерного творчества
 - методология обучения 14—17
 - методы мозговой атаки 164—175 *см.* Метод мозговой атаки
 - морфологический анализ и синтез ТР 189 *см.* Морфологический анализ технических решений
 - поискового конструирования 15
 - постановка задачи 149 *см.* Постановка и анализ задачи
 - функционально-стоимостный анализ ТО 273 *см.* Функционально-стоимостный анализ технических объектов
 - эвристические 10 *см.* Эвристические методы ИТ
- Модель технического объекта
 - интуитивная (мысленная) 37
 - математическая 37, 38
 - физическая 37
- Мозговая атака (МА)
 - методы 164, 170, 174
 - область применения 164
- Морфологическая таблица 196—201, 205, 209, 237, 266
- Морфологический анализ технических решений
 - выбор наиболее эффективных решений 201
 - морфологическая модель технических принципов 191
 - постановка задачи 193
 - построение конструктивной функциональной структуры 193, 196
 - принцип морфологической комбинаторики 189
 - составление морфологических таблиц 196

Н

- Надсистема 21
- Неделимый элемент 42

О

- Обобщенный эвристический метод
 - информационная база 341
 - структура и процедура метода 342—348
 - схема 342
- Обучающе-рабочий модуль 15
- Окружающая среда 42, 43
- Операция Коллера 50, 51, 297

Описание ТО

- потребность 22 *см.* Потребность
- техническая функция (ТФ) 23 *см.* Техническая функция
- техническое решение (ТР) 27 *см.* Техническое решение
- физический принцип действия 27 *см.* Физический принцип действия
- функция ТО 22
- функциональная структура (ФС) 24 *см.* Функциональная структура
- физического принципа 54

П

Параметрическая оптимизация 257

- Поиск оптимальных технических решений
- алгоритм поиска глобального экстремума 261
- организация глобального поиска в морфологической таблице 266
- поиск оптимальных структур 257
- — форм 267
- постановка задачи параметрической оптимизации 257
- — структурной оптимизации 258

Поколение технических объектов 82—84

Потребность 22

Постановка и анализ задачи

- предварительная подготовка 149 *см.* Предварительная подготовка задачи
- уточненная постановка задачи 154 *см.* Уточненная постановка задачи

Построение конструктивной функциональной структуры 41, 44

- потоковой функциональной структуры 47, 49

Предварительная подготовка задачи

- выбор прототипа и составление списка требований 150
- описание проблемной ситуации 180
- функции 150
- предварительная формулировка задачи 153
- составление списка недостатков прототипа 152

С

Синтез технических решений (ТР) автоматизированный 237—251

- физических принципов действия автоматизированный 212—215

Систематика задач поиска и выбора проектно-конструкторских решений

- иерархия задач 30
- последовательность решения задач 29, 30

Список недостатков прототипа 153

- требований 33—35, 246

Структурная оптимизация 258

Структурно-параметрическая оптимизация 261

Т

Творческая личность 13

Творческие способности 131

Техническая функция 23

Технический объект (ТО)

- главный элемент 43, 44
- иерархия описания 21 *см.* Описание ТО
- критерии развития 35 *см.* Критерии развития технического объекта

- (ТО)
 - неделимый 42
 - окружающая среда 32
 - показатели качества 36
 - понятие 20
 - разделение на элементы 41
 - соподчиненность 21
 - список недостатков 36
 - способы моделирования 37, 38 *см.* Модель технического объекта
 - требования 33 *см.* Список требований
 - функционально-стоимостный анализ 273 *см.* Функционально-стоимостный анализ ТО
- Техническое задание (ТЗ) 152
- Техническое решение (ТР)
 - методика описания 239
 - определение 27
 - представление в виде иерархического дерева 239
 - признаки описания 27
 - расширение множества 239
- Технологические критерии развития ТО
 - использование материалов 68
 - расчленение ТО на элементы 69
 - технологических возможностей 66
 - трудоемкости изготовления ТО 65
- Технология 20
- Требования к параметрам критерия развития ТО 60 *см.* Условие
- У**
 - Условие измеримости критерия 60
 - исключения 61
 - минимальности 61
 - независимости 61
 - постоянства 62
 - сопоставимости 60
- Уточненная постановка задачи
 - анализ функций вышестоящей по иерархии системы 155
 - — прототипа и построение улучшенной конструктивной ФС 154
 - выявление и анализ противоречий развития 157
 - причин возникновения недостатков 156
 - определение идеального ТР 159
 - улучшение дополнительных показателей ТО 161
 - уточнение списка прототипов 157
 - формирование идеального ТР 157
- Ф**
 - Фактор наследственности в технике 67
 - Физико-технический эффект 26, 212—214
 - Физическая операция 24, 52
 - Физический принцип действия 27
 - Фонд физико-технических эффектов 308
 - эвристических приемов 301—307 *см.* Межотраслевой фонд эвристических приемов преобразования объекта
 - Функциональная красота изделия 14, 142—143
 - Функциональная структура конструктивная 25, 45 *см.* Построение конструктивной ФС

— — потоковая 25 *см.* Построение потоковой функциональной структуры

— — — абстрагированная 25

— — — конкретизированная 25

Функционально-стоимостный анализ технических объектов

выявление зон наибольшего сосредоточения затрат 282

дальнейшее развитие 291

классификация функций ТО 277

определение стоимости функций 277

порядок проведения 275

постановка задачи поиска более рационального решения 284

разработка и внедрение результатов 285—287

сравнение стоимости функций 272

Функциональные критерии развития ТО

надежности 64

производительности 63, 64

точности 64

9

Эволюционная цепочка 82

Эволюция 82 *см.* Конструктивная эволюция

Эвристическая избыточность 182, 183

Эвристический прием 177, 180, 300 *см.* Межотраслевой фонд эвристических приемов преобразования объекта

Эвристические методы ИТ 10 *см.* Метод эвристических приемов

виды 11

решаемые задачи 11

Экономические критерии развития ТО

габаритных размеров 74

затрат на информационное обеспечение 73

расхода материалов 71

— энергии (коэффициент полезного действия) 72

Элементарная физическая операция 54

Эстетическое воспитание 134—138

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Условные обозначения	5
Введение	6
Часть первая	19
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОР-	
ЧЕСТВА	19
Глава 1. Основные инвариантные понятия техники . . .	19
1. О принципах выбора понятий	19
2. Технический объект и технология	20
3. Иерархия описания технических объектов	21
4. Систематика задач поиска и выбора проектно-	
конструкторских решений	29
5. Окружающая среда технического объекта . .	32
6. Список требований	33
7. Критерии развития, показатели качества и спи-	
сок недостатков технического объекта	35
8. Модель технического объекта	37
9. Законы и закономерности техники	39
Глава 2. Функционально-физический анализ технических	
объектов	41
1. Построение конструктивной функциональной	
структуры	41
2. Построение потоковой функциональной струк-	
туры	47
3. Описание физического принципа действия . . .	54
Глава 3. Критерии технических объектов	59
1. Требования к выбору и описанию критериев	
развития ТО	59
2. Функциональные критерии развития ТО . . .	65
3. Технологические критерии развития ТО . . .	71
4. Экономические критерии развития ТО . . .	71

Б. Антропологические критерии развития ТО	75
Г л а в а 4. Конструктивная эволюция технических объектов	80
1. Об изучении конструктивной эволюции технических объектов	80
2. Методика описания конструктивной эволюции и анализа технических объектов	82
3. Описание и анализ конструктивной эволюции велосипеда	85
Г л а в а 5. Законы строения и развития техники и их приложения	108
1. Законы техники в инженерном творчестве . . .	108
2. Закон прогрессивной эволюции техники . . .	109
3. Закон соответствия между функцией и структурой	115
4. Закон стадийного развития техники	125
5. Использование других законов техники . . .	128
Г л а в а 6. О роли красоты в инженерном творчестве и эстетической подготовке инженеров	130
1. Человек и красота окружающего мира . . .	130
2. Система эстетического воспитания в домашний период и ее нарушение в период интенсивной механизации и автоматизации производства	135
3. О необходимости эстетической подготовки инженеров	138
4. Заключительное замечание	147
Часть вторая	149
МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА	149
Г л а в а 7. Постановка и анализ задачи	149
1. Предварительная постановка задачи . . .	149
2. Уточненная постановка задачи	154
Г л а в а 8. Методы мозговой атаки	162
1. Использование возможностей подсознания	162
2. Метод прямой мозговой атаки	164
3. Метод обратной мозговой атаки	170
4. Комбинированное использование методов мозговой атаки	174
Г л а в а 9. Метод эвристических приемов	177
1. Эвристический прием	177

2. Межотраслевой фонд эвристических приемов	179
3. Постановка задачи и ее решение	181
4. Индивидуальный фонд эвристических приемов	187
Глава 10. Морфологический анализ и синтез технических решений	189
1. Морфологическая комбинаторика	189
2. Постановка задачи и построение конструктивной функциональной структуры	193
3. Составление морфологических таблиц	196
4. Выбор наиболее эффективных технических решений	201
5. Пример решения задачи	205
Глава 11. Автоматизированный синтез физических принципов действия	212
1. Фонд физико-технических эффектов	212
2. Синтез физических принципов действия по заданной физической операции	215
3. Морфологический синтез физических принципов действия	224
Глава 12. Автоматизированный синтез технических решений	237
1. Использование многоуровневых морфологических таблиц	237
2. Построение И-ИЛИ-дерева технических решений	239
3. Составление списка требований	246
4. Разработка модели оценки технических решений	248
5. Алгоритмы поиска решения на И-ИЛИ-дереве	251
6. Порядок решения задач	252
Глава 13. Автоматизированный поиск оптимальных технических решений	256
1. Поиск оптимальных структур	257
2. Поиск оптимальных форм	267
3. Заключительные замечания	271
Глава 14. Функционально-стоимостный анализ технических объектов	273
1. Всесторонняя экономия ресурсов	273
2. Порядок проведения ФСА	275
3. Сбор и анализ информации	277
4. Разработка улучшенных проектно-конструкторских решений	285
5. Разработка и внедрение результатов ФСА	286
6. Методический пример	287
7. Дальнейшее развитие ФСА	291

Заключение	292
Приложение 1	
Характеристика и отличительные признаки операций Коллера	297
Приложение 2	
Межотраслевой фонд эвристических приемов преобразования объекта	300
Приложение 3	
Фонд физико-технических эффектов	308
Приложение 4	
Гипотезы о некоторых законах строения и развития техники	338
Приложение 5	
Обобщенный эвристический метод	341
Список литературы	349
Алфавитно-предметный указатель	352

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

ПОЛОВИНКИН Александр Иванович

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

Редактор *Е. В. Григорин—Рябова*

Художественный редактор *А. И. Ро*

Технический редактор *Т. И. Андреева*

Корректоры: *Л. Я. Шабашова, И. М. Борейша*

ИБ № 5499

Сдано в набор 16.02.88. Подписано в печать 30.06.88. Т-05279.
Формат 84×108/32. Бумага кн.-журн. № 2. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 19,32. Усл. кр.-отт. 19,32. Уч.-изд. л. 21,56.
Тираж 54300 экз. Заказ 402. Цена 1 р.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Издательство «Машиностроение» выпустит в 1989 году следующие книги:

Научно-популярная литература

Новиков В. П., Мельситов И. П., Комягин Ю. П. **Современные художественные изделия из металла.** — Л.: Машиностроение, 1989. — 17,5 л.: ил. — (В пер.): 5 р. 10 к.

В красочном исполнении представлены лучшие образцы изделий из металла (предметы сервировки стола и украшения интерьера) предприятий ювелирной промышленности и народных промыслов СССР. Кратко, но емко охарактеризованы традиционные и новые центры декоративно-прикладного искусства. Описаны свойства металлов, а также классификация и ассортимент художественных изделий из металла. Рассмотрены технологические процессы их изготовления.

Книга предназначена для широкого круга читателей художественных изделий из металла.

Парр Э. **Знакомство с микроЭВМ:** Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1989. — 11 л.: ил. — (В обл.): 55 к.

Научно-популярная книга английского автора призвана помочь читателям сделать первый шаг к компьютерной грамотности. Автор знакомит читателя со всеми элементами нового класса микроЭВМ — персональных компьютеров, приводит простейшие способы программирования на наиболее доступном языке Бейсик, дает обзор распространенных языков высокого уровня. Большой интерес представляют примеры общения с микроЭВМ, в частности, шахматные и другие занимательные игры. Книга не требует знаний вычислительной техники и написана простым и ясным языком.

Для широкого круга читателей, в частности, учителей, школьников, студентов.

Производственная литература

Аруин А. С., Зациорский В. М. Эргономическая биомеханика. — М.: Машиностроение, 1989. — 17 л.: ил. — (В пер.): 1 р. 20 к.

Рассмотрены вопросы эргономической биомеханики применительно к машиностроению. Описана биомеханика ручных действий и создания ручного инструмента, работы за пультом стоя, рабочих мест операторов и станочников, воздействие вибрации, средств индивидуальной защиты. Использование приведенных в книге сведений позволит создать оптимальную планировку рабочих мест, которая повышает производительность труда.

Для инженеров, организаторов производства и других специалистов машиностроительных предприятий (объединений), проектных и научно-исследовательских организаций машиностроения, а также для работников служб охраны труда.

Конов Ю. П., Мазнев С. Ф. Ускорение использования изобретений (прогнозирование, эффективность). — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1989. — 10 л.: ил. — (В обл.): 55 к.

Рассмотрены практические вопросы прогнозирования и определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве изобретений. Изложены критерии и методы оценки изобретений, методика прогнозирования их внедрения. Проанализированы проблемы ускорения изобретений.

Второе издание (1-е изд. 1983 г.) переработано и дополнено материалами по методам оценки социального и экономического эффектов от расширения сфер и ускорения использования изобретений.

Для инженеров и специалистов предприятий, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций.

К у р и ц к и й Б. Я. Оптимизация вокруг нас. — Л.: Машиностроение, 1989. — 15,5 л.: ил. — (В пер.): 55 к.

В книге в популярной форме рассмотрены задачи оптимизации, возникающие при управлении, проектировании изделий и технологических процессов в машиностроении. Изложены методы линейного, целочисленного, нелинейного и стохастического программирования, которые обеспечивают решение задач оптимизации. Показано, как решать задачи оптимизации по нескольким критериям. Приведены необходимые сведения о решении задач оптимизации на ЭВМ.

Для широкого круга специалистов, занимающихся решением оптимизационных задач в АСУ и САПР.

М а й о р о в В. Г., Г а в р и л о в А. И. Практический курс программирования микропроцессорных систем. — М.: Машиностроение, 1989. — 16 л.: ил. — (В пер.): 1 р. 30 к.

Рассмотрены основные принципы и приемы программирования микропроцессорных систем на базе микропроцессоров серии КР580. Дан лабораторный практикум для начинающих программистов.

Для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами разработки и применения микропроцессорных систем в различных отраслях народного хозяйства, а также для начинающих программистов микропроцессорных систем.

Персональные компьютеры: Пер. с болг./ К. Л. Б о я н о в, В. С. Г е т о в, Н. Г. В е ц е в и др. — М.: Машиностроение, 1989. — 14 л.: ил. — (В обл.): 85 к.

Книга болгарских авторов просто и доступно рассказывает об устройстве современных персональных компьютеров: о центральном процессоре и памяти системы, об организации и управлении клавиатурой, дисплеем, накопителями на гибких и жестких магнитных дисках, печатающими устройствами. Книга поможет подготовить компьютер к работе, обнаружить ошибки в его работе, произвести его профилактику. Читатели получают необходимую информацию по автоматизации административной деятельности и проектно-конструкторских работ.

Для инженеров и руководителей промышленных предприятий и НИИ, для всех желающих овладеть техникой работы на персональном компьютере.

Проектирование оптимальных технологических систем машин: Сб. статей/А. И. Д а щ е н к о, М. Ф и б и г е р, М. Ф и ш е р и др. — М.: Машиностроение, 1989. — 24 л.: ил. — (В пер.): 1 р. 60 к.

В сборнике обобщен накопленный в СССР и ЧССР опыт проектирования, исследования и эксплуатации технологических систем машин (ТСМ) — станочных и сборочных линий, а также участков, предназначенных для полной обработки деталей, контроля, сборки, испытания изделий. Изложены методы и результаты оптимизации проектных решений, обеспечивающие получение максимального экономического эффекта для конкретных производственных условий.

Для инженеров-конструкторов и технологов, работающих в области автоматизации массового и серийного производства.

Штернберг Л. Ф. Курс программирования микрокалькуляторов БЗ—34, МК—52, МК—54, МК—56, МК—61. — Машиностроение, 1989. — 10 л.: ил. — (В обл.): 55 к.

Изложены теоретические основы и практические приемы работы на программируемых калькуляторах наиболее распространенных типов. Рассмотрены: разработка алгоритма решения задачи, его запись в виде программы, ввод ее в память калькулятора, тестирование и отладка программы.

Для широкого круга читателей, желающих освоить работу на калькуляторах указанных типов.

Справочная литература

Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 1 — 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1989. — 60 л.: ил. — (В пер.): 3 р. 60 к.

В 1-м томе приведены общетехнические сведения, справочные данные по материалам, шероховатости поверхности, допускам и посадкам, предельным отклонениям формы и расположения поверхностей, конструктивным элементам деталей, технологичности конструкций, крепежным изделиям, стандартизованным и нормализованным деталям и узлам, а также по защитным и защитно-декоративным покрытиям.

Седьмое издание (6-е изд. 1982 г.) переработано и дополнено в соответствии с новыми ГОСТами и нормативно-технической документацией.

Выпуск 2-го и 3-го томов планируется в 1990 г.

Для инженеров и техников-конструкторов.

Переиздается по просьбе книготорговых организаций.

Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник/Г. К. Барнашева, К. М. Великанов, В. Ф. Власов и др.; Под общ. ред. К. М. Великанова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, 1989. — 46 л.: ил. — (В пер.): 2 р. 70 к.

Содержит методику расчета и нормативы затрат (по элементам и в целом), обусловленных часом работы оборудования различных цехов (механических, кузнечно-прессовых, литейных, сварочных и термических) машиностроительных предприятий. Нормативы необходимы для определения сравнительной экономичности новой техники, технологии, организации производства и труда. Даны исходные материалы для поэлементного расчета по сравниваемым вариантам затрат, составляющих себестоимость и капитальные вложения, и изложена его методика.

При подготовке второго издания (1-е изд. 1975 г.) заново рассчитаны (с использованием ЭВМ) нормативы затрат (1250 позиций вместо 750). Обновлено нормативно-справочные материалы.

Для инженерно-технических работников проектных организаций и предприятий машиностроения.

Справочное руководство по черчению/ В. Н. Богданов, И. Ф. Маложик, А. П. Верховлаи др. — М.: Машиностроение, 1989. — 45 л.: ил. — (В пер.): 2 р. 60 к.

В систематизированном виде приведены сведения об основах проекционного отображения и практических приемах геометрических построений, а также нормативно-технические положения, относящиеся к выполнению чертежей, схем, оформлению конструкторской и проектной документации в соответствии с ГОСТами СССР.

Для инженерно-технических работников машиностроительной промышленности. Может быть полезно студентам вузов.

