

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

И.Н. Шило, В.П. Миклуш, В.А. Агейчик, Д.Н. Колоско

**ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА**

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области сельского хозяйства Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по агроинженерным специальностям*

**Минск 2008**

УДК 62:001.895 (075.8)  
ББК 30уя7  
О 75

Авторы: д-р техн. наук, проф. *И.Н.Шило*;  
канд. техн. наук, проф. *В.П. Миклуш*;  
канд. техн. наук, доц. *В.А. Агейчик*;  
канд. техн. наук, доц. *Д.Н. Колоско*

Рецензенты: иностранный член РААСН, д-р техн. наук, профессор,  
зав. кафедрой строительных и дорожных машин БНТУ  
*А.В. Вавилов*;  
канд. техн. наук, доцент, декан факультета механизации БГАТУ  
*И.С. Крук*

**Основы инженерного творчества:** учеб. пособие / И.Н. Шило,  
В.П. Миклуш, В.А. Агейчик, Д.Н. Колоско. — Минск: БГАТУ,  
2008. — 248 с.

**ISBN 978-985-519-034-0**

Рассмотрены профессиональные особенности деятельности агроинженера, пути развития культуры инженерного мышления на основе изучения законов развития техники и создания новых и модернизации существующих технических объектов сельскохозяйственного профиля. Большое внимание уделено наиболее распространенным методам технического творчества, включая теорию решения изобретательских задач. Рассмотрены тенденции научно-технического развития и основы инновационной деятельности.

Предназначено для студентов, преподавателей, а также специалистов агроинженерного профиля.

**УДК 62:001.895 (075.8)  
ББК 30уя7**

**ISBN 978-985-519-034-0**

© БГАТУ, 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Список условных сокращений</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Предисловие</b> .....	<b>7</b>
1.1 Профессиональные особенности деятельности агроинженера .....	7
1.2 Особенности культуры инженерного мышления .....	9
1.3 Творческие уровни инженерного труда .....	11
1.4 Анализ существующих методов решения технических задач. Выбор приоритетов. Цели и задачи курса .....	13
Контрольные вопросы .....	14
<b>2 Основные понятия. Иерархия описания технических объектов</b> .....	<b>15</b>
2.1 Основные понятия и определения по объекту проектирования .....	15
2.2 Общие свойства объектов проектирования .....	17
2.3 Классификация оборудования .....	21
2.4 Оценка работы технической системы .....	22
2.5 Иерархия описания технических объектов .....	23
2.5.1 Потребность .....	24
2.5.2 Техническая функция. Физическая операция. Операции Коллера .....	26
2.5.3 Функциональная структура .....	32
2.5.4 Физический принцип действия .....	33
2.5.5 Техническое решение. Проект и объект .....	35
Контрольные вопросы .....	38
<b>3 Показатели развития, показатели качества и недостатки технического объекта</b> .....	<b>39</b>
3.1 Показатели развития технического объекта. Выбор критерия .....	39
3.2 Показатели качества .....	42
3.3 Недостатки технического объекта .....	46
Контрольные вопросы .....	52
<b>4 Законы развития техники. Прогнозирование создания новых объектов</b> .....	<b>53</b>
4.1 Сведения о некоторых законах строения и развития техники .....	53
4.1.1 Закон корреляции параметров однородного ряда технических объектов .....	53
4.1.2 Законы симметрии технических объектов .....	54
4.1.3 Закон гомологических рядов .....	55

4.1.4 Закон расширения множества потребностей (функций) .....	56
4.1.5 Закон прогрессивной эволюции техники .....	57
4.1.6 Закон соответствия между функцией и структурой .....	63
4.1.7 Закон полноты частей системы .....	64
4.1.8 Закон «энергетической проводимости» системы .....	64
4.1.9 Закон согласования ритмики частей системы .....	65
4.1.10 Закон увеличения степени идеальности системы .....	65
4.1.11 Закон неравномерности развития частей системы .....	66
4.1.12 Закон перехода в надсистему .....	66
4.1.13 Закон перехода с макроуровня на микроуровень .....	66
4.1.14 Закон увеличения степени управляемости .....	67
4.2 Прогнозирование создания новых объектов .....	68
4.2.1 Технологические уклады .....	68
4.2.2 Тенденции технического развития .....	68
4.2.3 Методы прогнозирования .....	70
4.3 Жизненный цикл технического объекта .....	78
Контрольные вопросы .....	80
<b>5 Основы теории проектирования</b> .....	<b>81</b>
5.1 Методология проектирования .....	81
5.1.1 Определение и виды потребностей, постановка задачи .....	81
5.1.2 Этапы проектирования .....	84
5.2 Современные методы оптимального проектирования на основе САПР .....	90
5.3 Этапы творческого процесса. Препятствия к творчеству .....	95
5.4 Традиционные методы проектирования .....	98
5.4.1 Метод проб и ошибок .....	99
5.4.2 Метод адаптивного поиска .....	100
5.4.3 Метод случайного поиска .....	100
Контрольные вопросы .....	101
<b>6 Основные методы технического творчества</b> .....	<b>102</b>
6.1 Классификация типовых технических задач .....	102
6.2. Мышление прорыва в инженерном творчестве .....	103
6.3 Задача улучшения известного технического объекта .....	107
6.4 Методы мозговой атаки .....	113
6.5 Синектика .....	122

6.6 Контрольные перечни . . . . .	123
6.7 Функционально-стоимостный анализ . . . . .	129
Контрольные вопросы . . . . .	141
<b>7 Эвристические методы технического творчества . . . . .</b>	<b>143</b>
7.1 Метод эвристических приемов . . . . .	143
7.2 Фундаментальный метод проектирования Мэтчетта . . . . .	167
Контрольные вопросы . . . . .	173
<b>8 Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) . . . . .</b>	<b>174</b>
8.1 История создания и развития ТРИЗ . . . . .	174
8.2 Основные понятия и определения. Уровни сложности задач . . . . .	175
8.3 Современные версии ТРИЗ . . . . .	182
8.4 Каталог и матрица приемов . . . . .	188
8.5 Недостатки ТРИЗ . . . . .	202
Контрольные вопросы . . . . .	203
<b>9 Выбор стратегии и методов проектирования, тенденции научно-технического развития . . . . .</b>	<b>204</b>
9.1 Нетрадиционные методы проектирования . . . . .	204
9.2 Возможности развития и границы методологии проектирования . . . . .	212
9.3 Накопление и свертывание данных . . . . .	214
9.4 Выбор стратегии и методов проектирования . . . . .	221
9.5 Основы инновационной деятельности и тенденции научно-технического развития . . . . .	229
Контрольные вопросы . . . . .	234
<b>Краткий словарь терминов . . . . .</b>	<b>235</b>
<b>Литература . . . . .</b>	<b>240</b>

## СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ЕСКД — единая система конструкторской документации
ИТР — идеальное техническое решение
МА — мозговая атака
ОКР — опытно-конструкторская работа
ОО — опытный образец
ОП — объект проектирования
ПД — принцип действия
РП — рабочий проект
САПР — система автоматизированного проектирования
СТО — станция технического обслуживания
СОЖ — смазочно-охлаждающие жидкости
СВЧ — сверхвысокие частоты
ТЗ — техническое задание
ТО — технический объект
ТП — техническое предложение
ТР — техническое решение
ТРИЗ — теория решения изобретательских задач
ТС — техническая система
ТФ — техническая функция
ФПД — физический принцип действия
ФС — функциональная структура
ФСА — функционально-стоимостный анализ
ФТЭ — физико-технический эффект
ФЭ — физический эффект
ЭП — эскизный проект

Становится великим не тот, кто много размышляет, а тот, кто принимает решение.

**Восточная мудрость**

## **1 ПРЕДИСЛОВИЕ**

### **1.1 ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АГРОИНЖЕНЕРА**

Профессиональная деятельность агроинженера обусловлена уровнем технического обеспечения сельскохозяйственного производства, требующего определенной системы знаний, умений, навыков и мышления.

ЮНЕСКО предлагает называть инженером такого работника, который умеет творчески использовать накопленные знания, проектировать и строить предприятия, машины и оборудование, разрабатывать производственные технологии, используя различные инструменты, конструировать эти инструменты, пользоваться ими, хорошо зная принципы их действия и предугадывая их поведение в определенных условиях [1].

Работа агроинженера является одной из сложнейших в производственной деятельности человека, с высоким уровнем личной ответственности и необходимостью принятия важных решений в условиях нередко крайне ограниченного ресурса времени и материальных возможностей. Это вызвано особенностями сельскохозяйственного производства, когда в период посевных и уборочных работ происходит мобилизация всех трудовых и материальных ресурсов сельхозпредприятия, обусловленная необходимостью выполнения технологических операций в сжатые агротехнические сроки, нарушение которых ведет к значительным потерям сельскохозяйственной продукции.

Непостоянство погодных условий, разнообразие почвенного фона, значительное количество одновременно используемых машин и технологических комплексов, включающее зарубежные образцы, ограниченность числа и взаимозаменяемости инженерных кадров требует от агроинженера не только широких универсальных знаний, гибкости мышления и быстроты принятия творческих инженерных решений, но и решительных волевых действий по быстрейшему воплощению их в жизнь.

В период подготовки к предстоящему сезону работ агроинженер не только несет ответственность за своевременное техническое обслуживание, ремонт, постановку на хранение сельскохозяйственной техники, но и участвует в принятии ответственных решений по приобретению новой техники, средств ее технического обслуживания и ремонта. При формировании парка машин должны учитываться особенности агрофона, контурности и рельефа полей, климатические условия и другие факторы применительно к конкретному сельхозпредприятию. Особое внимание уделяется изучению научно-технической информации, документации и опыта использования и сервисного сопровождения предлагаемой для закупки техники в условиях, близких к имеющимся на данном сельхозпредприятии.

Большие возможности современной сельскохозяйственной техники могут быть реализованы только при надлежащей организации ее использования, в первую очередь ее обслуживания и ремонта. Продукцией, возобновляемой системой обслуживания и ремонта, является время — время работоспособности машин. Может показаться странным, что результат деятельности людей выражен в виде такого эфемерного продукта, как время. Но это так. Время является экономической категорией не менее важной, чем показатели объема или качества продукции.

По словам известного ученого-металлурга члена-корреспондента АН СССР В.Е. Грум-Гржимайло, «инженерная карьера потому и заманчива, что люди со средними способностями могут творить, т.е. могут испытывать счастье, доступное только сверходаренным людям: поэтам, музыкантам, художникам и ученым» [2]. Опытный и знающий инженер по имеющейся технической документации может быстро определить слабые места в конструкции машины, прогнозировать возможные отказы в процессе использования в конкретных условиях, наметить пути и методы устранения этих отказов, в том числе способы модернизации конструкций рабочих органов, подвергающихся наиболее интенсивному воздействию сельскохозяйственных сред. Поэтому на каждом сельхозпредприятии особенно ценятся местные кулибины, способные быстро найти выход из сложной технической ситуации путем принятия нередко неординарного, но наиболее эффективного решения.

Основными критериями оценки качества профессиональной подготовки агроинженера в настоящее время являются: объем знаний, степень развития технического мышления, творческих способностей, инженерных умений и психологической структуры личности,

необходимых в сфере деятельности технического обеспечения агропромышленного комплекса как системы.

Имеющийся в других областях техники опыт позволяет предположить, что современный агроинженер может значительно ускорить срок своей адаптации в новых производственных условиях за счет освоения современных методов инженерного творчества.

## 1.2 ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРЫ ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ

Новые знания, технические решения и изобретения приходят в мир через отдельно взятого человека, являются продуктом его творческой деятельности. Инженеры, которые достигли высот в познании и преобразовании техносферы, остаются в памяти потомков. Им посвящают творческие произведения, такие как роман Александра Бека «Талант» — о выдающемся изобретателе и ученом, создателе поршневых, турбовинтовых и ракетных двигателей академике А.А. Микулине. Нобелевский лауреат писатель Уильям Фолкнер в своем произведении «Безумство пахаря» описал личный фермерский пионерский опыт прямого посева, нашедшего в дальнейшем широкое применение в сельскохозяйственном производстве.

История человечества зависит от успехов отдельных стран в той или иной технической области.

В древние времена изобретение нового орудия для возделывания почвы обеспечивало лидирующее положение племенам и целым народам в течение нескольких столетий [3]. Принесшее множество бедствий славянским народам нашествие шведов помимо наличия на территории этой страны богатейшего в мире по содержанию железа месторождения было обусловлено также тем, что шведам удалось решить проблему передачи на десятки километров механической энергии от горных рек к этим месторождениям для добычи руды. Открытие Австралии, Индонезии и других земель голландцами было осуществлено в результате того, что им удалось приспособить ветряные мельницы для распила досок так, как это делается на современной пилораме. В результате голландцы получили возможность строить в десятки раз больше кораблей, чем соседние с ними страны. Современный мир тоже характеризуется острейшей конкурентной борьбой в глобальной гонке за производительностью и выживанием [4].

Наиболее важными проблемами в подготовке инженера являются умение самостоятельно ставить новые задачи; поиск новых конструкторско-технологических решений на уровне изобретений, ноу-хау, обеспечивающих повышение качества продукции, достижение мирового уровня, всестороннюю интенсификацию производства и экономию всех видов ресурсов.

Процесс формирования инновационных инженерных знаний и умений должен быть подчинен развитию навыков самостоятельного инженерного творчества, развитию творческого потенциала и системного анализа технико-экономических проблем. Это положение хорошо характеризуется словами английского философа К.Р. Поппера: «Практика — не враг теоретического знания, а наиболее значимый стимул к нему» [5].

Основная задача инженера состоит в том, чтобы, используя различные знания, достичь определенной практической цели: разработать прибор, машину или технологию и организовать их производство.

Научное знание вовлечено в процесс создания технического объекта, поэтому важна роль понятийно-логического уровня инженерного мышления.

Не менее важно для инженера представить мысленно в идеале будущее творение. Ведущей слабо формализуемой процедурой инженерного мышления является переход от научно-логической системы к системе принципиального иного порядка, где эстетический образно-чувствительный компонент, обладающий качеством интуитивной очевидности, целостности и завершенности, становится мощным интеллектуальным и эмоциональным стимулом и подкреплением в творчестве.

Отсюда вывод: доминанта инженерного мышления базируется на парадигме понятийно-логического и образно-чувственного уровней в процессе диалектического взаимодействия, что составляет методологию и специфику этого типа мышления [1].

Вероятностный, приближенный характер образного мышления делает его незаменимым для оптимизации инженерного мышления, особенно на стадии поиска концептуальной идеи или обобщающей гипотезы.

В этих условиях инженерное мышление выступает как специфическая духовная, умственная деятельность по отражению определенной стороны социальной деятельности, связанной с техникой и техническими знаниями по конструированию, проектированию и созданию человеко-машинных производственных систем. Результатом инженерной деятельности является инженерное решение в форме проекта, чертежа, стандарта, нормы, распоряжения, приказа, поручения и т.д.

Объем и характер знаний, используемых инженером, обуславливает эвристическую и методическую культуру инженерного мышления, предъявляемые к нему требования.

Вторжение кибернетики, информатики в сферу инженерной деятельности, обострение глобальных экологических, демографических проблем, продовольственной безопасности, предотвращения мирных техногенных катаклизмов и катастроф обусловило необходимость развития системного мышления инженера. Перечисленные факторы инженерного мышления требуют развития способности к самоорганизации, самовоспитания, внутренней потребности в постоянном самосовершенствовании — как необходимых элементов современной культуры инженерного мышления. Эта культура выступает инициатором в создании и внедрении инноваций и прогнозировании их социально-экономических последствий.

Старые темпы производства и репродуктивного (подражательного) образования обеспечивали постепенное изменение и развитие технической (предметной) сферы, так что инженер успевал приспособляться к новой ситуации. Современный технологический динамизм требует кардинальных изменений в трудовой деятельности, нового качества инженерного мышления и инновационного знания для целесообразного преобразования окружающей производственной сферы.

Инженерное творческое мышление — это резерв современного научно-технического прогресса, который является неременным условием в инженерной деятельности.

Творчески работающий инженер, совершенствующий технику и технологию и связанные с ней производственные отношения, одновременно совершенствует свои способности, обогащается знаниями, оттачивает и систематизирует методы мышления, на опыте разрабатывает и уточняет собственную шкалу ценностей в своей работе.

Основные принципы инженерного мышления:

- практичность;
- всесторонность (системность);
- оптимальность принятия решений, которые учитывают объективные общественные потребности, соответствующие социальным, технико-технологическим, экономическим требованиям.

### 1.3 ТВОРЧЕСКИЕ УРОВНИ ИНЖЕНЕРНОГО ТРУДА

Основные виды технического творчества, высших форм инженерной деятельности:

1) рационализаторское предложение — предмет использования уже известных методов и устройств на своем предприятии впервые:

рацпредложение = (новизна на предприятии) + (полезность);

2) изобретение — решение специальной проблемы в технической области, имеющее мировую новизну и полезность:

изобретение = (мировая новизна) + (полезность);

3) открытие — вскрытая объективная закономерность, вносящая коренные изменения в уровень познания.

Два первых уровня — плод инженерного труда, а третий — научное познание окружающей нас действительности, как правило, с элементами инженерного творческого труда.

Рацпредложение и изобретение — искусственные системы, а открытие — познание объективно независимого явления окружающего мира в результате научной деятельности. В этом его отличие от первых двух видов творчества.

Творческая деятельность людей, известных своими выдающимися достижениями, исследуется и обобщается. Результаты таких исследований свидетельствуют о том, что протекание процесса мышления в творческой деятельности различного типа имеет много общего.

Знание закономерностей формирования и организации творческого мышления полезно для любого человека, тем более для инженера. «Инженер» в переводе с французского языка означает «изобретатель».

Достаточно перечислить основные работы русского инженера-механика Шухова, чтобы понять, что для этого нужны поистине фантастическая работоспособность и знания. Он спроектировал около 500 мостов, и все они были построены. А еще были паровые котлы, нефтеперегонные установки, трубопроводы, баржи, домны, элеваторы, ангары, краны, маяки, радиобашни и многое другое. В порту города Портсмута и сейчас находится в рабочем состоянии первый в мире паровой кран грузоподъемностью 35 т, созданный в 1850 году для погрузки на суда экспортируемых паровозов. Более полувека успешно эксплуатируются самолеты В-52, ТУ-95, а также некоторые образцы сельскохозяйственной техники в фермерских хозяйствах.

Эдисон получил более 1000 патентов на свои изобретения, в том числе 25 — в России. Однако на создание и внедрение каждого изобретения его фирме требовалось в среднем 7 лет.

В области сельскохозяйственного производства в нашей республике крупные изобретения на счету академиков С.И. Назарова, И.С. Нагорского, профессоров З.В. Ловкиса, В.И. Передни,

В.Н. Кондратьева, В.П. Сулова и др. Созданные ими школы, их сподвижники и ученики продолжают развивать научно-технический прогресс в области сельскохозяйственного производства.

Многие считают мышление процессом настолько естественным, что оно не требует анализа и контроля. Творческий опыт многих людей и ученых показывает, что это не так.

#### **1.4 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ. ВЫБОР ПРИОРИТЕТОВ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА**

В настоящее время разработано более 50, а с учетом частных методик — несколько сотен методов поиска решений технических задач. Они ориентированы на развитие как логического мышления, так и интуиции, необходимых инженеру при создании новых технических разработок и в решении других творческих задач.

Познавательные способности каждого человека не безграничны. В те или иные моменты времени мы можем наблюдать и анализировать отдельные фрагменты окружающей действительности, а во многих случаях только воспроизводим и повторяем, другими словами, пользуемся так называемым «репродуктивным мышлением». Наподобие студента, заучившего курс лекций перед экзаменом.

В существующей учебной литературе по основам инженерного творчества с той или иной степенью полноты излагаются основные методы решения инженерных задач, приводятся практические примеры их использования, но, как правило, не высказывается своего предпочтения в пользу тех или иных методик [1, 2, 6, 7, 8]. Такое изучение курса напоминает посещение выставки или музея: впечатлений масса, а остановить свой выбор и практически освоить что-либо не удается. И это не вина авторов, ведь в отведенных объемах учебных часов они добросовестно сделали все возможное. Следуя предлагаемым ссылкам на дополнительную литературу, студент может установить, что, например, только для ознакомления с принципами теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) необходимо 40 часов занятий, а для освоения ее рабочих инструментов — в три раза больше [9].

Большая часть существующей литературы по разработке новой техники ориентирована на узкие предметные области. К такого рода литературе можно отнести пособия по проектированию металлообрабатывающего оборудования [10], космических аппаратов [11], литейных комплексов [12], обувных машин [13] и др.

Впервые задача более высокого уровня была решена учеными Пермского технического университета [6], которые рассмотрели методологию и технологию проектирования указанных технических объектов на основе теории проектирования технических систем с учетом многочисленных отечественных и зарубежных публикаций.

Исходя из имеющегося опыта решения различного рода творческих инженерных задач, для использования в процессе обучения студентов нами предлагается метод эвристических приемов на основе анализа созданных авторами и их коллегами многочисленных изобретений и патентов. После освоения методики эвристических приемов на их основе предлагается освоение современных методик теории решения изобретательских задач [13].

##### **Цели и задачи курса:**

- 1) формирование основ знаний и методологии инженерного творчества в производственной деятельности агроинженера;
- 2) изучение принципов, методов, правил и приемов активизации инженерного творчества.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать теорию и методологию инженерного творчества, эффективные способы решения творческих инженерных задач;
- уметь выбирать стратегию и тактику решения инженерных задач, применять необходимые методы решения творческих задач;
- иметь представление о законах развития и создания технических систем, интеллектуальной собственности, инновационной инженерной деятельности.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Раскройте сущность дисциплины «Основы инженерного творчества».
- 2 Что такое рационализаторское предложение?
- 3 Что такое изобретение?
- 4 Что такое открытие?
- 5 Назовите основные принципы инженерного мышления.
- 6 Каковы особенности структуры инженерного мышления?
- 7 В чем заключается основная задача инженера?
- 8 Раскройте сферу деятельности и профессиональные функции агроинженера.

## 2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. ИЕРАРХИЯ ОПИСАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В основе любой сформировавшийся учебной дисциплины лежит комплекс четко определенных понятий. Они, как правило, связаны с понятиями фундаментальных наук и между собой. Правильные выбор и определение понятий способствуют лучшему восприятию и усвоению материала по конкретной дисциплине. Введение ошибочных понятий, напротив, затормаживает развитие науки и прикладной дисциплины или влечет возникновение ложных построений, которые впоследствии отбрасываются.

В настоящей главе даются определения исходных понятий в рамках обобщенных методов проектирования изделий машиностроения. Система таких понятий позволит рассуждать о разных технических объектах и достаточно четко сопоставлять их свойства. При формировании основных понятий руководствуются следующими принципами:

- каждое понятие должно иметь отношение ко всем (или почти ко всем) известным техническим объектам и методам проектирования — в этом заключается его инвариантность;
- понятия должны описывать основные свойства объектов, с которыми приходится иметь дело при их проектировании, конструировании и изучении;
- понятия должны определять по возможности измеримые, имеющие количественную характеристику свойства объектов;
- вводимые понятия должны в наибольшей мере использовать и учитывать сложившуюся в технических науках терминологию; число основных понятий должно быть минимальным.

### 2.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ОБЪЕКТУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Техническим объектом (ТО)* называют созданное человеком или автоматом реально существующее (существовавшее) устройство, предназначенное для удовлетворения определенной потребности.

В свою очередь, устройство — это техническое сооружение, механизм, машина, прибор.

Понятие «техническое устройство» очень широкое. Оно подразумевает самые разнообразные предметы — от простых приспособлений, небольших узлов до сложнейших и огромнейших машин,

приборов, аппаратов, автомобилей, подъемников и транспортных средств, сооружений и, наконец, целых промышленных установок.

К техническим объектам относят отдельные машины, оборудование, аппараты, приборы, ручные орудия труда, одежду, здания, сооружения и подобные устройства, выполняющие определенную функцию (операцию) по преобразованию объектов живой и неживой природы, энергии или информационных сигналов. Техническим объектом также является 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.

*Механизм* — это система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других объектов.

*Машина* — это сочетание механизмов или устройств, осуществляющих определенные целесообразные движения для преобразования энергии, материалов или информации либо для производства полезной работы.

Различают машины:

- энергетические, преобразующие любой вид энергии в механическую, и наоборот;
- рабочие, в том числе технологические, преобразующие форму, свойства, положение материала (обрабатываемого предмета);
- транспортные, преобразующие положение материала (перемещаемого предмета);
- информационные (шифровальные машины, арифмометры, механические интеграторы, компьютеры и др.).

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

*Техническая система (ТС)* — это объективное единство машин, осуществляющих весь технологический цикл производства одного или нескольких продуктов, с возможностью их усовершенствования и самостоятельного функционирования.

Понятие «техническая система», как и понятие «технический объект», не всегда может выступать синонимом понятия «оборудование». Например, к сложной технической системе относится такой вид общественного транспорта, как трамвай. В эту ТС кроме подвижного состава (трамваев) входят пути, токопроводящая подвеска, опоры подвески, депо, ремонтная и обслуживающая база, система

управления движением, водительский состав и т.д. С другой стороны, техническая система включает в себя по определению любое оборудование.

С учетом изложенного термин «техническая система» в зависимости от контекста будет означать либо действительно техническую систему в самом широком понимании, либо более конкретно — оборудование.

Под **объектами новой техники** принято подразумевать машины, механизмы и оборудование, создаваемые впервые или взамен существующих, с новым принципом действия, превосходящие прежние по технико-экономическим показателям. К ним относятся не только такие сложные объекты машиностроения, как обрабатывающее оборудование, атомный реактор, но и простейшие, по сути, состоящие из одной детали — шпильки, штифты и др., которые самостоятельно не могут осуществлять производственный (технологический) процесс [6].

Следует также отметить, что проектирование оборудования невозможно без одновременной разработки реализуемого на нем технологического процесса, или технологии.

**Технология** — это способ, метод или программа преобразования вещества, энергии или информации из заданного начального состояния с помощью определенного оборудования. Можно сказать, что технология — это способ применения определенных технических объектов.

Попробуем выяснить, что объединяет все многообразие видов, классов, назначения, характеристик, конструкций, внешнего вида оборудования.

## 2.2 ОБЩИЕ СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Оборудование как материальный объект независимо от конкретного предназначения реализует функции преобразования вещества, энергии или информации из заданного начального состояния в требуемое. При этом изменяются форма, структура, содержание элементов, следовательно, и вся система в целом. Это самое главное, что объединяет все типы оборудования.

Организация потоков энергии, информации и вещества в заданном пространстве технического объекта осуществляется в последовательности, определяемой процессом передачи преобразуемых потоков от их источников к потребителям. Состав первичных источ-

ников энергии, информации и вещества, их параметры и пространственное положение зависят, как правило, от внешних по отношению к объекту условий (например, расположения и параметров источников сырья, местоположения и параметров внешних источников энергии, возможного относительного положения и параметров наблюдаемых внешних объектов как источников информации и т.д.). Соответственно, состав, параметры и пространственное положение получаемого в системе конечного продукта (вещества, энергии, информации) определяются целевым назначением и содержанием поставленной перед создаваемым оборудованием функциональной задачи.

Все промежуточные преобразования вещества, энергии и информации в техническом объекте диктуются принятыми условиями оптимальности процесса получения конечного продукта и выбором целесообразного вида передаваемого промежуточного продукта. Многообразие этих промежуточных преобразований определяется разновидностями вещества, энергии и информации, а также возможными способами технической реализации (воздействий) физических и химических процессов их преобразования. Например, способы передачи информации могут быть механическими (с помощью кинематических схем, контактов) или энергетическими (магнитным полем, световым лучом и т.д.).

Отдельно выделим взаимосвязи технической системы с операторами, управляющими оборудованием. Воздействия этой группы могут быть представлены в виде примерной схемы, изображенной на рисунке 2.1.

Индикаторы, чувствительные элементы, датчики и органы управления рассматриваются как промежуточные звенья между человеком и устройством.

Конструктивно эти звенья могут быть либо разделены, либо слиты с устройством. Взаимосвязи между оператором и машиной — объект специального изучения. Это одно из новых важных направлений — так называемая инженерная психология, рассматривающая комплекс проблем, связанных с приспособлением индикаторов и органов управления к органам чувств и двигательному аппарату человека.

При всем многообразии областей применения оборудования можно выделить основное его отличие от остальных предметов, созданных человеком. Это отличие состоит в том, что функционирование оборудования (одна или несколько функций преобразования) или реализуемая технология определяются одним из глаголов

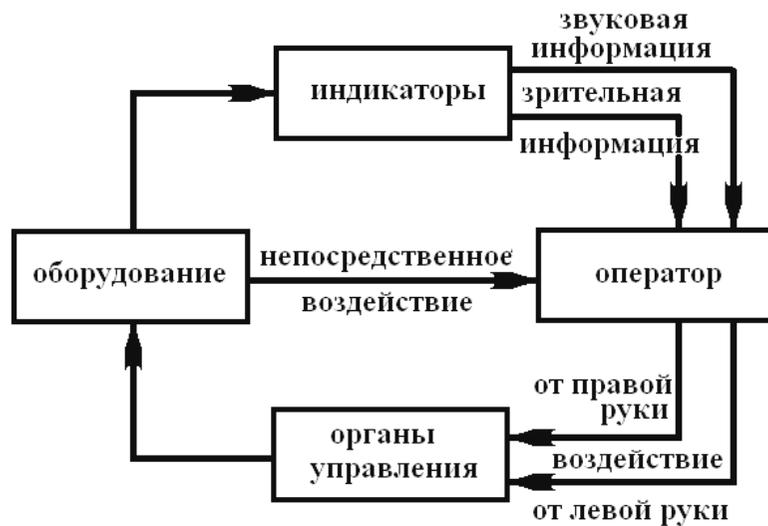


Рисунок 2.1 — Схема взаимодействия оборудования и оператора

действия: разрезать, сварить, нагреть, расплавить, охладить, распылить, разделить, растворить, очистить, отфильтровать, осветить, закрепить, сориентировать, удалить, перенести, штабелировать, смешать, размолоть, спечь, наполнить, слить, зафиксировать и т.д.

Второе универсальное свойство любого оборудования заключается в том, что оно находится в определенном взаимодействии с окружающей средой. Под внешним окружением понимается материальная среда, которая, находясь вне оборудования, оказывает на него какие-либо воздействия или испытывает их со стороны оборудования. В качестве окружающей среды могут выступать объекты живой и неживой природы и другие объекты, которые находятся в функциональном или вынужденном взаимодействии с рассматриваемым оборудованием и оказывают заметное влияние на его проектно-конструкторское решение.

Любое оборудование в силу объективных причин не может быть ни аморфным образованием, ни хаотичным набором разнородных элементов, а представляет собой строго организованное материальное образование, состоящее из ряда функциональных элементов (агрегатов, блоков, узлов). К ним относятся: корпус, приводы, узлы подачи, рабочий орган, система и пульт управления и т.д. Функциональные элементы объединены между собой в пространстве строго

упорядоченным и взаимообусловленным образом. Отсюда следует, что оборудование независимо от области применения, габаритов, содержания выполняемых функций, способов их реализации, степени автоматизации и т.д. обладает *функциональной структурой (ФС)*.

Под *структурой* понимают совокупность функциональных составляющих и их отношений, необходимых для достижения техническим объектом заданных целей. Можно считать, что структура — это способ организации целого из составных частей. В объекте отражается одна из структур, которая отвечает поставленной цели. Например, ходовая часть транспортной машины может быть выполнена по колесной и гусеничной схеме с обеспечением требуемой скорости движения в определенных дорожных условиях.

Силовая передача гусеничной машины состоит из трех подсистем: двигателя, коробки передач и бортовой передачи. Подсистема *A* в этом примере представляет собой двигатель, передающий первичному валу коробки передач крутящий момент определенной величины. Подсистема *B* — это коробка передач, которая трансформирует получаемый от двигателя крутящий момент и с помощью промежуточных звеньев силовой передачи передает его ведущему элементу бортовой передачи. Подсистема *C* — бортовая передача, которая трансформирует крутящий момент, получаемый от коробки передач, и передает его ведомому элементу бортовой передачи, который, в свою очередь, соединен с ведущим колесом. Этот же объект можно рассматривать совместно с подсистемой главной передачи и другими частями силовой передачи (сцепление и др.). В общем случае структура системы может включать различное число подсистем, каждая из которых имеет разное число элементов. Взаимосвязи могут иметь место между отдельными элементами внутри подсистем и между элементами разных подсистем.

Примером подсистемы, состоящей из шести элементов, может быть силовая передача автомобиля: двигатель, сцепление, коробка передач, карданная передача, главная передача и ведущее колесо. Вторая подсистема, состоящая из пяти элементов, может представлять собой тормозное устройство, в котором элементами являются тормозной рычаг, главный тормозной цилиндр, трубопроводы, тормозные рабочие цилиндры и тормозные колодки. Взаимосвязь между этими элементами представляет физическое взаимодействие сопрягаемых поверхностей, определяющих эффективность торможения при определенном давлении тормозной жидкости.

### 2.3 КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

В зависимости от вида и назначения, частей, целевых функций и состояния оборудование подразделяется на классы и подклассы.

Единая классификация оборудования невозможна, поскольку определены пока еще не все классификационные признаки. Рассмотрим известные.

Техническое оборудование может быть классифицировано:

- по функции (рабочему действию) — системы фиксации, придания формы, вращения, подъема;
- по типу операнда — системы преобразования материи, энергии, информации, биологических объектов;
- по принципу осуществления рабочего действия — основанное на механическом, гидравлическом, пневматическом, электронном, химическом, оптическом, акустическом принципах;
- по характеру функционирования — мощностное, скоростное, импульсное;
- по назначению — производящее, управляющее, обслуживающее, обеспечивающее;
- по степени сложности — машины, комплексы, технические системы в целом;
- по способу упорядочения более низких уровней систем — по действиям, технологии изготовления;
- по степени оригинальности — доработанное, модифицированное, оригинальное;
- по типу производства — для применения в условиях единичного, опытного, серийного или массового производства.

С точки зрения характера функций различают специализированное, многофункциональное и универсальное оборудование. Для специализированного оборудования свойственны единственность назначения элементов и узкая профессиональная специализация обслуживающего персонала. Примером является нестандартное оборудование.

Универсальные системы реализуют множество функций на одной и той же структуре. При этом функции по виду и количеству не определены в полной мере. Примером может быть быстро перестраиваемая автоматическая линия станков.

### 2.4 ОЦЕНКА РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Установлено, что техническая система в целом качественно отличается от составляющих ее компонентов, подсистем и не может рассматриваться как простая сумма входящих в нее элементов. Поэтому понимание системы, ее особенностей, путей развития, функционирования возможно только при рассмотрении ее как целостного образования.

Сложные технические системы, к которым относится и большая часть нестандартного оборудования, обладают только им присущим набором особенностей. Они проявляются в период жизнедеятельности системы в зависимости от конкретных условий эксплуатации и поведения отдельных элементов [14].

Проявление особенностей, или свойств, в сложной системе осуществляется за счет расхода имеющихся у нее ресурсов (энтропии, энергозапаса, энтальпии, возможностей, внутренней энергии и т.д.). Все многообразие этих свойств поддается классификации с трудом. Выделяют следующие классификационные признаки свойств: способ их установления; причинная связь; функциональная зависимость; значимость; физическая сущность и степень полезности.

Примерами свойств реальной сложной системы могут быть вместимость, герметичность, деформативность, нагруженность, образование теплоты, прочность, упругость, устойчивость, прочность при низких температурах. Свойства сложной системы считаются известными, если они установлены разработчиками, исследователями, пользователями или кем-либо другим. На практике встречаются свойства, которые еще не выявлены, хотя в действительности существуют и оказывают влияние на поведение системы в процессе ее жизнедеятельности. Эти свойства нуждаются в изучении, поскольку с их выявлением намного глубже познается соответствующая сложная система. Используя эти знания, можно обеспечить более эффективное проектирование и более рациональную эксплуатацию сложных систем.

Проявление свойств не является мгновенным. Оно всегда происходит в течение определенного времени, причем интенсивность проявления зависит от степени воздействия внешней среды, а также длительности процесса функционирования.

Чтобы использовать свойства сложной системы при проектировании новых, их необходимо оценить. Такая оценка может быть собственной или практической.

Собственная оценка осуществляется субъектом на основе его наблюдений, а также имеющихся у него знаний о подобных системах. Такие оценки часто называют эмоциональными, или относительными. Практические оценки являются результатом исследования сложных систем. Они определяются при выполнении следующих действий: формулировки цели, ее реализации, сравнения затрат и полученного эффекта. Как правило, такие оценки являются объективными, т.е. не зависят от субъекта.

При анализе работы сложной системы стремятся получить практические оценки, хотя немаловажными являются и собственные.

Результат оценки свойств сложной системы отражается в значениях специально разработанных показателей [14]. Они могут характеризовать одно или одновременно несколько свойств. За единицу измерения можно принять, например, баллы. Определение значений осуществляется органами чувств, экспертными и статистическими методами с помощью специальных приборов и устройств. Структура показателей, параметры, критерии развития ТО будут подробно рассмотрены ниже.

## 2.5 ИЕРАРХИЯ ОПИСАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Каждый технический объект может быть представлен описаниями, имеющими иерархическую соподчиненность [15]. Во-первых, каждое последующее описание является более детальным и более полно характеризует технический объект по сравнению с предыдущим; во-вторых, каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Таковыми свойствами обладают следующие описания:

- потребность, или функция технического объекта;
- техническая функция (ТФ);
- функциональная структура (ФС);
- физический принцип действия (ФПД);
- техническое решение (ТР);
- проект;
- объект.

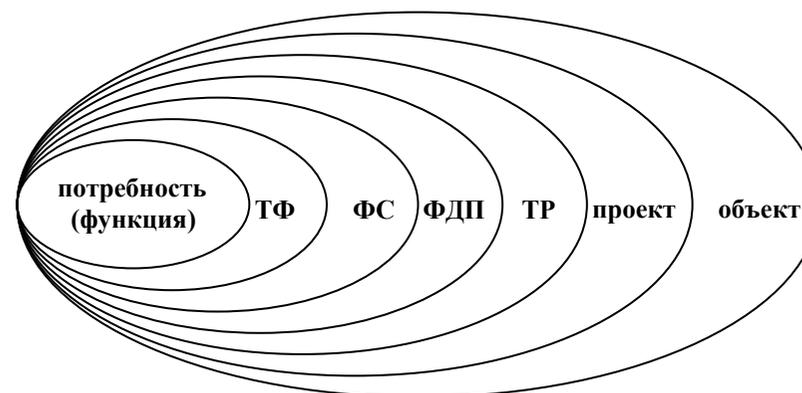


Рисунок 2.2 — Иерархия описания технического объекта

Иерархия описания ТО иллюстрируется рисунком 2.2. Далее рассмотрим понятия, входящие в иерархию описания ТО.

### 2.5.1 Потребность

*Потребность* — это общепринятое и краткое описание назначения технического объекта или цели его создания (существования). При описании потребности отвечают на вопрос, какой результат желательно получить и каким особым условиям и ограничениям он должен удовлетворять.

Если рассматривать более детально описание потребности, то оно должно включать следующую информацию: необходимое действие (наименование действия); объект (предмет обработки), на который направлено это действие; особые условия и ограничения.

Описание потребности  $P$  условно можно представить в виде трех компонентов:

$$P = (D, G, H), \quad (2.1)$$

где  $D$  — действие, производимое рассматриваемым ТО и приводящее к желаемому результату, т.е. к удовлетворению (реализации) интересующей потребности;

$G$  — объект, или предмет обработки, на который направлено действие  $D$ ;

$H$  — особые условия и ограничения, при которых выполняется действие  $D$ .

В таблице 2.1 приведены примеры покомпонентного описания потребности.

Таблица 2.1 — Примеры описания потребности

Наименование ТО	<i>D</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
Светильник	Освещение (освещает)	Помещение	Рабочее напряжение 220–240 В
Электроплитка	Нагревание (нагревает)	Ёмкость с жидкостью	—
Мельница	Размалывание (размалывает)	Зерно	—
Грузовой автомобиль	Перевозка (перевозит)	Грузы	По дороге
Путепровод	Обеспечение движения (обеспечивает движение)	Автомобили	Через препятствие
Термометр	Измерение (измеряет)	Среда (температура среды)	Диапазон температуры среды

Наряду с понятием потребности при проектировании также широко используется понятие **функции ТО**. Описания потребности и функции ТО совпадают.

Различие между понятием потребности и функции состоит в том, что понятие потребности всегда связано с человеком (коллективом людей) или автоматом, поставившим задачу реализации потребности и выполняющим проектирование соответствующего технического объекта и его изготовление, а понятие функции всегда связано с объектом, реализующим ее. В связи с этим интересно отметить, что человек часто выступает в двух качествах: как субъект, формулирующий потребность, и как элемент технического объекта, реализующий эту потребность. Будем отличать эти понятия только тем, что в описании потребности действия используются отглагольное существительное, а функции — глагол (см. второй столбец в таблице 2.1).

## 2.5.2 Техническая функция. Физическая операция. Операции Коллера

Описание **технической функции (ТФ)** условно можно представить в виде двух компонентов:

$$F = (P, Q), \quad (2.2)$$

где *P* — удовлетворяемая потребность, описываемая по формуле (2.1); *Q* — физическая операция (физическое превращение, преобразование), с помощью которой реализуются потребности.

Описание **физической операции (ФО)** формально можно представить в виде трех компонентов:

$$Q = (A^T, E, C^T), \quad (2.3)$$

где *A<sup>T</sup>*, *C<sup>T</sup>* — соответственно входной или выходной поток (фактор) вещества, энергии или сигналов;

*E* — наименование операции Коллера по превращению *A<sup>T</sup>* в *C<sup>T</sup>* (характеристика операций Коллера).

Описание физической операции отвечает на вопросы, что (*A<sup>T</sup>*), как (*E*) и во что (*C<sup>T</sup>*) преобразуется с помощью описываемого ТО. Число входов *A<sup>T</sup>*, действий *E* и выходов *C<sup>T</sup>* в общем случае произвольное.

Иначе говоря, под **физической операцией** подразумевается физическое преобразование заданного входного потока (фактора) в выходной поток (фактор).

В таблице 2.2 приведены примеры описания физических операций для технических объектов, указанных в таблице 2.1.

Р. Коллер [2] предложил 12 основных и две дополнительные пары операций *E*, которые должны, по его мнению, описывать физические операции любого технического объекта или его элемента независимо от физических принципов действия: излучение — поглощение, проводимость — изолирование, сбор — рассеяние, проведение — непроведение, преобразование — обратное преобразование, увеличение — уменьшение, изменение направления — изменение направления, выравнивание — колебание, связь — прерывание, соединение — разъединение, объединение — разделение, накопление — выдача, отображение — обратное отображение, фиксирование — расфиксирование.

Таблица 2.2 — Примеры описания физических операций

Наименование ТО	$A'$	$E$	$C'$
Светильник	Электрический ток	Преобразование	Световой поток
Электроплитка	Электрический ток	Преобразование	Теплота
Мельница	Зерно, механическая энергия	Соединение	Мука
Грузовой автомобиль	Топливо	Преобразование	Движение груза
Путепровод	Масса транспорта (воспринимает проезжая часть)	Передача	Масса транспорта (воспринимают опоры моста)
Электрический термометр	Температура среды	Преобразование и сравнение	Электрический ток

Рассмотрим по порядку содержание этих операций.

**1 Излучение — поглощение.** Излучение соотносится 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.

**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: воздух, электролит 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» осуществляют, например, параболическая антенна, фокусирующая линза, патрубок, через который вытекает жидкость из бассейна.

Операция «рассеяние» предназначена для того, чтобы имеющийся сконцентрированный или упорядоченный поток рассеять, распространить по всем направлениям или направить более широким фронтом. Рассеяние осуществляют антенна радиопередатчика, наконечник душа, рассеивающая линза и т.п.

Отметим различия между операциями «сбор — рассеяние» и «излучение — поглощение». Последние соответствуют начальному и конечному участкам в потоке энергии, вещества или информации. До и после этих участков нет организованного потока. Операции «сбор» и «рассеяние» соответствуют промежуточным участкам потока; до и после этих участков 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.** Эти 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. Виды энергии: тепловая, кинетическая, потенциальная, звуковая, оптическая и др.

Под преобразованием вещества понимается качественное изменение вещества, добавление или исчезновение его определенных свойств (например, изменение 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.

**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.

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 обладают не одним, а несколькими свойствами.

**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» прерывает (останавливает) поток энергии, вещества или информации и 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, задвижка на трубопроводе и т.п.).

**10 Соединение — разъединение.** Основные операции «соединение — разъединение» 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.п.). Примеры реализации операции «соединение»: смесители механических компонентов, частот, электрических сигналов, карбюраторы и насосы, соединяющие энергию и вещество, и т.п. Примеры реализации операции «разъединение»: сепараторы, центрифуги, различные фильтры, спектроскопы, 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 либо, 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» и «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, фотопленки 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 технического объекта, включая закрепление его в определенной точке пространства и уменьшение числа степеней свободы движения до нуля. Операцию «фиксирование» осуществляют приспособления и объекты, которые прикрепляют одни элементы технического объекта или системы к другим, поддерживают составные части технического объекта на определенном расстоянии друг от друга, фиксируют данное 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 задается 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.

Проведенная ведущими специалистами в области проектирования, например А.И. Половинкиным, проверка полноты предложенного Р. Коллером списка операций  $E$  показала, что может встретиться технический объект, для которого более уместны будут другие операции  $E$ . Поэтому при затруднениях в выборе операции из списка Коллера можно давать свое, более подходящее наименование и обозначение. Примеры описания физических операций (ФО) с использованием операций Коллера приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 — Примеры описания физических операций

Наименование ТО	Физическая операция		
	Вход $A^T$	Операция $E$	Выход $C^T$
Рефлектор	Луч света	Рассеяние	Расходящийся пучок света
Зеркало	Луч света	Изменение направления	Луч света другого направления
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
Трансформатор (активная часть трансформатора)	Переменное электрическое напряжение	Увеличение — уменьшение	Переменное электрическое напряжение

### 2.5.3 Функциональная структура

Структура — упорядоченное множество элементов и их отношений. Подавляющее большинство технических объектов состоит из нескольких элементов (агрегатов, блоков, узлов), которые могут быть естественным образом разделены на части. Каждый элемент как самостоятельный объект выполняет определенную функцию и реализует физическую операцию. Между элементами существуют два вида связей и, соответственно, два вида их структурной организации.

**Функциональная структура (ФС)** представляет собой наиболее абстрактное описание технических объектов. Ее можно представить в виде ориентированного графа, вершины которого — наименования элементов технических объектов, а ребра — функции элементов и (или) потоки вещества, энергии и информации, передаваемые от одного элемента к другому. Исходя из этого, можно выделить три типа функциональных структур.

Первый тип — *конструктивная функциональная структура*, когда элементы имеют определенные функциональные связи друг с другом.

Эта структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименования элементов, а ребрами — функции элементов, описанные по формуле (2.1).

Второй тип — *потокотворная функциональная структура*, т.е. взаимосвязанный набор физических операций, реализующих один определенный поток преобразований вещества, энергии или сигналов либо несколько взаимосвязанных потоков. Потокотворная ФС представляет собой граф, вершинами которого являются наименования элементов ТО или операций Коллера  $E$ , а ребрами — входные  $A^T$  и выходные  $C^T$  потоки (факторы).

Различают две разновидности потокотворной ФС: конкретизированную потокотворную ФС, у которой в вершинах графа указаны наименования элементов; абстрагированную потокотворную ФС, в вершинах графа которой — наименования операций Коллера.

Абстрагированную потокотворную функциональную структуру называют также *структурой физических операций*.

К третьему типу относят совмещенные функциональные структуры, у которых ребра могут быть представлены и функциями (2.1), и потоками (2.2). Например, в прокатном стане на входе такого потока имеются заготовки сечением  $200 \times 200$  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 технических объектов и их физических операций.

В сложных технических объектах часто присутствуют несколько взаимосвязанных потоков.

#### 2.5.4 Физический принцип действия

*Физическим принципом действия (ФПД)* технической системы называется структура совместимых и объединенных физических эффектов (ФЭ), обеспечивающих преобразование заданного начального входного воздействия  $A$  в заданный конечный результат (выходной эффект)  $C$ . ФПД дает описание технических объектов на физическом уровне и указывает, с помощью каких физических эффектов и явлений реализуются функции и подфункции в ФС.

Принцип действия тоже представляет собой ориентированный граф, который строится на основе потокотворной ФС, где для операций Коллера указывают реализующие их ФЭ. Под ФПД будем понимать ориентированный граф, вершинами которого являются наименования физических объектов  $B$ , а ребрами — входные  $A$  и выходные  $C$  потоки.

Таким образом, во многих случаях ФПД легко построить с помощью потокотворной ФС путем замены наименований элементов или физических операций на наименования объектов  $B$ .

Описание ФПД, как правило, включает в себя принципиальную схему ТО, где в упрощенно-идеализированной форме показаны основные конструктивные элементы, обеспечивающие реализацию ФПД, а также направления потоков и основные физические величины, характеризующие используемые физико-технические эффекты. Принципиальная схема облегчает последующую разработку технического решения.

*Физико-технические эффекты (ФТЭ)*. Работа любого технического объекта основывается на одном или нескольких определенным образом взаимосвязанных физических и (или) химических эффектах (законах, явлениях), которые выделены и описаны в литературе по физике и химии. Принято для краткости все эффекты и явления, используемые в техническом объекте, называть физическими или физико-техническими эффектами (ФЭ или ФТЭ).

Существует несколько различных определений физико-технического эффекта. Приведем два наиболее характерных.

1. Под физико-техническим эффектом понимается результат воздействия одних физических объектов на другие, которое при заданных условиях взаимодействия приводит к вполне определенным изменениям значений обусловленных физических величин.

2. Под физико-техническими эффектами понимаются различные приложения физических законов, закономерностей и следствий из них, физические эффекты и явления, которые могут быть использованы в технических устройствах.

Как правило, в ФТЭ есть определенная причинно-следственная связь между «входом» и «выходом». ФТЭ должен иметь стандартное формализованное (с определенной структурой) описание, удобное для технических приложений и машинной обработки.

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

$$(A, B, C), \text{ или } (A \Rightarrow B \Rightarrow C). \quad (2.4)$$

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 компонентов  $A^T$ ,  $C^T$ , в формуле (2.4) можно указать носители потоков и их качественные и количественные характеристики.

Определение и описание ФЭ в большой мере зависят от характера решаемых задач, в которых предполагается использовать понятие ФЭ. Описание по формуле (2.4) называется качественным. В таблице 2.4 приведены примеры описания как широко известных, так и относительно недавно установленных ФЭ.

Таблица 2.4 — Примеры описания физико-технических эффектов

Наименование ФТЭ	$A$	$B$	$C$
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 теории проектирования наряду с понятием физического эффекта используется и понятие *элементарной физической операции (ФО)*, под которой понимаются только такие физические операции, которые могут быть реализованы с помощью одного физико-технического эффекта.

### 2.5.5 Техническое решение. Проект и объект

*Техническим решением (ТР)* называют конструктивное описание функциональной структуры технического объекта, включающее в себя информацию о функциональных элементах (блоки, узлы, де-

тали), способах соединения между элементами и последовательности их взаимодействия, особенностях конструктивного исполнения элементов по форме, материалу, соотношению важнейших параметров и т.п.

Техническое решение представляет собой как бы безразмерное описание технического объекта, которое может иметь самые различные реализации.

Поскольку каждый элемент технических объектов может быть тоже разделен на свои элементы и указанным образом описан, то ТР технического объекта может быть описано с любой степенью детализации. Для этого используют иерархический набор многоуровневых описаний ТР, т.е. сначала описывают ТР устройства в целом, затем — каждого блока, затем — каждого узла и т.д. В описание ТР, как правило, включают его графическое изображение. 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.

Описание технического решения должно содержать:

- 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, материалы и т.д.);
- принципиально важные соотношения параметров для технического объекта в целом или отдельных элементов.

Под *проектом* технического объекта понимается комплекс технической документации, на основании которого можно определить устройство этого объекта и все необходимые данные по разработке его конструкции, изготовлению, контролю, приемке, испытаниям, эксплуатации и ремонту.

К технической документации относятся:

- 1) теоретический чертеж — документ, определяющий геометрическую форму (обводы) изделия и координаты расположения составных частей;
- 2) габаритный чертеж — контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

- 3) чертеж общего вида определяет конструкцию изделия, взаимодействие его основных составных частей и поясняющий принцип работы изделия;
- 4) сборочный чертеж включает изображение изделия и сведения, необходимые для сборки (изготовления) и контроля. К сборочным чертежам также относят гидромонтажные, пневмомонтажные и электромонтажные чертежи;
- 5) монтажный чертеж — контурное (упрощенное) изображение изделия, а также сведения, необходимые для его установки;
- 6) схема — документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними;
- 7) чертежи деталей — документы, содержащие изображение деталей и сведения, необходимые для изготовлений и контроля;
- 8) спецификация — документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта;
- 9) ведомость ссылочных документов — перечень документов, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделия;
- 10) ведомость спецификаций — перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их числа;
- 11) ведомость покупных изделий — перечень покупных изделий, примененных в разрабатываемом изделии;
- 12) ведомость согласования применения изделия — документ, подтверждающий согласование с соответствующими организациями применения покупных изделий в разрабатываемом изделии, например ведомость согласования применения подшипников;
- 13) ведомость держателей-подлинников — перечень предприятий, на которых хранятся подлинники документов, разработанных для данного изделия;
- 14) ведомость технического предложения — перечень документов, вошедших в техническое предложение;
- 15) ведомость эскизного проекта — перечень документов, вошедших в эскизный проект;
- 16) ведомость технического проекта — перечень документов, вошедших в технический проект;
- 17) пояснительная записка — описание устройства и принципа действия разрабатываемого объекта, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений;
- 18) технические условия — документ, содержащий потребительские (эксплуатационные) показатели объекта и методы контроля его качества;

- 19) программа и методика испытаний — технические данные, подлежащие проверке при испытании объекта, а также порядок и методы их контроля;
- 20) расчеты — документы, включающие расчеты параметров и величин, например расчет размерных цепей, расчет на прочность и др.;
- 21) эксплуатационные документы, предназначенные для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте объекта;
- 22) ремонтные документы, содержащие данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях.

Таким образом, проект — это, по существу, совокупность графической и текстовой документации, позволяющей с высокой степенью достоверности судить о технической и экономической целесообразности или нецелесообразности воплощения разработанного технического объекта, под которым подразумевается материализованное воплощение разработанного проекта изделия.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Раскройте определения и приведите примеры таких понятий, как «машина», «изделие», «технический объект», «техническая система».
- 2 Раскройте определения и приведите примеры понятий: «техническое средство»; «техническое устройство»; «обслуживающая система», «объект новой техники».
- 3 Какими свойствами должна обладать любая техническая система?
- 4 Перечислите общие свойства объектов проектирования.
- 5 Раскройте возможные варианты классификации оборудования.
- 6 Как производится оценка работы сложной системы?
- 7 Какими описаниями может быть представлен технический объект?
- 8 В чем заключается потребность (функция) технического объекта?
- 9 Что такое техническая функция? Какую информацию содержит описание технической функции?
- 10 Раскройте характеристику и перечислите отличительные признаки 14 операций Коллера.
- 11 В чем сущность понятия «структура»?
- 12 Что такое функциональная структура технического объекта?
- 13 Что понимается под физико-техническими эффектами?
- 14 В чем сущность понятия «физический принцип действия»?
- 15 Что такое техническое решение?

### **3 ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

#### **3.1 ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА. ВЫБОР КРИТЕРИЯ**

Показатели развития являются важнейшими факторами, количественно выражающими предельную меру полезности принимаемых решений. Они одновременно выступают требованиями к оценке их качества, технических систем и объектов.

Развитие техники определяется следующей группой критериев:

- функциональные, характеризующие важнейшие показатели реализации функций ТО;
- технологические — связаны только с возможностью и простотой изготовления ТО;
- экономические — определяют экономическую целесообразность реализации функций с помощью рассматриваемого ТО;
- антропологические — связаны с вопросами безопасности, дизайна, санитарии и гигиены и эксплуатации ТО.

Условия и требования, которым должна соответствовать система критериев эффективности и развития техники:

- условия измеримости, которые допускают возможность количественной оценки по одной из шкал измерений: отношений, интервалов, порядка;
- условие сопоставимости должны иметь единицы измерения, которые позволяют сопоставлять ТО для различных времен и стран, лучше всего в безразмерных или удельных величинах;
- условие исключения отрицательных эффектов характеризует параметры, которые оказывают отрицательное влияние на развитие техники;
- условие постоянства исключения отрицательных эффектов, для которых всегда имеет место условие исключения;
- условие минимальности и независимости критериев, которые не могут быть логически выведены из других классов критериев или прямых следствий из них.

Умение выделить и описать объективную систему критериев дает возможность кардинально оценить существующую и создаваемую технику, открыть путь заимствования улучшенных технических решений из других областей техники. В качестве критериев

для оценки технических объектов могут использоваться экстремальные значения следующих показателей:

- функциональные критерии производственного ТО:
  - производительность (т/ч, л/ч, т·км/ч, кВт·А, кВт·ч и др.);
  - уровень механизации как отношение механической работы к сумме механической и ручной работы;
  - уровень автоматизации как отношение числа автоматически управляемых операций к сумме управляемых и операций управления, производимых человеком;
  - уровень непрерывности процессов обработки как отношение числа операций с использованием непрерывных процессов к сумме непрерывных и прерывистых процессов;
- функциональные показатели точности: измерения, попадания в цель, обработки материала, обработки потока энергии и потока информации;
- функциональные показатели надежности: безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность;
- технологические показатели:
  - трудоёмкость изготовления ТО, как затраты труда на единицу получаемой эффективности;
  - полезное использование материалов как отношение массы ТО к массе израсходованных материалов;
  - разделение ТО на элементы, обеспечивающие оптимальное упрощение технологии разработки, доводки изготовления, ремонта, замены и модернизации изделий, как основы стандартизации и унификации;
- экономические показатели ТО:
  - расход материалов и энергии как отношение ТО к главному показателю экономической эффективности (себестоимости и др.);
  - затраты на информационное обеспечение как отношение затрат на подготовку и обработку информации к главному экономическому показателю;
  - габаритные размеры ТО как отношение объема к его экономической эффективности и др.;
- антропологические показатели:
  - эргономичность как отношение реализуемой эффективности человеко-машинной системы к максимально возможной;
  - эстетичность, безопасность, экологичность как отношения соответствующей фактической величины к нормативной.

При решении несложных задач обычно стремятся использовать один критерий. Однако многие реальные задачи, возникающие

при проектировании, являются многокритериальными. В этих случаях состояние одних и тех же структурных составляющих, одной системы оценивают несколькими показателями. Например, конструкцию оценивают по таким показателям, как долговечность, масса и т.д. При этом, стремясь к обеспечению требуемой долговечности, увеличивают отдельные сечения конструкции, что приводит к возрастанию массы. В то же время, стремясь к снижению массы, уменьшают отдельные сечения, среди которых могут оказаться и такие, которые отрицательно влияют на долговечность.

Упростить многокритериальную задачу можно путем выделения главного критерия, по которому находят оптимальные значения параметров. Кроме того, возникает трудность с переводом остальных критериев в класс ограничений. Такой путь приводит к снижению точности решения задачи, и поэтому выбор главного критерия необходимо провести с минимально возможным ущербом.

Например, при проектировании транспортной машины прежде всего решают вопросы обеспечения требуемой скорости движения, грузоподъемности, проходимости и т.п., т.е. характеристик, содержащихся в техническом задании на проектирование. Решив их, переходят к оптимизации конструкции по установленному или выбираемому критерию. Таким критерием может быть масса машины, которую стремятся привести к минимуму, или КПД, который приводят к максимуму.

Стремление всесторонне оценить техническое средство или систему машин привело к широкому использованию обобщенных (комплексных) критериев, получаемых путем агрегирования частных оценочных показателей с учетом их весомости.

Чтобы совместно рассматривать показатели с различными размерностями и диапазоном изменения, необходимо преобразовать их в безразмерные величины. С этой целью каждый натуральный показатель  $y_r$  приводится в соответствие с относительным показателем  $d_r$ :

$$y_{r\min} \leq y_r \leq y_{r\max}; \quad d_{r\min} \leq d_r \leq d_{r\max}, \quad (3.1)$$

где  $y_{r\min}, y_{r\max}$  — предельные значения  $r$ -го показателя;

$d_{r\min}, d_{r\max}$  — его безразмерные оценки.

Предложено интервалу изменения того или иного показателя поставить в соответствие равномерную шкалу. Тогда оценочный показатель

$$d_r = \begin{cases} d_{r\max} + (d_{r\min} - d_{r\max}) \frac{y_r - y_{r\max}}{y_{r\min} - y_{r\max}}, & y_{r\max} \leftrightarrow d_{r\max} \\ d_{r\max} + (d_{r\min} - d_{r\max}) \frac{y_r - y_{r\min}}{y_{r\max} - y_{r\min}}, & y_{r\max} \leftrightarrow d_{r\min} \end{cases} \quad (3.2)$$

Таким образом, лучшей машине (комплексу машин) соответствует наиболее высокая оценка, худшей — самая низкая, средней — средняя. В качестве эталона по каждому из показателей можно принять его значение, соответствующее (в зависимости от типа решаемой задачи) лучшему мировому или отечественному уровню.

В практике квалиметрии для сведения отдельных показателей в комплексный используют различные средние (арифметическое, геометрическое и др.). Предпочтительнее, на ваш взгляд, применять среднее геометрическое

$$D = \sqrt[n]{\prod_{r=1}^n d_r^{\beta_r}}, \quad (3.3)$$

где  $\beta_r$  — коэффициент весомости  $r$ -го показателя. В этом случае приоритет отдается техническому средству или комплексу машин с меньшим разбросом оценочных показателей.

### 3.2 ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Качество продукции — совокупность свойств и характеристик продукции, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности в соответствии с назначением.

Качество продукции является основным фактором обеспечения конкурентоспособности (остальные факторы — цена, затраты в сфере потребления продукции, качество сервиса). Структура приоритетов конкурентоспособности: 4 : 3 : 2 : 1, — т.е. главное внимание следует уделять обеспечению высокого качества продукции. Из этого соотношения следует, что при формировании стратегии повышения конкурентоспособности в первую очередь ресурсы следует направлять на повышение качества продукции, затем — на снижение издержек предприятия, совершенствование организации эксплуата-

ции (применения) продукции с целью сокращения эксплуатационных затрат и в последнюю очередь — на повышение качества сервиса продукции.

С точки зрения степени использования совокупности потребительских свойств товара следует различать понятия «качество» и «полезный эффект». Качество — потенциальная способность продукции удовлетворять конкретную потребность, а «полезный эффект» — действительная (фактическая) способность продукции удовлетворять конкретную потребность. Фактическое значение полезного эффекта составляет 40–70 % его потенциальной способности, т.е. потребительские свойства используются на 40–70 %. На практике экономически нецелесообразно достигать 100 % использования потребительских свойств, так как в этом случае происходит разунификация продукции и повышение издержек производства. Экономически целесообразным уровнем использования потребительских свойств продукции машиностроения является величина, находящаяся в пределах 0,7–0,9.

Под **качеством продукции** и **технической эффективностью** некоторой технической системы понимается совокупность ее свойств, обуславливающих степень пригодности удовлетворять определенные потребности применительно к назначению. Техническая эффективность (качество) характеризуется рядом показателей, которые осознаются как мера действенности и прогрессивности и в самом общем виде называются критериями развития.

К **показателям качества ТО** кроме критериев развития относят 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 при равенстве других показателей. Критерии развития и показатели качества во многом повторяют друг друга.

Перечислим основные группы показателей, которые учитываются при проектировании технического объекта или технической системы:

- 1) **геометрические**: длина, ширина, высота, площади, занимаемые конструкцией в плане, и площади сечений, объем, форма;
- 2) **физико-механические**: масса конструкции и отдельных ее элементов, материалоемкость, прочностные и иные качества используемых материалов (в том числе новых), коррозионная устойчивость и т.д.;
- 3) **энергетические**: вид энергии и мощность, привод, КПД и т.д.;

- 4) **конструкторско-технологические**: технологичность изготовления объекта, его транспортабельность, жесткость, а также соотношение с техническим решением таких факторов, как защищенность от вредных воздействий среды, сложность или простота изготовления и др.;
- 5) **надежность и долговечность**: данные чисто технического характера — техническая надежность, долговечность, нечувствительность к вредным воздействиям среды (все, что связано с участием человека в работе, вынесено в другую группу);
- 6) **эксплуатационные**: производительность, точность и качество работы оборудования, стабильность его параметров, степень специализации (универсальности), готовности к работе (быстрота «разгона») и т.д.
- 7) **экономические**: себестоимость оборудования и отдельных его элементов, трудозатраты на производство и эксплуатацию и т.д.;
- 8) **степени стандартизации и унификации** оценивают соответствующими коэффициентами. **Коэффициент стандартизации** представляет собой отношение числа стандартизированных деталей к общему количеству деталей изделия. **Коэффициент унификации** — отношение унифицированных деталей к общему числу деталей изделия. Стандартизация и унификация способствуют сокращению номенклатуры деталей, уменьшению стоимости их изготовления, упрощению эксплуатации ТО;
- 9) **удобство обслуживания и безопасность**: все, что связано с охраной труда и техникой безопасности, эргономикой и инженерной психологией, удобством работы, контролем и ремонтом, требованиями комфорта (шум, вибрации, влажность, температура, запыленность, освещенность), т.е. с участием человека в обслуживании оборудования;
- 10) **художественно-конструкторские**: все показатели, которые, с одной стороны, придают объекту высокие художественно-конструкторские достоинства (масштабность, цельность, гармоничность, пропорциональность и др.), а с другой — позволяют рассматривать его как промышленный образец.

Применительно к модернизации сельскохозяйственных машин, находящихся в эксплуатации, показатели качества машин приведены в таблице 3.1 [16].

Таблица 3.1 — Показатели качества машин

№	Основные группы показателей качества	Показатели (примеры)
1	Назначения	Полнота сбора продукции (потери), равномерность размещения семян, производительность, дробление (повреждение) зерна, очистка зерна, приспособленность к условиям работы
2	Безопасности	Прочность и надежность изоляции, наличие защитных устройств, время срабатывания защитных устройств, вибрация
3	Экологичности	Воздействие на окружающую среду, содержание вредных примесей, выбрасываемых в окружающую среду, шум
4	Надежности	Безотказность: наработка на отказ, вероятность безотказной работы. Долговечность: ресурс до ремонта; ремонтпригодность — трудоёмкость технического обслуживания и приспособленность к ТОР. Сохраняемость: средний срок сохраняемости
5	Эргономичности	Приспособленность машины к человеку
6	Технологичности	Трудоёмкость изготовления, ремонта: подготовки производства, подготовки изделия к функционированию
7	Транспортабельность	Продолжительность и трудоёмкость транспортирования, показатель использования транспортных средств
8	Стандартизации и унификации	Показатели повторяемости, унификации
9	Патентно-правовые	Патентная защита, чистота, степень обновления
10	Эстетичности	Показатели цветового колорита, соответствие стилю
11	Экономические	Себестоимость изготовления, содержания и эксплуатации
12	Однородности (продукции)	В условиях массового (серийного) производства однородность изделий, проб качества продукции

Следует отметить, что показатели и их изменения реальны, объективны, а приемы улучшения показателей субъективны и отражают работу человеческого мозга. Конечно, одинаковое решение может быть принято и объяснено различными приемами. Часто независимо друг от друга появляются одинаковые изобретения.

### 3.3 НЕДОСТАТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

У любого технического объекта в процессе изготовления и эксплуатации сразу или со временем выявляются определенные недостатки (дефекты). Из закона прогрессивной эволюции техники, который будет кратко рассмотрен далее, следует, что каждый используемый объект обычно имеет некоторые недостатки, устранение которых обеспечивает получение новой, улучшенной модификации технического объекта.

К недостаткам относятся неучтенные или неудовлетворенные, а также невыявленные требования, которые могут улучшить какой-либо показатель качества. Недостатки могут возникать или изменяться с ходом технического прогресса.

В итоге для каждого используемого ТО формируется список недостатков, который служит основой для составления списка требований при разработке и проектировании нового поколения ТО. Более детально о механизме и путях выявления недостатков будет сказано ниже, а сейчас остановимся на анализе погрешностей, неправильностей конструкций и промахов проектантов (далее для краткости — ошибок).

**Анализ ошибок.** К сожалению, иногда уже появившиеся в эксплуатации изделия имеют некоторые, лишь до известной степени оправдываемые недостатки. При изготовлении и проверке опытных или производственных образцов почти всегда выявляются нетерпимые недостатки, которые подлежат устранению при всех обстоятельствах. Этих недостатков можно было бы избежать при своевременном проведении достаточно основательных предварительных исследований. Однако в большинстве случаев это не делается, потому что соблюдение срока сдачи проекта представляется более важным, чем тщательная, продуманная во всех подробностях работа.

Для того чтобы улучшить положение, еще в процессе проектирования необходим тщательный анализ потенциальных ошибок. Он должен сопровождать весь период систематической разработки технического решения, хотя можно отметить и отрезки этого процесса, где анализ ошибок особенно важен. Таким является переход к этапу разработки, когда уже найдены первые принципиальные решения. Анализ ошибок можно также проводить перед комбинированием, ведущим к физическому принципу действия, а именно перед моментом, когда первые элементы решения исключаются как заранее неприемлемые. Здесь критика действует, однако, не как конструктивный, а как исключаящий фактор. Элементы конструкции при этом исследуются с точки зрения их принципиальной при-

емлемости. Решение в большинстве случаев может дать ответ на вопрос, годится или нет, и почти никогда — возможно или невозможно. Известно, что необходимость компромиссов при составлении частных решений на первых порах может привести к отказу от тех элементов решений, которые позднее могут оказаться правильными. Поэтому признаки, относящиеся к этим решениям, следует не исключать, а лишь зачеркивать в предварительном порядке. Элементы решения следует рассматривать не по абсолютной ценности, а в их комбинации для данной задачи.

Анализ ошибок особенно полезен, когда при отыскании ошибочных или слабых мест в физическом принципе действия возникает необходимость улучшений, заключающихся в применении других известных конструктивных элементов или в поисках новых. Он подразумевает следующие действия. Сначала нужно ознакомиться с возможностями возникновения ошибок; затем оценить эти возможности с различных точек зрения: их важности, степени влияния на предполагаемые мероприятия, на стоимость последних и т.д. При этом необходимо решить, насколько действие существенно и требуются ли контрмеры (преодоление ошибок). Таким образом, всегда повторяется один и тот же ход действий:

Поиск ⇒ Оpozнание ⇒ Оценка ⇒ Преодоление.

Следует иметь в виду, что ошибки могут проявляться по-разному. Полное их перечисление почти невозможно. Но список важнейших форм проявления ошибок можно составить таким образом, что пользование им достаточно гарантирует от упущений. В таблице 3.2 приведена классификация форм ошибок.

Физические явления и химические процессы должны всегда исследоваться для оценки их возможного влияния на качество функционирования технического объекта. При этом нужно учитывать и знания тех областей физики, которые на первых порах кажутся не имеющими отношения к применяемому физическому принципу действия. Это особенно необходимо для уяснения побочных явлений и эффектов. Такие эффекты проявляются в форме вибраций, инерционных нагрузок, шумов, смолообразования, износа и др. Так, например, в каком-либо фотометрическом приборе вблизи светового потока может оказаться постоянный магнит, который, как предполагалось, не должен влиять на работу прибора. Но при высокоточных измерениях действие его магнитного поля может отрицательно повлиять на исследуемый световой поток.

Таблица 3.2 — Формы проявления ошибок

Воздействие ошибок	Формы проявления ошибок в виде отклонения от номинала	Примеры
На функционирование	Геометрические	Ошибки угловые. Ошибки длины. Ошибки биения
	По времени	Колебания скорости
	Типичные физические формы ошибок	Отклонения силы света, инерция, сопротивление, нерезкость изображения, неправильная собственная частота, шумы, рефлекссы, газообразование и т.д.
На производство	Трудности изготовления	Незакрепляемость, плохая технология литья
	Трудности сборки	Юстировка лишь путем проб
	Трудности контроля	
	Затруднения с материалами	Нельзя своевременно приобрести
	Применение специальных деталей вместо нормалей	
На потребителя	Неудобство обслуживания	Работа в неудобном положении, частая смазка
	Возможность неправильного обслуживания	Кнопки слишком близки к друг другу
	Опасность обслуживания	Несовершенная техника безопасности
На сбыт	Высокая стоимость	
	Трудность доставки	Чувствительность к толчкам, громоздкость
	Дефекты внешнего вида	

Ошибки, которые выявляются на производстве, по большей части обнаруживаются и устраняются при оформлении технической документации. Ни в коем случае не следует хотя бы на этом позднем этапе упускать возможность их опознания, иначе большая часть проектной работы может оказаться напрасной.

Анализ ошибок всегда следует проводить с трех точек зрения. Нужно отличать собственно ошибку от того, чем она вызывается (причины) и от результата ошибки (ее следствия или воздействия). Поэтому полезно применение формы обзора ошибок согласно таблице 3.3. Эта форма служит не столько для заполнения, сколько для указания на то, о чем следует помнить, анализируя ошибки. Здесь указаны области их проявления: функция, производство, пользование, сбыт.

Таблица 3.3 — Форма для анализа ошибок

Ошибка	Функция	Производство	Эксплуатация	Сбыт
Проявление				
Причина				
Воздействие				
Мероприятие				

Не всегда просто выявить возможные ошибки, при некоторых обстоятельствах для этого требуется много времени и сил, но все же это необходимо. Принципиальный подход к работе над ошибками, изучение их с помощью расчетов, графиков, опытов с моделями позволит избежать нежелательных последствий в дальнейшем — особенно при подготовке производства и в самом производстве.

Одним из действенных средств для своевременного нахождения ошибок является **метод возможных отклонений**. Он состоит в том, что при проектировании учитывают проявление на этапе эксплуатации сочетания предельно допустимых значений различных параметров. Только с учетом всех возможных отклонений будет создана работоспособная и надежная конструкция для всех заданных условий эксплуатации.

Пример конструктивной ошибки — плохая подвижность шарнирной передачи. Результатом данной ошибки будет в лучшем случае потеря мощности, в худшем — износ шарнира до непригодности к эксплуатации или даже его разрушение. Причины ошибки здесь разнообразны: слишком малый зазор, непредусмотренная температура, недостаток смазки, плохая сборка и т.д. Лишь на основе знания конкретной причины могут быть применены действенные меры по повышению эффективности работы шарнира.

Как было сказано выше, действие ошибок можно предотвратить путем своевременного установления и устранения их причин. При предварительном обдумывании, т.е. на начальном этапе проектирования, когда еще не существует опытного образца технического

объекта, разработчики знают лишь о возможностях появления ошибок и их причинах. В процессе проектирования необходимо представить все трудности и предотвратить последствия ошибки соответствующими техническими средствами.

В борьбе с ошибками следует различать три вида мероприятий: предотвращение, компенсация и учет. На практике все три вида могут проводиться совместно.

Самыми действенными являются меры **предотвращения**, которые сводятся к устранению причин ошибок. Не столь основательная, но все же часто достаточная мера — **компенсация** самой ошибки. Последней, правда, самой непопулярной мерой является **учет влияния ошибки**.

Предотвращение ошибок требует иногда больших издержек. Однако в большинстве случаев это себя окупает, так как иначе возникают постоянные затруднения либо в производстве, либо в эксплуатации. Кроме того, снижаются затраты на текущий ремонт и другие косвенные убытки. Если ошибки были предотвращены, то не только снижаются затраты на ремонт, но и резко уменьшается брак.

В примере с шарнирной передачей средства для устранения причин ошибки были бы, естественно, самыми разнообразными, поскольку и самих причин также очень много. Могут быть, например, применены такие меры, как замена материалов шарнирной пары, тщательный подбор степени гладкости поверхностей, уплотнение против попадания чужеродных тел и др. Сама ошибка может быть предотвращена применением притирки. Компенсация действия ошибки в этом случае была бы неэкономичной (например, увеличение входной мощности, использование довольно дорогой смазки под давлением).

Покажем на следующем примере [6], как подробное рассмотрение ошибок основных конструктивных элементов может привести к надежному результату. Рассмотрим паяное или склеенное соединение тонкого и толстого листов.

При нормальной нагрузке силами растяжения или сжатия в плоскости листа шов достаточно прочен. Если же будет установлено, что в месте стыка имеются разрывы, нужно искать их причину. Они могут произойти в результате возникновения колебаний. При этом тонкий лист начинает раскачиваться; в толстом же листе вследствие его большей жесткости колебания не возникают; шов оказывается нагруженным дополнительными силами, и в нем появляются перенапряжения. Прежде всего необходимо устранить колебания. Если это невозможно, то нужно обратить внимание на другую причину,

а именно жесткость толстого листа — ее необходимо уменьшить. Это можно осуществить сравнительно легко, сделав скос (рисунок 3.1).

Если из-за неточности изготовления возможна ошибка функционирования, то нужно произвести расчет допусков. Главным образом это:

- а) жесткие допуски, что удорожает изготовление;
- б) конструкция с короткой цепочкой допусков, т.е. с малым количеством следующих друг за другом функционирующих деталей;
- в) возможность юстировки;
- г) выбор другого физического принципа действия (ФПД).

Если найденный ФПД подвергают критике, то в каждом частном случае нужно выяснить, целесообразно ли следовать данному принципу в дальнейшей работе, можно ли уменьшить выявленный недостаток и, наконец, будет ли улучшение ФПД экономичным. Как производится улучшение ФПД, покажем на примере [6] устройства, в котором тяжелый груз должен перемещаться по дуге круга (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 — Шов, предохраненный скосом от разрушения вибрациями

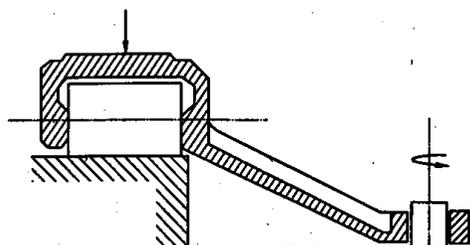


Рисунок 3.2 — Физический принцип действия круговой направляющей

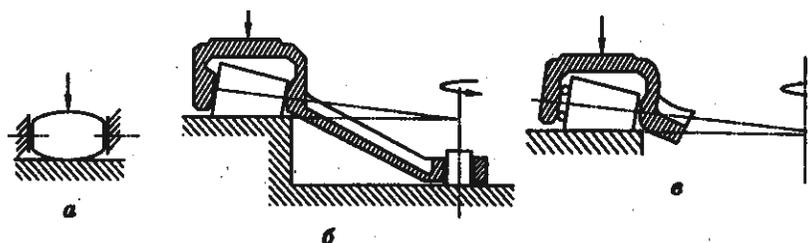


Рисунок 3.3 — Улучшение рабочего принципа круговой направляющей

Груз опирается на плиту через цилиндрический ролик. При анализе ошибок установлено, что чистое обкатывание наблюдается лишь в одном месте, а в остальных — скольжение, следствием которого будет износ пары. Причиной ошибки является несовпадение окружных скоростей движения вокруг оси ролика и вертикальной оси вращения. Эта ошибка может быть устранена путем придания ролику бочкообразной формы (рисунок 3.3, а).

Расчет, однако, дал в этом случае высокое удельное давление. Чтобы устранить ошибку, необходимо ось ролика и вертикальную ось вращения пересечь в одной точке. Таким образом, получаем конический ролик (рисунок 3.3, б). Возникшее осевое давление устраняется осевым подшипником (рисунок 3.3, в). Следует оценить, какое из трех исполнений будет обладать наименьшей суммой недостатков (учитывая также и стоимость) по сравнению с представленным на рисунке 3.2. Лишь после этого соответствующее исполнение можно принять в качестве улучшенного рабочего принципа.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что такое показатели развития? Назовите и охарактеризуйте основные группы показателей развития.
- 2 Перечислите виды показателей развития технических объектов.
- 3 Сформулируйте условия и требования, которым должны удовлетворять параметры, относящиеся к критериям развития технических объектов.
- 4 Как производится выбор показателей оценки технических объектов?
- 5 Приведите схему оценки состояния технического объекта разными характеристиками.
- 6 Что такое качество продукции?
- 7 Раскройте состав показателей качества продукции.
- 8 Какие группы показателей качества учитываются при проектировании технического объекта?
- 9 Что относится к недостаткам технических объектов?
- 10 Как осуществляется анализ и устранение недостатков технических объектов?

## 4 ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ

### 4.1 СВЕДЕНИЯ О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНАХ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ

В условиях все возрастающего количества информации, имеющей как специальное, так и общетехническое направление, личного опыта отдельных разработчиков уже оказывается недостаточно для эффективного проектирования. Поэтому все большее значение приобретает прогнозирование в области создания новых технических объектов, в том числе и оборудования [2, 17, 18]. Неоценимую роль в прогнозировании играют законы развития техники.

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

Закономерности строения и развития техники охватывают ТО с одинаковыми или близкими функциями. Законы техники имеют отношение к любому ТО или многим классам, имеющим различные (значительно различающиеся) функции.

#### 4.1.1 Закон корреляции параметров однородного ряда технических объектов

К *однородному ряду* относятся такие технические объекты, 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 техническом объекте называют тот, 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.

Закон имеет следующую формулировку: «Однородный ряд технических объектов  $S_1, S_2, \dots, S_k$ , имеющих одинаковую функцию и техническое решение, описываемое набором параметров  $x, y_1, \dots, y_n$  и отличающихся значениями главного параметра, связан отношениями  $y_i = a_{ij}x_j + b_{ij}$  ( $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, k$ )».

#### 4.1.2 Законы симметрии технических объектов

Технический объект, испытывающий существенное действие внешней среды в виде потоков вещества, энергии или информации, имеет определенный тип симметрии, обусловленный комбинацией и характером этих потоков. С точки зрения проявления тех или иных свойств объектов было выделено несколько типов симметрии [19].

**Закон двусторонней симметрии.** Любой технический объект, 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 (рисунок 4.1, а).

**Закон осевой симметрии. А.** Любой технический объект, который испытывает существенное однонаправленное действие среды в виде потока вещества или энергии, имеет симметрию ( $n$ ) или ( $n : m$ ) с осью симметрии, параллельной действию среды (рисунок 4.1, б, в).

**Б.** Любой технический объект, 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.

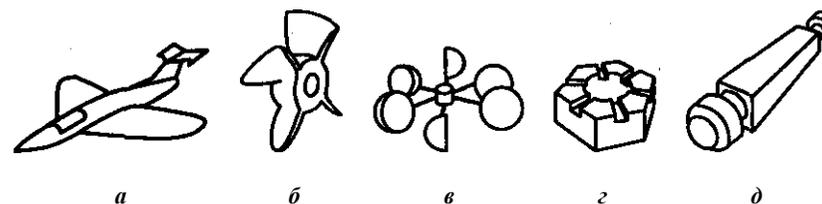


Рисунок 4.1 — Типы симметрии:  
а — ( $m$ ) — самолет; б — ( $n$ ) — гребной винт; в — ( $n : m$ ) — вертушка анемометра;  
г — ( $n \cdot m$ ) — гайка; д — ( $m \cdot n : m$ ) — вал переменного сечения

**В.** Любой технический объект, который испытывает существенное равновероятное или равномерно распределенное со всех сторон (снаружи или изнутри) плоскопараллельное действие среды, имеет симметрию  $(n)$  или  $(n - m)$ ,  $(n : m)$ ,  $(n \cdot m : m)$  с осью симметрии, перпендикулярной действию среды (рисунок 4.1, б–д).

#### 4.1.3 Закон гомологических рядов

Гипотеза о законе гомологических рядов в технике была сформулирована по аналогии с законом гомологических рядов Н.И. Вавилова, относящимся 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 для других видов и родов. Чем ближе генетически расположены в общей системе роды в виды, тем полнее сходство в рядах их изменчивости. Целые семейства характеризуются определенным циклом изменчивости, проходящей через все роды и виды, составляющие семейство».

Для применения закона гомологических рядов в технике необходимо было определить факторы, которые играют роль генотипа, т.е. как генотип в живой природе определяет видовые, родовые и другие признаки, так и в технике необходимо выделить факторы, обуславливающие характерные признаки ТО. К таким факторам относятся компоненты описания функции, принципа действия и условий работы технического объекта, оказывающих существенное влияние на техническое решение (структуру) ТО.

Гипотеза о законе гомологических рядов технического объекта имеет следующую формулировку: «Технические объекты с близкими функциями, принципами действия и характеристиками условий работы имеют частично совпадающие наборы варьируемых конструктивных признаков  $P_1, \dots, P_k$ , принимающих одинаковые значения  $a_1^j, a_2^j, \dots, a_m^j$  ( $j = 1, \dots, k$ ).

Число совпадающих наборов признаков  $k$  будет тем больше, чем больше совпадающих компонентов описания функций, принципов действия и условий работы. При этом имеют место корреляционные связи между определенными компонентами и признаками.

#### 4.1.4 Закон расширения множества потребностей (функций)

Этот закон имеет отношение к развитию техники в целом, а не отдельной фирмы, отрасли или страны. Уже давно известен закон возвышения потребностей, который сформулирован на качественном уровне. Предлагаемая формулировка закона 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 улучшения жизни людей. Число таких качественно и количественно различающихся потребностей (функций)  $P_i$ , относящихся к техносфере, со временем монотонно и ускоренно возрастает по экспоненциальному закону:

$$P_i = P_0 e^{\alpha t}, \quad (4.1)$$

где  $P_0$  — число потребностей (функций) до момента  $t = 0$ ;  
 $e$  — показатель основания экспоненты, равный 2,72;  
 $\alpha$  — эмпирический коэффициент;  
 $t$  — время в годах.



Рисунок 4.2 — Кривая развития: эволюция спроса на техническую систему

Важной величиной, которая также сильно изменяется со временем, является эволюция спроса на техническую систему. Для простоты анализа будем полагать, что производство технической системы всегда соответствует спросу на нее. Упрощенная, сглаженная кривая увеличения и уменьшения спроса с течением времени показана на рисунке 4.2.

Спрос на техническую систему даже после разработки новых, более эффективных систем не всегда падает до нуля. Морально устаревшее оборудование, машины еще используют некоторое время, хотя и в сокращающемся масштабе. Так, например, специализированные сельскохозяйственные машины не могут полностью вытеснить трактор и комбайн.

#### 4.1.5 Закон прогрессивной эволюции техники

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 технического объекта к следующему, улучшенному; при каких условиях, когда и какие структурные изменения происходят с переходом от поколения к поколению. Закон прогрессивной эволюции техники состоит в следующем.

В техническом объекте с одинаковой функцией переход от поколения к поколению вызван устранением выявленного главного дефекта (дефектов), связанного, как правило, с улучшением критериев развития, и происходит при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности следующими наиболее вероятными путями иерархического исчерпания возможностей конструкции:

- а) при неизменном физическом принципе действия и техническом решении улучшаются параметры ТО до приближения к глобальному экстремуму по значениям параметров;
- б) после исчерпания возможностей цикла а) происходит переход к более рациональному техническому решению (структуре), после чего развитие опять идет по циклу а).

Циклы а) и б) повторяются до приближения к глобальному экстремуму по структуре для данного принципа действия. При этом значения критериев развития  $K$ , как правило, изменяются в соответствии с функцией вида:

$$K = L / (a + e^{be - \beta t}), \quad (4.2)$$

где  $L$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $\beta$  — коэффициенты, определяемые по статистическим данным;  $t$  — время;

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.

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 реализуется в первую очередь то, которое дает необходимое или существенное устранение дефекта при минимальных интеллектуальных и производственных затратах. Вид функции (4.2), называемой  $S$ -функцией, показан на рисунке 4.3.

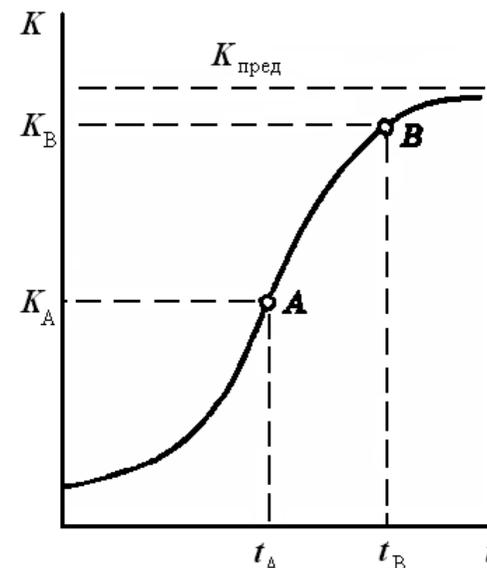


Рисунок 4.3 — Закономерность изменения значений критерия развития  $K$  при неизменном принципе действия:

$A, B$  — технические объекты;  $t_A, t_B$  — моменты появления технических объектов

Используемое в формулировке закона понятие «научно-технический уровень» имеет отношение к стране, отрасли и определенному моменту времени. Понятие включает используемые технические объекты, технологии, источники энергии, материалы и вещества, информацию об использовавшихся в прошлом, а также о новых (пока не реализованных) ТО, технологиях, источниках энергии, материалах и веществах; данные о физико-технических эффектах, которые используются или могут быть использованы в технике и т.п.

Социально-экономическая целесообразность создания и использования технических объектов указывает на то, что, во-первых, их изготовление и практическое использование экономически возможно и выгодно, во-вторых, не ухудшает антропологических критериев развития техники. Таким образом, суть закона состоит в том, что в технических объектах 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 некоторые закономерности иерархического исчерпания возможностей конструктивно-технологических решений на трех уровнях.

Сначала на 1-м уровне улучшаются параметры используемого технического решения (ТР). Когда это 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 к новому, более прогрессивному ТР. Указанные циклы на первом-втором уровнях происходят до тех пор, пока в рамках используемого принципа действия уже не находят новых технических решений, обеспечивающих улучшение интересующих показателей. После этого наступает революционное изменение на 3-м уровне — переход на новый, более прогрессивный принцип действия, и т.д. В каждом случае перехода от поколения к поколению действуют весьма определенные частные закономерности изменения конструкций, которые с большой вероятностью конкретизируют направление и характер изменения технического объекта в следующем поколении. Примером может служить последовательный переход в авиастроении в течение длительного времени от поршневых к турбовинтовым и далее к реактивным двигателям.

Применительно к зерноуборочным комбайнам примером такого изменения по одной из его основных функций назначения — по по-

казателям полноты вымолота (потери) и повреждения (в частности дробления) зерна — является замена традиционно бильного барабана на турбинный вариант бильного. Последний позволяет:

- сократить дробление и травмирование зерна;
- повысить вымолот зерна, в т.ч. при повышенной влажности хлебной массы;
- улучшить выделение зерна из соломистого вороха на соломотрясе;
- уменьшить уровень вибрации комбайна;
- уменьшить неравномерность нагрузки на двигатель;
- повысить безотказность молотильного аппарата (за счет сокращения случаев забивания);
- повысить ритмичность работы измельчителя.

При равенстве цены традиционного и турбинного вариантов барабана последний обеспечивает:

- сокращение потерь зерна на 6–10 %;
- сокращение расхода ГСМ на 10–18 %;
- увеличение срока службы узлов и агрегатов молотилки в 3–4 раза [15].

В области технического обслуживания основными принципами организации модернизации СТО являются:

- установление областей и направлений эффективной модернизации;
- принятие простых конструктивных решений, реализация которых не вызывает излишнего удорожания работ;
- разработка типовых проектов модернизации;
- изготовление на предприятиях головных образцов модернизированных средств;
- организация модернизации средств по типовым проектам на средства заказчика. Затраты на СТО не должны превышать 30 % стоимости новых средств;
- совмещение работ по модернизации с ремонтом. При этом удается избежать лишних расходов, которые связаны с выполнением разборочно-сборочных работ.

Общая схема модернизации СТО представлена на рисунке 4.4.

Экономическая целесообразность модернизации СТО определяется совокупностью ряда показателей: повышением производительности средства, уровнем затрат на модернизацию, экономией на эксплуатационных расходах после модернизации, сроком окупаемости затрат. При решении вопроса об эффективности модернизации морально устаревших средств важным аспектом является установление базы сравнительной оценки. Если решается вопрос о целесообразности выполнения модернизации с учетом альтернативного варианта замены морально устаревшего средства, то базой для сравни-

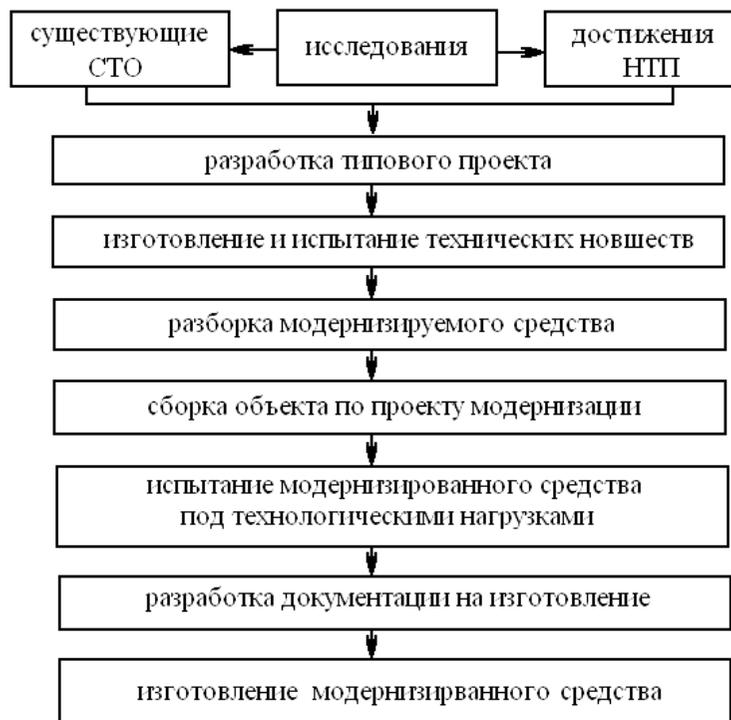


Рисунок 4.4 — Принципиальная блок-схема модернизации СТО

тельной оценки выступает новое, прогрессивное средство. Если возникает вопрос о выборе между модернизацией морально устаревшего средства или проведением его ремонта, то базой для сравнительной оценки является экономическая эффективность модернизации по сравнению с ремонтом. При сравнении нескольких альтернативных вариантов модернизации средств предпочтение должно быть отдано решению, обеспечивающему минимум затрат [20].

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 технического решения (в рамках определенного принципа действия), не может произойти переход к новому принципу действия. Закономерность иерархического исчерпания конструкции действует при соблюдении следующего условия: если при наличии необходимого научно-технического потенциала пере-

ход к новому техническому решению или принципу действия обеспечивает получение дополнительной эффективности, существенно превышающей дополнительные интеллектуальные и производственные затраты на его реализацию.

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 с использованием компьютерных технологий. Автоматизированные системы научных исследований и гибкие автоматизированные производства позволят без чрезмерных затрат производить доводку и изготовление нового поколения ТО, значительно отличающегося от предыдущего. Можно сказать, что в этих случаях закон будет использоваться для ускорения развития техники.

Прогнозирование с помощью S-функции позволяет установить, насколько недоиспользованы возможности применяемого принципа действия. Если эти возможности имеют значительные резервы (точка А на рисунке 4.3), то на основе прогнозирования можно сформулировать реальное задание на улучшение интересующих главных показателей. Если же прогноз покажет, что возможности принципа действия практически исчерпаны (точка В на рисунке 4.3), 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.

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 гг. 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, но главное — извлечь в полной мере, обобщить и использовать в последующем ценный инженерный опыт.

Закон прогрессивной эволюции целесообразно использовать на начальных стадиях проектирования новых поколений технических объектов — при анализе и прогнозировании развития техники.

#### 4.1.6 Закон соответствия между функцией и структурой

Суть закона заключается в том, что в правильно спроектированном ТО каждый элемент, от сложных узлов до простых деталей, каждый его конструктивный признак имеют вполне определенную функцию (назначение) по обеспечению работы ТО. И если лишить такой ТО какого-либо элемента или признака, то он либо перестанет работать (выполнять свою функцию), либо ухудшит показатели своей работы. В связи с этим у правильно спроектированных технических объектов нет «лишних деталей».

Эта суть соответствия между функцией и структурой лежит в основе всей познавательной деятельности, связанной с анализом и изучением существующих ТО, и всей проектно-конструкторской деятельности по созданию новых ТО. Закон соответствия между функцией и структурой ТО имеет следующую формулировку: «Каждый элемент 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 таких соответствий в ТО представляет собой функциональную структуру в виде ориентированного графа, который отражает системную целостность ТО и соответствие между его функцией и структурой (конструкцией). Выражение закона соответствия между функцией и структурой в количественной форме обеспечивает:

- 1) формализованное описание функций элементов через компоненты  $D$ ,  $G$ ,  $H$ , которые могут иметь также количественные характеристики;
- 2) 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 и (или) потоки вещества, энергии или сигналов, передаваемых между элементами.

На основе закона соответствия между функцией и структурой разработаны методики построения функциональных структур конкретных ТО. Эти методики используются в различных подходах и методах проектирования. Данный закон имеет несколько практически важных следствий — закономерностей, отражающих обобщенные функциональные структуры широких классов ТО.

Материалом для выявления конкретных закономерностей является патентный фонд, содержащий описания миллионов изобре-

ний. Анализ патентных материалов позволил Г.С. Альтшуллеру предложить следующие законы развития технических систем. Первая группа этих законов, «статика», относится к критериям работоспособности новых технических систем. Вторая группа, «кинематика», характеризует направление развития независимо от конкретных технических и физических механизмов этого развития.

Законы «статики» и «кинematики» универсальны — они справедливы во все времена не только применительно к техническим системам, но и к любым системам вообще.

Третья группа, «динамика», включает законы, отражающие развитие современных технических систем под действием конкретных технических и физических факторов. «Динамика» отражает главные тенденции развития технических систем именно в наше время.

Любая техническая система возникает в результате синтеза в единое целое отдельных частей. Не всякое объединение частей дает работоспособную систему. Существуют три закона, выполнение которых необходимо для того, чтобы система оказалась работоспособной.

#### 4.1.7 Закон полноты частей системы

Необходимым условием принципиальной работоспособности технической системы является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы.

Каждая техническая система должна включать четыре основные части: двигатель, трансмиссию, рабочий орган, орган управления. Смысл первого закона заключается в том, что для синтеза технической системы необходимо наличие этих четырех частей и их минимальная пригодность к выполнению функций системы.

Из этого закона вытекает очень важное для практики следствие: чтобы техническая система была управляемой, необходимо, чтобы хотя бы одна ее часть была управляемой. Под термином «быть управляемой» понимается способность изменять свойства так, как это нужно тому, кто управляет.

#### 4.1.8 Закон «энергетической проводимости» системы

Необходимым условием принципиальной работоспособности технической системы является сквозной проход энергии по всем частям системы.

Любая техническая система является преобразователем энергии, поэтому очевидна необходимость передачи энергии от двигателя через трансмиссию к рабочему органу.

Передача энергии от одной части системы к другой может быть вещественной (вал, шестерни, рычаги), полевой (магнитное поле) и вещественно-полевой (передача энергии потоком заряженных частиц). Многие инженерные задачи сводятся к подбору вида передачи энергии, наиболее эффективного в заданных условиях.

Важное значение имеет следствие из второго закона: чтобы часть технической системы была управляемой, необходимо обеспечить энергетическую проводимость между этой частью и органами управления.

#### **4.1.9 Закон согласования ритмики частей системы**

Необходимым условием принципиальной работоспособности технической системы является согласование ритмики (частоты колебаний, периодичности) всех частей системы.

К «кинематике» относятся законы, определяющие развитие технических систем независимо от конкретных технических и физических факторов, обуславливающих это развитие.

#### **4.1.10 Закон увеличения степени идеальности системы**

Развитие всех систем идет в направлении увеличения степени идеальности. Идеальная техническая система — это система, вес, объем и площадь которой стремятся к нулю, хотя ее способность выполнять работу при этом не уменьшается. Идеальная система — это когда системы нет, а функция ее сохраняется и выполняется.

Несмотря на очевидность понятия «идеальная техническая система», существует определенный парадокс: реальные системы становятся все более крупноразмерными и тяжелыми. Увеличиваются размеры и вес самолетов, танкеров и автомобилей. Парадокс этот объясняется тем, что высвобожденные при совершенствовании системы резервы направляются на увеличение ее размеров и повышение рабочих параметров. Первые автомобили имели скорость 15–20 км/ч. Если бы эта скорость не увеличивалась, постепенно появились бы автомобили, намного более легкие и компактные с той же прочностью и комфортабельностью. Но каждое усовершенствова-

ние в автомобиле (использование более прочных материалов, повышение КПД двигателя) направляется на увеличение скорости и того, что «обслуживает» эту скорость (мощная тормозная система, прочный кузов, усиленная амортизация).

Видимый вторичный процесс роста скорости, мощности и тоннажа маскирует первичный процесс увеличения степени идеальности технической системы. При решении изобретательских задач необходимо ориентироваться именно на увеличение степени идеальности — это надежный критерий для корректировки задачи и оценки полученного ответа.

#### **4.1.11 Закон неравномерности развития частей системы**

Развитие частей системы идет неравномерно: чем сложнее система, тем неравномернее развитие ее частей.

Неравномерность развития частей является причиной возникновения технических и физических противоречий и, следовательно, изобретательских задач. Например, когда начался быстрый рост тоннажа грузовых судов, мощность двигателей быстро увеличилась, а средства торможения остались без изменений. В результате возникла задача: как тормозить танкер водоизмещением 200 тыс. тонн? Задача эта до сих пор не имеет эффективного решения — от начала торможения до полной остановки крупные корабли успевают пройти несколько миль.

#### **4.1.12 Закон перехода в надсистему**

Исчерпав возможности развития, система включается в надсистему в качестве одной из частей. При этом дальнейшее развитие идет на уровне надсистемы.

Рассмотрим законы «динамики».

#### **4.1.13 Закон перехода с макроуровня на микроуровень**

Развитие современных технических систем идет в направлении увеличения степени дробления (дисперсности рабочих органов). В особенности типичен переход от рабочих органов на макроуровне к рабочим органам на микроуровне.

В большинстве современных технических систем рабочими органами являются механические объекты, например прерыватель-распределитель контактно-транзисторной системы зажигания. На макроуровне он исчерпал возможности своего развития, и поэтому для преодоления возникающих технических и физических противоречий дальнейшее развитие этой системы перешло на микроуровень: разработаны полностью электронные системы зажигания, управляемые бортовыми компьютерами.

#### 4.1.14 Закон увеличения степени управляемости

Развитие технических систем идет в направлении увеличения управляемости, иногда применяется термин — увеличения вепольности. Невепольные и неполные вепольные системы превращаются в полные веполи; простые веполи переходят в сложные; увеличивается качество управляемых связей. В веполи вводят вещества и поля, которые позволяют без существенного усложнения реализовать новые физические эффекты, расширить функциональные возможности системы и тем самым повысить степень ее идеальности.

В создании современных машин невозможно обойтись без фундаментальных наук: физики, химии, математики. Для того чтобы изобретатель мог воспользоваться их основными достижениями, в теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) уже многие годы разрабатываются указатели физических эффектов.

Таким образом, можно заключить, что технические средства развиваются:

- 1) в направлении увеличения степени идеальности;
- 2) увеличения степени динамичности;
- 3) неравномерно, через возникновение и преодоление технических противоречий;
- 4) до определенного предела, за которым система включается в надсистему в качестве одной из ее частей; при этом развитие на уровне системы резко замедляется или совсем прекращается, заменяясь развитием на уровне надсистемы.

## 4.2 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ

### 4.2.1 Технологические уклады

*Технологический уклад* — совокупность взаимосвязанных и согласованных технологических процессов и механизмов, соответствующих уровню техники и квалификации работников и обеспечивающих получение конечного продукта. Он важен для понимания процессов инновационного технико-технологического развития и места государства в мировой экономике.

Классификация технологических укладов включает 5 видов и 6 характеристик каждого из укладов [1]. Например, ключевыми факторами укладов являются:

- 1-й уклад (1770–1830) — текстильные машины;
- 2-й уклад (1830–1880) — паровой двигатель, станки;
- 3-й уклад (1880–1930) — электродвигатель, сталь;
- 4-й уклад (1930–1980) — двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия;
- 5-й уклад (1980–2100) — микроэлектронные компоненты, биотехнология.

Лидеры 5-го уклада: Япония, США, Великобритания, Германия, Швеция, Тайвань, Южная Корея, Канада, Австралия.

Ядро 5-го технологического уклада: электронные процессоры, вычислительная техника, оптико-волоконная техника, телекоммуникация, робототехника, производство и переработка газа, информационные технологии и услуги.

### 4.2.2 Тенденции технического развития

Для определения тенденций развития техники следует исходить из того, к чему стремится общество. Философия и социология, гуманитарные дисциплины обычно не входят в сферу интересов людей, связанных с созданием техники. Однако в настоящее время ответственность инженеров за состояние общества подобна ответственности врачей за здоровье людей, так что решение социальных проблем нельзя оставлять только политикам и ученым.

Есть ряд неоспоримых общественных целей, очевидных большинству людей, — борьба с голодом; избавление от болезней и увеличение продолжительности активной жизни людей; борьба с преступностью; повышение благосостояния; повышение уровня обра-

зования; сокращение доли физического труда; сокращение рабочего времени.

Мнения о том, какую роль в достижении этих целей должна играть техника, разделились. Некоторые предлагают полностью отказаться от нее, другие выступают за бесконтрольное развитие техники. Независимо от высказываемых крайних мнений наука и техника будут развиваться, важно, чтобы они развивались на благо людей. Для того чтобы правильно управлять развитием техники, необходимо знать, в каком направлении оно должно происходить и каким образом регулироваться. Каждый инженер (разработчик, проектант) должен понимать значение своей деятельности и всегда сопоставлять свою задачу с интересами общества.

Тенденции развития техники часто формулируются на уровне определенных свойств ТО. Это снижение материалоемкости и энергоёмкости изготовления ТО, механизация, автоматизация, электрификация, компьютеризация, использование новых принципов работы и прогрессивных способов производства.

**Механизацию** можно определить как передачу функций действия от человека машине. Аналогично этому **автоматизация** — это передача функций управления и контроля от человека машине. **Электрификация, химизация** и другие направления означают расширение использования электрических, химических и иных явлений для решения технических задач. Анализ этих тенденций показывает, что они непосредственно влияют только на снижение доли физического труда, связь с другими целями общества проявляется косвенно.

Связь тенденций развития техники с целями общества станет яснее, если обозначить важнейшие отрасли, которые определяют технический уровень развития:

- информатика, электроника и вычислительная техника;
- ракетно-космическая техника;
- атомная энергетика;
- транспорт и связь;
- охрана окружающей среды;
- медицинская техника.

Достижения в этих областях должны повышать благосостояние и охранять здоровье людей, удовлетворять их потребности и делать жизнь более полной. Кроме того, следует помнить, что прогресс техники осуществляется в результате развития свойств технических систем.

### 4.2.3 Методы прогнозирования

Прогнозирование в области создания новых ТО или новых конструкций существующих объектов приобретает все большую значимость в связи с частым изменением требований, предъявляемых к ТО, и охватывает широкий круг научных и технических направлений.

Одним из основных положений научного прогнозирования [12] является то, что утверждение о вероятности свершения события делают на основании анализа событий, которые уже свершились. В настоящее время в связи с необходимостью научно обоснованного предвидения развития техники, технологии получения новых материалов и многого другого интенсивно развивается инженерное прогнозирование.

Под **инженерным прогнозированием** понимают научно обоснованную информацию, отражающую в виде вероятностной категории потенциальные возможности развития техники. Вопросы экономики входят в содержание прогнозирования как составная часть. В то же время техническое прогнозирование создает базу для экономических прогнозов.

Эффективность инженерного прогнозирования перед началом проектирования технических объектов весьма значительна, и расходы на его выполнение вполне окупаются. Однако для этого необходимо преодолеть ряд сложностей, связанных с подготовкой исходной информации.

Во-первых, зачастую недостаточен объем исходной информации и отсутствуют количественные данные, по которым можно оценить возможные варианты ТР. Во-вторых, необходимо учитывать большое число параметров и связей между решениями даже в относительно простом проекте, в связи с чем невозможно или весьма затруднительно дать обобщенную оценку ТР по разным критериям.

Основу инженерного прогнозирования составляют три направления, определяющие

- значимость новых открытий и изобретений;
- цель и техническую стратегию;
- перспективный уровень развития технических решений изделий.

Первые два направления используют в основном для среднесрочного (до 5–10 лет) и долгосрочного (до 10–20 лет) прогнозирования, а последнее направление — преимущественно для краткосрочного прогнозирования (до 5 лет). В инженерном прогнозировании используют теоретические и экспериментальные средства анализа и синтеза. Оно опирается на информацию, содержащуюся в за-

конченных проектных и научно-исследовательских разработках, в патентах и авторских свидетельствах. В таблице 4.1 представлены временные периоды прогнозирования разных этапов работ по созданию технического объекта.

Таблица 4.1 — Этапы работ по созданию технического объекта и периоды прогнозирования

Прогнозы	Этапы работ	Вид прогноза
Сверхдолгосрочные (более 30 лет)	Поисковые	Научное предвидение
Долгосрочные (10–20 лет)	Планируемые НИР	Инженерное прогнозирование
Среднесрочные (5–10 лет)	Законченные НИР	
Краткосрочные (до 5 лет)	Патенты	
	Проектные разработки	
	Производство объекта	

На основе инженерного прогнозирования можно получить ответы на следующие вопросы:

- Какие направления займут лидирующее положение в технике?
- Каковы возможные пропорции внедрения в практику конкурирующих направлений?
- Какова вероятность использования техники?
- Какова предполагаемая экономическая эффективность реализации технических направлений?
- Когда можно ожидать внедрения в производство техники или целых направлений ее развития?

Разнообразие решаемых задач привело к разработке большого числа методов прогнозирования. Рассмотрим наиболее широко используемые в технике методы.

**Метод экстраполяции** основывается на переносе динамики событий и состояний, имевших место в недалеком прошлом, на будущее. Он широко применяется при краткосрочном прогнозировании, преимущественно в областях техники, где не предвидятся существенные качественные изменения в ее развитии. Это в основном события, развивающиеся эволюционным путем и достаточно медленно. Прогнозирование методом экстраполяции тесно связано с использованием выявленных законов и закономерностей развития

техники, рассмотренных в предыдущей главе. Методом экстраполяции можно решать задачи двух типов:

- 1) статические, в которых анализируют связи между главным параметром и другими без учета фактора времени;
- 2) динамические, в которых непременной составляющей уравнений является фактор времени.

При решении задач второго типа устанавливают изменения главного параметра в будущем. Исходной информацией для решения таких задач является *динамический ряд*, отражающий изменение главного параметра в функции времени.

Прогнозирование развития техники на базе динамических рядов состоит из следующих операций:

- а) приведение исходной информации к виду, приемлемому для предварительного анализа ряда;
- б) нахождение зависимости между главным параметром и фактором времени;
- в) проверка точности прогнозирования по главному параметру;
- г) корректирование результатов расчета в случае существенных расхождений.

**Метод экспертных оценок.** Экспертные методы прогнозирования основаны на обработке мнений специалистов. Опрос экспертов может проводиться в устной форме (интервью) или путем заполнения анкет. В качестве экспертов следует выбирать специалистов, признанных ведущими в данной области и имеющих некоторый опыт прогнозирования. Суть метода сводится к тому, что группе экспертов ставят ряд вопросов, касающихся развития данного технического направления или прогнозируемого объекта. Затем с помощью математической обработки результатов опроса устанавливают преобладающее мнение. Сложным при использовании этого метода, который носит субъективный характер, является установление принципов проведения опроса, оценка точности результатов и др. Этот метод целесообразно использовать в случае отсутствия достаточно систематизированной информации о прошлом или когда научно-техническое развитие в большей степени зависит от принимаемых решений, чем от самих технических возможностей.

**Метод моделирования** характеризуется тем, что анализ исходных данных ведут не на исследуемых объектах, а на их моделях, выполненных в соответствии с требованиями теории подобия. Этот метод базируется на целесообразном абстрагировании процессов развития событий в будущем.

При проектировании нового технического объекта разработчики анализируют, изобретают, принимают решения. Инженерный анализ проектной ситуации — одна из важнейших процедур поиска и обоснования нового технического решения. При выполнении этой процедуры часто прибегают к моделированию, в котором исследованию подвергают уже не сам проектируемый объект, а его модель.

Есть несколько формализованных определений, раскрывающих суть термина «модель». Приведем два из них.

**Моделью** называется техническая или знаковая система, искусственная конструкция, определенные свойства которой согласованы с основными свойствами оригинала и из поведения которой могут быть получены объективно верные выводы о поведении или некоторых качествах оригинала.

Л.Б. Чернов [22] предложил следующую формулировку: «Модель представляет собой реально существующий или мысленно представляемый объект, который, замещая в познавательных процессах оригинал, находится с ним в определенном отношении (подобии), вследствие чего изучение модели позволяет получить информацию об оригинале».

Модели подразделяются на физические, вещественно-математические, логико-математические, механические, фотооптические, аналоговые, цифровые, знаковые, а также на макеты. ГОСТ 15.101–98 определяет **макет** как упрощенное воспроизведение в определенном масштабе изделия или его части, на котором исследуются отдельные характеристики изделия, а также оценивается правильность принятых технических и художественных решений. **Знаковыми моделями** являются карты, формулы, рассматриваемые в качестве аналога какого-либо явления.

Иначе говоря, цветные плакаты, чертежи, макеты образцов, испытания в аэродинамической трубе, цифровые шкалы для отражения объективной оценки или субъективного мнения, математические модели теплопереноса и собственные описания проектантом «проблемы» или «решения» — все это модели некой реальности, которая подвергается исследованию и изменению, но при этом непосредственно не присутствует.

Моделирование сегодня — центральный этап исследования или проектирования любых систем, орудие прогнозирования и оптимального управления. От эффективности модели зависит не только результат, но и все аспекты анализа систем.

Рассмотрим наиболее часто используемые модели.

**1. Мысленные, или интуитивные модели.** Их реализует человек (эксперт, проектант), который на основе имеющихся знаний и опыта проводит мысленные эксперименты с техническим объектом с целью выявить его соответствие требованиям или выбрать из двух вариантов наилучший по определенному показателю качества. Например, глядя на чертежи двух различающихся по конструкции технических устройств, эксперт (он же проектант) может ответить на следующие вопросы:

- Выдержат ли они задаваемую нагрузку?
- У какой конструкции меньше трудоёмкость изготовления или расход материалов?
- Какой из вариантов лучше впишется в заданную зону размещения?

**2. Математические модели** позволяют оценить требования и критерии качества с помощью расчетных формул, систем уравнений, алгоритмов и т.п. Математическая модель в информационном отношении принципиально беднее объекта, поэтому для успешного использования она должна быть адекватна объекту в интересующей разработчика области изменения параметров. Кроме того, она должна быть экономичной. При математическом моделировании на компьютере статистическая оценка адекватности затруднена. В связи с этим предлагаются два показателя качества модели: погрешность как косвенная оценка адекватности и вычислительная сложность, определяемая объемом и трудоёмкостью вычислений с помощью модели, а также затратами на ее получение. Эти показатели, как и соответствующие свойства, противоречивы. Одним из способов разрешения противоречия является применение на разных этапах проектирования моделей, различных по точности и сложности.

При наличии мощных технических средств реализации теоретических исследований компьютеров и ЭВМ роль математического моделирования в работе современного проектанта становится весьма значительной.

**3. С помощью физических моделей** можно оценить требования и критерии качества путем реализации и испытания самого ТО или его уменьшенных (иногда увеличенных) и часто упрощенных образцов.

Еще до изготовления натурального дорогостоящего образца оборудования в целях проверки соответствия требованиям принято выполнять (на основе физических критериев подобия) его уменьшенную модель (но не менее чем в соотношении 1:10), чтобы испытать ее в разных условиях эксплуатации, в том числе и запредельных режимах. Например, так изучается динамика и характеристики установок, работающих в условиях обтекания их газовыми или гид-

равлическими потоками, самолетов, дирижаблей, кораблей, подводных лодок, торпед и т.д.

Анализ исходных данных производят на моделях, выполненных в соответствии с требованиями теории подобия, и при соблюдении физического подобия геометрическое не сохраняется. Метод базируется на целесообразном абстрагировании процессов развития событий в будущем.

**Натурное моделирование** — самый эффективный, но и самый дорогой метод физического моделирования. К его результатам следует относиться с определенной долей осторожности, потому что такое моделирование в конкретном месте и условиях не может отразить все факторы, которые проявлялись в других местах.

Перед лицом быстрого роста сложности абстрактных динамических моделей очень важно ясно осознавать заложенные в них ограничения. Для выявления границ применимости модели необходимо ответить на следующие вопросы:

- Какой конкретный опыт исследования реальной действительности использован в модели?
- Что она не отражает?
- Расширяет или сужает данная модель взгляд специалиста на реальную действительность или на самого себя?

В настоящее время выбор того или иного типа модели обуславливается требованиями точности, временными затратами и стоимостью моделирования. В таблице 4.2 приведена приближенная относительная оценка по этим показателям разных типов моделей, где в скобках отмечены отдельные отклонения. В этой же таблице в последней строке указаны наиболее часто используемые задачи.

Таблица 4.2 — Относительная оценка различных способов моделирования ТО

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

Однако существует большое число ТО, для которых математические модели не вытеснили и, очевидно, долго еще не смогут заменить мысленные и физические модели (например, при разработке реактивных двигателей). Это объясняется тремя причинами. Во-первых, существующие возможности математических моделей пока недостаточны для описания явлений и процессов в некоторых ТО. Во-вторых, для реализации подобных моделей требуются суперкомпьютеры с производительностью 200–400 ГТц, которые в настоящее время чрезвычайно дороги (такие компьютеры пока используются для моделирования атмосферных явлений при прогнозировании погоды или для углубления знаний о физических процессах, происходящих при ядерном взрыве). В-третьих, темпы возрастания сложности ТО опережают рост возможностей математических моделей.

В инженерной практике используют также различные комбинации указанных трех типов моделей. К примеру, аналоговое моделирование представляет собой комбинацию математического и физического моделирования. Его применяют, например, в тренажерах, предназначенных для обучения пилотированию будущих летчиков, космонавтов. Комбинируют также мысленные и математические модели, когда в методике (алгоритме) расчета используют предварительные или последующие экспертные оценки.

В процессе моделирования технического объекта проектант должен 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-трех альтернативных вариантов ТО лучше по принятому показателю качества?

Прогнозирование технических решений можно представить как часть научно-исследовательской работы, направленной на подбор и подготовку исходного материала, необходимого для разработки технического задания на проектирование.

Период упреждения и точность прогнозирования устанавливают исходя из цели и объекта. Период упреждения (когда производят прогнозирование) зависит от требуемой точности прогнозирования: чем больше период упреждения, тем меньше точность; при необходимости повысить точность прогнозирования уменьшается период упреждения.

В зависимости от периода упреждения устанавливают необходимый объем и содержание исходных данных об объекте прогнози-

рования: чем больше период упреждения, тем полнее должны быть исходные данные.

Прогнозирование ведут в такой последовательности:

- 1) разработка общей схемы прогнозирования;
- 2) установление комплекса прогнозируемых параметров;
- 3) определение требуемой точности прогнозирования;
- 4) установление продолжительности периода упреждения.

Процесс прогнозирования может иметь три составляющие, различающиеся точностью предсказания:

- 1) детерминированную, поддающуюся точному расчету;
- 2) вероятностную, позволяющую установить предполагаемую закономерность протекания процесса;
- 3) случайную, которая не поддается расчету.

**Научно детерминированное прогнозирование** характеризуется тем, что период упреждения может быть значительным и при этом точность прогнозирования не снижается. При **вероятностном прогнозировании** точность ниже. Использование при прогнозировании детерминированной и вероятностной частей позволяет сравнить прогнозированный процесс с действительным и установить влияние случайной составляющей. Соотношение между детерминированной, вероятностной и случайной составляющими зависит от уровня научного познания рассматриваемого процесса и может изменяться со временем. Научно-технический прогресс способствует увеличению влияния детерминированной части и снижению влияния других составляющих. Поэтому повышение значимости и точности вероятностной составляющей приводит к повышению общей точности прогнозирования.

Прогнозирование конструкций технических объектов включает рассмотрение следующих основных свойств моментов, факторов:

- 1) функциональное назначение;
- 2) основные технические и экономические параметры;
- 3) возможные компоновочные схемы;
- 4) новые материалы в виды заготовок;
- 5) новые технологические процессы, оборудование и технологическая оснастка;
- 6) новые формы и методы организации и управления производством;
- 7) потребность и предполагаемый план изготовления машин;
- 8) строительство нового или реконструкция действующего предприятия;
- 9) экономическая эффективность от использования нового технического решения.

Прогнозировать можно и отдельные параметры объекта, например массы. В ряде конструкций особое значение приобретает необходимость ограничения массы на ранних стадиях проектирования, для чего анализируют аналогичные конструкции и устанавливают математическую зависимость массы от основных параметров объекта. При этом следует учесть влияние на массу повышения конструктивной сложности отдельных сборочных единиц, а также коэффициента прогрессивного снижения массы конструкции совершенствованием методов расчета и конструирования, применением прогрессивных материалов, заготовок и т.д.

### 4.3 ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Любой технический объект с течением времени физически и морально устаревает и заменяется новым, более совершенным [10, 12, 13]. Так, металлорежущие станки, рассчитанные на работу с инструментом из быстрорежущих сталей, после внедрения металлокерамических резцов оказались в техническом отношении устаревшими, поскольку их мощность, скорость резания и прочность не обеспечивали достигнутых к этому времени эксплуатационных показателей инструмента, т.е. произошел не физический, а моральный износ станков.

Различают две формы **морального износа** технических объектов. Первая обуславливается удешевлением производства оборудования. У потребителя уменьшается сравнительная фондоотдача, т.е. величина отношения стоимости произведенных оборудованием работ к стоимости самого оборудования. Вторая форма морального износа оборудования связана с появлением другого, заменяющего его, с более высокими техническими показателями. В настоящее время на предприятиях с современным менеджментом все устойчивее проявляется тенденция по замене физически работоспособного и в ряде случаев еще достаточно нового, но морально устаревшего, громоздкого (а значит, и материалоемкого) оборудования со сложными пространственными кинематическими схемами, обеспечивающими взаимное синхронное движение заготовок, рабочего органа, инструмента, на прогрессивное — автоматизированное, высокопроизводительное и высокоточное, с использованием силовых приводов прямого действия, управляемых встроенным компьютером.

Это, разумеется, не означает, что с появлением новых моделей предыдущие всегда обесцениваются до такой степени, что их следует

сдать в металлолом, однако экономически целесообразный срок службы оборудования должен определяться и моральным старением.

С точки зрения морального износа любое оборудование имеет определенные **циклы жизни**. Весь цикл жизни технического объекта состоит из четырех крупных этапов: разработка, изготовление, использование по назначению (эксплуатация) и ликвидация (утилизация). Современными стандартами **ISO 9000** выделено девять этапов. Однако для наших целей достаточно рассмотреть четыре. Каждый из этих этапов содержит целый ряд стадий, операций и приемов.

Как для планирования разработки, так и для последующего использования важно знать в подробностях весь цикл жизни ТО и влияющие на него факторы. Еще сравнительно недавно разработчик (проектант) принимал непосредственное участие лишь в первой стадии жизненного цикла и сопровождал (отслеживал) вторую стадию — производство.

Сейчас разработчик обязан принимать участие (хотя бы как консультант) во всех стадиях жизненного цикла ТО, включая этапы эксплуатации и утилизации. Уже в проекте он должен предусмотреть, через какой период оборудование следует принудительно снять с эксплуатации; как, каким образом проводить его утилизацию, какие детали и узлы отправить в переплавку, какие — в переработку и на какие цели повторно использовать и т.д. Этап эксплуатации для проектанта важен с точки зрения отслеживания и управления качеством продукции. Следовательно, в конструкции необходимо предусмотреть возможность проведения диагностики состояния, не выводя оборудование из эксплуатации.

В сфере эксплуатации типичный цикл жизни объекта определяется разностью между величиной прибыли, образующейся у потребителя, и эксплуатационными затратами. С течением времени эта разность убывает, и с критического момента эксплуатация оборудования становится убыточной. При этом возрастание эксплуатационных затрат в основном обуславливается физическим износом оборудования, вызывающим необходимость ремонтно-восстановительных работ, замены изношенных частей, более частых регулировок и наладок. Чем выше качество изготовленного оборудования, тем медленнее растут эксплуатационные затраты. В случаях, когда оборудование используется в какой-либо отрасли промышленности впервые и в связи с этим конструкции еще не достигли достаточной степени зрелости и совершенства, критический момент наступает раньше.

В настоящее время периодический выпуск новых видов оборудования как гарантия процветания предприятия является общепри-

знанным. Поэтому требуется непрерывный активный поиск новых идей. Статистика показывает, что для создания одного объекта, пользующегося большим спросом и способного приносить прибыль, необходимо иметь 55–60 хороших идей, которые можно найти как внутри, так и вне предприятия.

«Внутренние» идеи рождаются в процессе совершенствования существующих изделий и создания новых, в процессе организационного творчества не только разработчиков объекта, но и торговых работников, производственников, лаборантов, среднего руководящего персонала и т.п., для чего существует система поощрения за поданные идеи и предложения.

«Внешние» идеи можно получить:

- 1) при изучении возможностей и последствий конкуренции;
- 2) при изучении деятельности и новой продукции фирм вне сферы действия рынка сбыта;
- 3) от существующих и потенциальных клиентов;
- 4) от изобретений и заявок на патенты;
- 5) от консультантов по поиску патентной информации;
- 6) при консультации научных работников и инженеров;
- 7) из университетов и частных лабораторий;
- 8) из технических, экономических и других специальных книг и журналов;
- 9) в ходе собраний профессиональных обществ и торговых ассоциаций;
- 10) из правительственных консультационных организаций.

Специальными исследованиями установлено, что в наше время обновление существующих видов оборудования происходит через 5–7 лет.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что называется моделью?
- 2 Какие виды моделей используются при проектировании?
- 3 Что подразумевается под мысленными моделями?
- 4 Что представляют собой математические модели, когда и при каких условиях они используются?
- 5 Что такое физическая модель, в каких случаях она используется?
- 6 Что такое комбинированные модели? Назовите области их применения.
- 7 Что такое жизненный цикл технического объекта?

Человек, который знает, как нужно делать, всегда будет иметь работу. Человек, который знает, почему это нужно делать, всегда будет его начальником.

Ральф Уолдо Эмерсон

## 5 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 5.1 МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### 5.1.1 Определение и виды потребностей, постановка задачи

Понятие потребности требует определения, поскольку она является причиной любой человеческой деятельности, а следовательно, и проектирования и изготовления изделия. Согласно принципу детерминизма, требования к свойствам и качеству изделия должны быть обусловлены потребностью, которая представляет собой ощущаемое или осознаваемое «напряжение», «неудовлетворенность», отражение несоответствия между внутренним состоянием и внешними условиями деятельности индивида, выступающее источником (побудителем, стимулом) различных форм активности, направленной на снятие этого напряжения (удовлетворение потребности).

Исходное условие возникновения потребности — наличие некоего конфликта в начальном окружении (недостаток, излишек чего-либо или то и другое вместе). Это отражается в сознании человека, и возникает нужда устранить этот конфликт. Потребность не является непосредственным побудителем действий до тех пор, пока не достигнет того состояния напряжения, которое обычно называют интересом (в психологии — мотивом). Интерес всегда направлен, и на острие его — цель. Интересы формируются в условиях внешних ограничений, вызванных как особенностями данной социальной группы, так и рядом других факторов.

Потребности классифицируются:

- по источнику возникновения: личные, общественные, государственные;
- средству удовлетворения: технические, организационные, юридические, образовательные и др.;
- области деятельности: культурные, экологические, социальные, производственные, духовные, научные и др.

Процесс проектирования начинается с формирования потребности. Реализация потребности, в каком-либо отношении полезной обществу, требует творческого мышления. При этом необходимо заставлять работать воображение и, непрерывно следя за обстановкой, искать новые идеи. Если разработчик «настроен» на определение потребности в ситуации, которая не является идеальной, и он принимает решение изменить положение, то генерирование идей происходит автоматически. В таком состоянии следует проводить предварительный отбор идей (выбрать наилучшую), прежде чем переходить к следующему этапу. Далее необходимо ответить на вопросы: соответствует ли идея критериям фирмы, имеет ли она шансы на успех и можно ли ее реализовать при существующем развитии техники за приемлемый промежуток времени. Если ответы утвердительны, то потребность (идея) существует и можно переходить к следующему логическому этапу.

*Инженерное проектирование* — это непрерывный процесс, в котором научная и техническая информация используется для создания новой системы, нового устройства или процесса, приносящих человеку, предприятию, обществу, государству определенную пользу.

Согласно ГОСТ 34.003–90 под проектированием понимается процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще несуществующего объекта. Следовательно, проектирование — это процесс создания модели оптимального качества несуществующего объекта.

В дополнение к изложенному выше определению приведем некоторые формулировки процесса проектирования, появившиеся за рубежом в XX веке: «отыскание существенных компонентов какой-либо физической структуры»; «моделирование предполагаемых действий до их осуществления, повторяемое до тех пор, пока не появится полная уверенность в конечном результате»; «использование научных принципов, технической информации и воображения для определения механической структуры машины или системы, предназначенной для выполнения заранее заданных функций с наибольшей экономичностью и эффективностью».

Может создаться впечатление, что имеется столько же различных процессов проектирования, сколько существует авторов, которые описывают эти процессы. Интересно и то, что ни разу не упоминается черчение (традиционное — на бумаге, пергаменте, кальке, миллиметровке или компьютерное), хотя эта операция неизбежно выполняется проектантами всех специальностей. Множественность мнений свидетельствует, что в зависимости от обстоятельств

характер процесса проектирования может меняться в очень широких пределах.

Главная трудность проектирования заключается в том, что разработчик должен на основании современных данных прогнозировать некоторое будущее состояние, которое возникнет только в том случае, если его прогнозы верны. Предположения о конечном результате проектирования приходится делать еще до того, как исследованы средства для его достижения. Проектант вынужден проследивать события в обратном порядке: от следствий к причинам, от ожидаемого влияния данной разработки на мир — к началу той цепочки событий, в результате которой и возникнет это влияние. Часто случается, что на одной из промежуточных ступеней обнаруживаются непредвиденные трудности или открываются новые, более благоприятные возможности. При этом характер исходной проблемы может коренным образом измениться, и разработчик будет отброшен на исходную позицию. Именно нестабильность самой задачи придает процессу проектирования такую сложность и делает его интересным.

Главной составляющей процесса разработки проектов новых технических объектов является творческое мышление, основанное на базе законов и категорий диалектики, законов логики и теории познания, а также использования достижений науки и техники.

Процесс творческого проектирования характеризуется следующими положениями:

1. Новые решения появляются в результате постепенного приближения к цели;
2. Решение сложной задачи обычно проходит путь от общих положений ко все более частным;
3. Нахождение правильных решений на основе известных положений должно базироваться на рассмотрении их в новом аспекте;
4. Традиционные решения, принимаемые в определенной ситуации, затрудняют нахождение новых в случае изменения ситуации;
5. Решения, эффективность которых уже была установлена, могут со временем устареть, если они не соответствуют новым ситуациям.

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

- 1) не выходил за пределы возможностей поставщиков, изготовителей, системы сбыта и т.д. ни на одном из этапов существования изделия;
- 2) был связан с тем, что ему предшествует, и с тем, что за ним следует.

## 5.1.2 Этапы проектирования

Неотъемлемым требованием при разработке технического объекта независимо от используемого метода, концепции или стратегии проектирования является соблюдение стандартов, т.е. формализация процесса. Формализация ряда процедур позволяет успешно участвовать в проектировании, изготовлении и эксплуатации технических объектов различными организациями и предприятиями различных стран. Она отражает достижения науки, техники, передовую технологию и накопленный позитивный опыт прошлых лет.

Стандарты распространяются не только на изделия, оборудование и их составляющие части, но и на техническую документацию, в том числе разрабатываемую в процессе проектирования.

**Техническое задание (ТЗ)** на проектирование — первый и весьма важный технический документ для проектирования технического объекта с подготовкой соответствующей документации. Он является обязательным и готовится всегда независимо от дальнейшей стадии работы над проектом.

Основное назначение технического задания — определить цели проектирования, обосновать направление поиска.

В ТЗ включают: перечень и значения прогнозируемых параметров с отражением уровня стандартизации и унификации; параметров, характеризующих научно-технический уровень (патентную чистоту) и качество изделия (ТО) с учетом полного удовлетворения целевого назначения; стоимость разработки.

Техническое задание в общем случае состоит из следующих основных разделов:

- наименование и область применения;
- основание для разработки;
- цель, назначение и источник разработки;
- технические требования;
- условия эксплуатации;
- экономические показатели;
- стадии и этапы разработки;
- порядок контроля и приемки;
- приложения.

Составляется этот документ заказчиком на основе результатов выполненных научно-исследовательских и экспериментальных работ, научного прогнозирования, анализа передовых достижений отечественной и зарубежной промышленности.

В ТЗ заказчик должен перечислить все основные данные, определяющие разработку технического объекта и обеспечивающие достижение поставленной цели. Важно иметь в виду, что формулировка, задания должна представлять собой не свод правил для разработчика, а скорее памятку, помогающую направить усилия на достижение поставленной цели. Поскольку на этом этапе проектант должен творчески мыслить, охватывая все этапы работы над объектом, то он может подвергнуть сомнению поставленную цель, пересмотреть ее или даже отказаться от проекта.

Для предварительной оценки возможности реализации требований технического задания вводится этап разработки технического предложения.

**Техническое предложение (ТП)** должно содержать указания и обоснования по принципиальному устройству объекта, целесообразности использования в его конструкции тех или иных технических решений, а также сравнительную оценку вариантов этих решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей. В техническом предложении должны быть приведены сведения по технико-экономической оценке принятых решений, их надежности, необходимости полной или частичной экспериментальной проверки и т.д., а также объем и стадийность разработки проекта.

Состав технической документации на стадии **эскизного проекта (ЭП)**:

- 1) чертеж общего вида объекта;
- 2) габаритный чертеж объекта;
- 3) теоретический чертеж объекта;
- 4) общие виды основных узлов;
- 5) пояснительная записка, имеющая следующие разделы:
  - выбор и обоснование предлагаемого технического решения;
  - техническая характеристика объекта (назначение, габариты, масса, потребляемая мощность, производительность, режим работы и т.д.);
  - описание конструкции объекта с указанием его особенностей;
  - расчет технико-экономических показателей работы объекта и сравнение с самыми высокими показателями, достигнутыми на сегодняшний день;
  - результаты экспериментальных исследований, рекомендованных в ТП;
- 6) расчеты (кинематические; динамические, прочностные);
- 7) ведомость эскизного проекта.

Как правило, в состав ЭП также входят схемы (кинематическая, гидравлическая, электрическая и др.), ведомость покупных изделий,

ведомость согласования применения покупных изделий, программы и методики испытаний, расчеты, таблицы, патентный формуляр, карта технического уровня и качества продукции.

В состав эскизного проекта может входить также конструкторская документация макетов отдельных частей конструкции объекта для проверки принципов их работы, утвержденных в техническом предложении.

При эскизном проектировании, в отличие от этапа ТП, расчеты выполняются по более точным данным и методикам. Если расчеты подтверждают экономический эффект, определенный на стадии разработки ТП, то принимается решение о продолжении разработки. В противном случае нужно внести изменения.

При выполнении ЭП совместно работают проектанты, технологи, материаловеды, специалисты по стандартизации и унификации, расчетчики, снабженцы, производственники, дизайнеры, экономисты. Так, инженер-технолог совместно с разработчиком проекта проводит отработку конструкции на технологичность, что подразумевает:

- окончательный выбор рациональной конструктивной схемы;
- принципиальную оценку технологичности основных составных частей;
- выявление составных частей, которые могут быть стандартными или унифицированными;
- обнаружение составных частей, которые могут быть позаимствованы;
- определение условий сборки изделия и составных частей;
- установление номенклатуры используемых конструкционных материалов;
- выявление условий технического обслуживания изделия;
- проверку условий контроля, регулировки и подготовки изделия к функционированию.

Расчет показателей технологичности производится на основе базовых данных, установленных в техническом задании.

На стадии выполнения ЭП продолжают работы по выявлению патентоспособных решений, которые могут возникнуть в ходе компоновки объекта. Оформляются заявки на изобретение как по устройству, так и промышленному образцу. Определяются страны или фирмы — потребители объекта, разрабатываются предложения о патентовании изобретений за границей.

Решаются задачи выбора принципиальных конструктивных решений, дающих общее представление об устройстве и принципе работы изделия. На этом этапе выполняется предварительный расчет функциональных параметров и показателей качества разрабаты-

ваемого изделия. Признаками нормального формирования качества изделий на этапе выполнения ЭП являются:

- правильный выбор конструктивных решений, зависящий от качественного расчета, удачных компоновок и выбора материала, обоснованного назначения допусков, конструкции кинематических узлов, достаточной жесткости конструкции, учета требований технологии;
- верный выбор решений технологического характера, зависящий от технологичности деталей и самого изделия, точности обработки, методов контроля и вида соединения (сварка, пайка, механическое крепление);
- отсутствие ошибок производственного характера из-за применения некачественного сырья, материалов и комплектующих изделий, использования оборудования, станков, инструмента, не соответствующих технологическим требованиям, отступления от технологических режимов, нарушения правил контроля и приемки;
- недопущение ошибок, вызванных неправильной эксплуатацией, применением несоответствующих топлив, смазок и других эксплуатационных материалов, нарушением правил технического обслуживания, условий и режимов эксплуатации.

При разработке ЭП для выбора вариантов ТР и общей конструкции объекта применяют методы инверсии, аналогии, конструктивной преемственности. Особо выделяют требования к соблюдению показателей качества, технической эстетике, увеличению рентабельности объекта и повышению экономического эффекта в течение всего периода работы.

Невыполнение эскизного проекта может привести к выбору неоптимальных параметров объекта.

После согласования и утверждения эскизного проекта выполняется завершающая процедура проектирования — **технический проект (ТП)**.

В отличие от предыдущей, на стадии технического проекта все конструктивные решения должны разрабатываться полностью. При этом техническая документация должна давать не общее, а полное и окончательное представление об устройстве объекта, включая все необходимые данные для разработки рабочей документации и гарантийной прочности основных элементов конструкции при указанных в проекте размерах и сечениях деталей.

Проводится всесторонняя теоретическая и экспериментальная проработка схемных и конструктивных решений разрабатываемого технического объекта на макетах или специальных установках.

Технический проект должен содержать расчетное подтверждение соответствия отдельных функциональных параметров и показателей качества заданным требованиям. После выбора элементов и определения режимов их использования проводится оптимизация показателей качества изделия.

Технологи, участвуя в создании технического проекта, отработывают конструкцию на технологичность, добиваясь наилучших значений ее показателей.

На этапе технического проектирования должны решаться также вопросы обеспечения ремонтпригодности и контроля пригодности, являющиеся составляющими технологичности. При отработке технического объекта на ремонтпригодность необходимо обращать внимание на следующие требования:

- простота и удобство разборки и сборки; доступ к часто заменяемым деталям и узлам;
- степень применения унифицированных деталей и узлов;
- наличие маркировки элементов.

Инженерно-психологической и художественной проработкой объекта определяются: окончательная компоновка и конструкция рабочих мест; средства обеспечения условий обитаемости; конкретные задачи и функции, выполняемые оператором; техническая форма объекта и его составных частей.

На основании патентных исследований устанавливается возможность использования технических решений, защищенных патентами, проверяются на патентоспособность вновь создаваемые конструкции, оформляются заявки на изобретения.

В состав технической документации на стадии технического проекта входят:

- 1) эскизный чертеж;
- 2) габаритный чертеж;
- 3) чертеж общего вида объекта;
- 4) чертежи общих видов узлов объекта;
- 5) кинематические, электрические, гидравлические и другие схемы;
- 6) сборочный чертеж объекта;
- 7) пояснительная записка, включающая разделы:
  - назначение и область применения разработанного объекта;
  - обзор существующих образцов объектов подобного назначения отечественного и зарубежного производства (прототипов) и сравнительная оценка их конструктивных особенностей и эксплуатационных показателей;
  - краткое описание конструктивных особенностей нового объекта;

- решение вопросов техники безопасности и производственной санитарии;
  - результаты экспериментальных исследований, рекомендованных в ЭП;
  - решение вопросов технологичности с точки зрения производственных условий завода-изготовителя;
  - расчеты масштаба производства новых объектов и эффекта от внедрения их у потребителей;
- 8) расчетная записка, включающая подробные кинематические, динамические, прочностные и другие расчеты;
- 9) перечень комплектующих изделий;
- 10) ведомость технического проекта.

Как правило, в состав ТП также входят:

- перечень специального инструмента и запасных частей;
- ведомость покупных изделий;
- ведомость согласования применения покупных изделий;
- технические условия, программа и методика испытаний;
- патентный формуляр;
- карта технического уровня и качества продукции.

По окончании выполнения этапа ТП составляется заключение о качестве технического объекта.

В рабочем проекте осуществляется детализация документации путем разработки чертежей на каждый элемент технического объекта. **Рабочая документация (РД)** является основной продукцией проектной организации. Состав рабочего проекта и рабочей документации определен Единой системой конструкторской документации (ЕСКД).

В состав документации на стадии рабочего проекта входят:

- 1) чертежи общих видов;
- 2) чертежи узлов и деталей;
- 3) спецификация деталей;
- 4) кинематическая, электрическая схемы, циклограммы и др.;
- 5) пояснительная записка с технической характеристикой и поверочными расчетами узлов и деталей;
- 6) проект технических условий на изготовление, приемку, упаковку и транспортировку (при необходимости включая чертежи тары, размещения и закрепления на железнодорожном подвижном составе);
- 7) ведомости ориентировочных норм расхода материалов, стандартных и нормализованных деталей и узлов, покупных деталей и изделий, применения посадочных размеров, моделей и т.д.;

- 8) технический паспорт и инструкция по эксплуатации, уходу и монтажу (с пояснительными схемами и чертежами);
- 9) ведомости согласования комплектующих изделий;
- 10) проект программы испытаний.

Вначале проводится разработка конструкторской документации опытного образца (опытной партии), изготовление, испытание опытных образцов, затем — корректировка конструкторских документов по результатам испытаний. Специалисты по качеству и надежности обращают внимание на реализацию всех рекомендаций, разработанных на предыдущих этапах. При необходимости определяются режимы и продолжительность технологической приработки, направленной на выявление ранних отказов. В зависимости от специфики изделия на данном этапе проводятся испытания на надежность. На основании подробного анализа результатов испытаний производится корректировка конструкторской документации, улучшающая качество проекта, и принимается решение о сдаче проекта государственной комиссии.

При формальном сопоставлении эскизной, технической и рабочей документации создается видимость ненужного повторения на последующих стадиях некоторых документов, разработанных на ранних стадиях. Однако такое повторение оправдывает себя, так как чертеж общего вида объекта на различных стадиях проектирования разрабатывается с нарастающей степенью технических подробностей. Аналогично обстоит дело и с другими повторяющимися на последующих стадиях техническими документами.

## 5.2 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ САПР

В настоящее время чрезвычайно возросли сложность и комплексность проблем, требующих решения в процессе проектирования. Создание машин качественно нового уровня предполагает использование важнейших достижений фундаментальных наук, конструирования и технологии, повышенную защиту обслуживающего персонала от вибрации и шума, учет современных экономических, социальных и экологических проблем. Задача повышения качества машин решается на стадии проектирования, когда можно всесторонне проанализировать конструктивные варианты с учетом большого числа требований. Так, каждая машина должна, по возможности, иметь минимальную массу и достаточную надежность, высо-

кую быстроходность и минимальную динамическую загруженность, низкую стоимость и большой срок службы и др. [23].

При конструировании необходимо выбрать ее оптимальные параметры (структурные, кинематические, динамические, эксплуатационные), наилучшим образом соответствующие предъявляемым требованиям. При этом следует учитывать конкретные условия применения машины. Нельзя, например, произвольно увеличить ее производительность, не учитывая производительности смежного оборудования. В некоторых случаях машины с повышенной производительностью могут оказаться при эксплуатации недогруженными и будут больше простаивать, чем работать. Это снижает степень их использования и уменьшает экономическую эффективность.

Схему машины выбирают путем параллельного анализа нескольких вариантов, оценивая их конструктивную целесообразность, совершенство кинематической и силовой схем, стоимость изготовления, энергоёмкость, надежность, габаритные размеры, металлоёмкость и массу, технологичность, степень агрегатности, удобство обслуживания, сборки-разборки, осмотра, наладки, регулирования.

Не существует машины или конструкции, оптимальной по всем критериям одновременно. Поэтому расчеты производят для каждого критерия, строят таблицы результатов расчетов и используют их для обоснования выбора оптимального решения.

Зная возможности конструкции по всем критериям, проектировщик совместно с заказчиком может обоснованно назначить на каждый из них ограничения, которые, с одной стороны, были бы практически достижимы, а с другой — удовлетворяли требованиям заказчика. Далее путем расчета выявляют конструкции, удовлетворяющие всем ограничениям одновременно.

Такие конструкции и составляют допустимое множество решений, из которого конструктор совместно с заказчиком выбирает оптимальную модель. Если таких конструкций не оказалось, то ограничения могут быть ослаблены.

Из вышеизложенного следует, что развитие техники сопровождается усложнением всех систем машин и технологического оборудования. Возрастает трудоёмкость их создания при одновременном повышении требований к качеству и эффективности конструкции, что находится в противоречии с необходимостью сокращения сроков ее разработки и промышленного освоения. Ликвидация указанного противоречия наиболее полно реализуется при широком внедрении в проектирование вычислительной техники. Основное на-

правление при этом — создание систем автоматизированного проектирования (САПР).

Целями создания САПР как организационно-технической (человеко-машинной) системы являются:

- 1) повышение качества проектирования вследствие увеличения количества анализируемых конструкторских решений и более детального анализа каждого из них;
- 2) сокращение срока разработки конструкции за счет автоматизации выполнения чертежных работ и расчетов, обработки исходной и полученной информации;
- 3) уменьшение стоимости проектных работ путем сокращения их части, выполняемой без использования ЭВМ.

Эти цели достигаются применением совершенных математических методов и вычислительной техники, разработкой эффективных математических моделей, методов многовариантного проектирования и оптимизации, автоматизацией проведения расчетов и оформления графической документации.

Таким образом, использование САПР дает проектировщику реальную возможность обосновать постановку задачи многокритериальной оптимизации. Использование САПР предполагает активное участие человека в анализе вариантов, оптимизации и принятии решений. Такой творческий подход характерен и для учебного проектирования приводов технологических машин, так как все задачи в нем многокритериальные и содержат множество управляемых параметров.

Оптимальное проектирование предполагает создание технического объекта, не только выполняющего заданные функции, но и отвечающие некоторым заранее установленным критериям качества.

Самый низкий уровень оптимального проектирования предполагает нахождение лучшего варианта конструкции, основанное на подборе нескольких выполненных без использования вычислительной техники математических моделей и соответствующих методов оптимизации вариантов. Например, при проектировании редуктора для двух-трех вариантов разбивки общего передаточного числа между отдельными ступенями можно выполнить проекторные расчеты, для каждого варианта оценить какой-либо критерий качества (масса, размеры и т.д.) и затем окончательно выбрать наиболее подходящий вариант исполнения редуктора.

При более высоком уровне задачи оптимального проектирования, сформулированные в виде математических моделей, решаются с применением соответствующих математических методов оптимиза-

ции и на базе ЭВМ. К высшему уровню относятся задачи оптимального проектирования, решаемые в рамках САПР.

В САПР задачи оптимизации могут решаться на всех этапах процесса проектирования. Так, на этапе эскизной проработки задача оптимального проектирования может состоять в определении рациональных значений необходимого числа основных параметров проекта, определяющих будущий облик технического объекта. На этапах технического и рабочего проектирования задачи оптимизации могут носить более глубокий характер, охватывающий вопросы определения оптимальных значений основных параметров как объекта в целом, так и отдельных узлов и деталей.

В процессе разработки САПР проблема оптимального проектирования заключается в решении следующих основных задач:

- определение этапов процесса автоматизированного проектирования, сопровождаемых решением тех или иных задач оптимизации;
- построение математических моделей оптимизации и разработка машинных алгоритмов;
- создание или заимствование программного обеспечения для решения задач оптимизации;
- разработка системы диалогового формирования и просмотра вариантов объекта проектирования с определением значений тех или иных показателей качества, а также формирования математических моделей и управления процессом решения соответствующих задач.

Совершенствование конструкции при проектировании обеспечивается ее оптимизацией по одному или нескольким критериям. Для различных механизмов критериями эффективности конструкции могут быть приняты: высокая надежность, минимальное межосевое расстояние или масса, габаритные размеры, стоимость, наибольший КПД, высокая точность и т.д.

При структурной оптимизации можно анализировать различные типы редукторов, например многоступенчатый цилиндрический, планетарный, волновой, комбинированный. Исходные данные при проектировании механизмов в соответствии с техническим заданием могут включать в себя следующие характеристики: мощность, скорость, ресурс, режим работы, циклограмма нагружения и т.д.

При параметрической оптимизации, например, зубчатых приводов управляющими параметрами могут быть: распределение передаточных чисел по ступеням, числа зубьев, относительная ширина и материал колес, геометрия зацепления, частота вращения двигателя и др.

Ограничения разделяют:

- на кинематические (по передаточному числу одной пары, предельным окружным скоростям);
- прочностные (по условиям контактной и прочности на изгиб зубчатых колес);
- конструктивные (по габаритным размерам, условию регулирования элементов, их взаимодействию и соединению).

При оптимизации по одному критерию задача решается наиболее просто. Например, решение можно получить перебором различных вариантов конструкции и выбором наилучшего.

Решение многокритериальных задач более сложное. Многокритериальная оптимизация используется, когда одного критерия для оценки качества недостаточно. Например, когда стоит задача обеспечения максимальной надежности и минимальной массы при проектировании редуктора или обеспечения максимальной грузоподъемности и минимальных размеров при проектировании транспортной машины.

В строгой математической постановке выбор оптимальных параметров машины не простая задача. Например, варьирование всего шести параметров (при 5 % точности расчета) приводит к поиску во всем множестве решений из  $(1/0,05)^6 = 64000000$  вариантов. В условиях развития САПР формализация процесса автоматизированного поиска технических решений и оптимизация параметров технических объектов сельскохозяйственного профиля вызывает значительные трудности и требует применение специальных эвристических методов принятия решений, численных методов оптимизации и больших ресурсов по времени и мощности ЭВМ.

При проектировании приводов машин в силу технической целесообразности используются в основном два критерия: масса и объем. Массогабаритные характеристики в значительной степени зависят от выбора материала и термообработки. Недостаточность на начальном этапе исходной информации предопределяет проведение как проектировочных, так и проверочных расчетов. При поисковом расчете сначала задают некоторые исходные параметры, а затем рядом последовательных приближений их уточняют. Механические приводы машин представляют собой совокупность подсистем передач, валов, опор, связанных слабыми связями. Это дает возможность выполнить их комплексный расчет и анализ по частям, т.е. по элементам.

Из изложенного следует, что проектирование — многовариантно. Оптимальным в общем случае следует считать вариант, который обеспечивает нужные показатели работы при минимальных затратах общественного труда.

### 5.3 ЭТАПЫ ТВОРЧЕСКОГО ПРОЦЕССА. ПРЕПЯТСТВИЯ К ТВОРЧЕСТВУ

Независимо от уровня проявляемого на данный момент таланта каждый будущий инженер должен и может развивать имеющиеся у него творческие задатки. Для этого необходимо, по крайней мере, понять, что же представляет собой творческий процесс.

Творческие идеи чаще появляются у людей, обладающих большой любознательностью, которая свойственна детям, однако угасает в людях зрелого возраста. Творчество начинается с внимания к деталям, которые обычно игнорируются. Многие убеждены, что только последовательный упорядоченный процесс обеспечивает творческое решение проблемы, создание нового устройства или оригинальной идеи. Следует иметь в виду, что не существует какой-либо формулы творчества. То, что подходит в одном случае, может не быть неприменимо в другом. Хотя процесс творчества далее рассматривается в определенном порядке, творческие идеи могут быть получены и в том случае, когда он содержит не все перечисленные этапы или протекает в другой, более предпочтительной последовательности. Важно, чтобы будущий проектант сформировал верное представление о творческой стороне умственной деятельности.

**Этап 1. Беспокойство и осознание задачи.** Часто творчество начинается с того, что в определенной ситуации человек сталкивается с чем-то, вызывающим у него раздражение или беспокойство. Такая ситуация ставит перед ним определенную проблему, заставляет приняться за ее решение и предпринять некоторые шаги.

**Этап 2. Подготовка.** Подготовительный этап представляет собой период сознательной и направленной умственной деятельности и требует самой высокой дисциплины ума. На этом этапе очень подробно исследуются все возможные решения и различные сочетания, способные дать удовлетворительный результат. Довольно часто проблема может быть решена уже на стадии подготовки. Если же решение, удовлетворяющее проектанта, получено не будет, то он ознакомится с задачей в самых мельчайших подробностях.

**Этап 3. Вынашивание идеи.** Теперь ум уже полностью насыщен всеми возможными вариантами, но еще не способен выдать творческую идею и продолжает терзаться поиском решения, даже если необходимо отказаться от этой задачи и перейти к выполнению другой. Этот период характеризуется началом непроизвольной мыслительной работы над решением задачи. Проблеме дают воз-

можность созревать в течение определенного времени, пока мозг подсознательно проверяет различные «забытые» комбинации.

**Этап 4. Озарение** происходит, когда творческая идея или оригинальное решение приходит мгновенно, обычно в период отдыха или во время выполнения другой работы, совершенно не связанной с решением данной задачи. Некоторые считают, что можно глубже проникнуть в сущность идеи, когда мозг не работает.

**Этап 5. Проверка.** Найдена творческая идея. Теперь необходимо ее оценить и определить, действительно ли она является решением задачи. Для такой оценки необходимы данные, подтверждающие, что полученная идея действительно является ценной: в этом можно убедиться путем анализа, с помощью эксперимента, а иногда — прибегнуть к мнению признанных авторитетов. Проверка часто требует большого напряжения. Это последний и наиболее важный этап творческого процесса.

Учеными установлено, что творческая мысль не рождает абсолютно новую идею. Нельзя создать что-то такое, чего еще не существовало бы. Творчески мыслящий человек фактически рождает новые, еще не испытанные комбинации идей, уже существующих в его голове. Мозг — это бездонная кладовая идей, куда ежедневно добавляется множество других. Активный и любознательный ум накапливает гораздо больше идей, чем пассивный, и поэтому он может создать гораздо больше новых комбинаций.

Наряду с применением методов генерирования идей и стимулирования творческого процесса необходимо устранить многие обычные препятствия, мешающие творческому подходу к проектированию. Эти препятствия могут быть как личного, так и организационного порядка. Причем оба эти класса часто выступают совместно. Задача приводимой здесь классификации — объяснить некоторые опасности и показать, каким образом конструкторское бюро, предприятие, фирма может создать творческую обстановку для своих сотрудников. Некоторые препятствия кратко характеризуются ниже. Приведем и примеры их преодоления.

Препятствиями личного порядка могут быть:

- 1) отсутствие гибкости. Знакомство с определенными предметами или концепциями порождает некоторые неизменные представления относительно их функции, чем ограничивается их ценность;
- 2) сила привычки. Здесь имеется в виду использование прежнего образа мыслей, а также известных методов и приемов для перехода к новым проблемам. Установившийся подход к решению

- проблем часто приводит к тому, что новые проблемы решаются старыми методами;
- 3) узкопрактический подход. Прямолинейный подход характеризуется тем, что вместо всестороннего обдумывания проблемы мы сразу же переходим к фактам и тем самым слишком быстро беремся за ее непосредственное решение. Преждевременный упор на детали губит всякую возможность творчества;
  - 4) чрезмерная специализация. Специализация может настолько ограничивать кругозор, что технические познания инженера и его понимание реального мира будут неглубокими и помешают поиску идей, лежащих на стыке различных дисциплин. Никогда не отказывайтесь от идей, которые находятся за пределами вашей дисциплины. Старайтесь как можно больше расширять свои познания в различных областях: психологии, искусстве, экономике;
  - 5) влияние авторитетов. Часто инженеры и студенты в такой степени находятся под влиянием суждений и методов признанных авторитетов, что безоговорочно признают их ведущую роль и не могут выработать в себе качеств, необходимых руководителю. Чем быстрее человек убеждается в том, что его окружают такие же люди, как он сам, тем больше он способен к творчеству. Новые идеи не нуждаются в поддержке авторитетов, поскольку являются оригинальными и могут возникать лишь в результате самовыражения;
  - 6) боязнь критики. Люди с исключительными творческими способностями рожают необычные идеи. Чем ярче эти способности, тем необычнее идеи. Если проектанта постоянно занимает вопрос, приемлемы ли его находки для других, то это может лишь подавить в нем творческое начало.

Резкая критика хороших идей — это самый верный способ погубить их. Более 80 % из всех впоследствии использованных нововведений специалисты отрицают в момент их появления как «противоречащие установленным законам» и потому «нереальные».

Препятствиями организационного порядка являются:

- 1) стремление к немедленному использованию идей: нажим с целью ускоренного изготовления продукции обычно приводит к спешке, так как необходимо уложиться в непомерно сжатые сроки, установленные руководством;
- 2) недоверие к оригинальному решению: стремление руководства указывать творчески мыслящим инженерам, что и как делать;
- 3) строго иерархическая организационная структура, нежелание руководства возлагать ответственность на подчиненных;

- 4) отсутствие долгосрочных целей;
- 5) разногласия внутри руководства относительно основных целей;
- 6) неудача эксперимента;
- 7) частое изменение основных решений;
- 8) отсутствие эффективной системы контактов между инженерами и руководителями фирмы;
- 9) горизонтальный, а не вертикальный поток новых идей;
- 10) неумение руководства предприятия выявлять и поощрять творческие способности;
- 11) отрицательное отношение руководства предприятия ко всем новым идеям;
- 12) нежелание руководителей предприятия рисковать;
- 13) неправильное использование или неправильное распределение кредитов;
- 14) удовлетворенность существующим положением, стремление придерживаться заведенного порядка или следовать установившейся практике;
- 15) отказ в приеме на работу творчески мыслящим инженерам по той причине, что их не устраивает «структура организации».

#### 5.4 ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Знакомство с методами проектирования в различных КБ показало, что в настоящее время в большинстве из них используются исключительно традиционные методы, независимо от того, выполняются чертежи в определенном масштабе на бумаге с помощью кульмана или на плоттере с помощью компьютера.

Под традиционными методами подразумеваются выработанные в течение длительного времени многими поколениями проектантов наиболее часто применяемые определенные совокупности приемов и способов создания проектов технического объекта. Для традиционных методов характерно эмпирическое накопление знаний в области проектирования. Причем процесс накопления знаний является в значительной степени неосознанным и крайне длительным; поиск технических решений в подавляющем большинстве случаев базируется на интуиции проектанта.

Основным критерием оценки различных вариантов конструкции служит геометрическая увязка деталей, которую можно определить по чертежу. Чтобы решить, какая конструкция окажется работоспособной, а какая нет, что можно изготовить, а что нельзя, проектанту

приходится полагаться в основном на свою память и воображение. При этом обучение молодого инженера обнаружению недостатков в своей работе проводится не на реальном рынке сбыта и не в реальном производственном процессе, а на основании оценок его руководителя — главного или ведущего конструктора.

Отметим следующее: над чертежом одновременно может работать только один человек, и все ситуации, которым должно удовлетворять техническое решение, ему приходится держать в голове. Из-за этого на ранних стадиях проектирования работу ведет всего один человек, чаще всего главный (ведущий) специалист. Только после того как ему удалось сформулировать критические проблемы данной задачи и найти удовлетворительные их решения, можно распределить работу между несколькими исполнителями.

Традиционные методы решения сложных задач ориентированы на непосредственное наблюдение объектов проектирования с учетом их специфики. При этом полагают, что исследуемый объект можно выделить, ограничить от окружающей среды, т.е. его можно изучать изолированно.

К традиционным методам можно отнести: методы проб и ошибок, случайного поиска, адаптивного поиска и др. Рассмотрим некоторые более подробно.

#### **5.4.1 Метод проб и ошибок**

Основным традиционным методом, которым пользуются проектировщики в процессе получения технических решений, является метод проб и ошибок. Суть этого метода заключается в том, что на первом этапе формулируется исходное предложение (гипотеза) по разрабатываемому техническому решению в виде его схемы или эскиза. Проектировщик лишь интуитивно предполагает, что данный вариант окажется работоспособным. На втором этапе проверяется (например, с помощью моделирования или экспериментальных исследований) качество предложенного варианта. Обычно после первой попытки не удается получить требуемое проектное решение, тогда формулируется второе предложение, которое учитывает ошибки, допущенные в первом предложении, и снова выполняется проверка работоспособности конструкции и т.д.

Метод проб и ошибок часто используется следующим образом: принимают какое-либо значение неизвестного конструктивного параметра, а затем в результате вычисления других конструктивных

параметров оценивают приемлемость значения первого. Эту процедуру повторяют до тех пор, пока не будет найдена совокупность значений конструктивных параметров, соответствующих ограничениям на параметры и качественным показателям конструкции.

Основой для формирования проектных гипотез обычно служит базовая модель, т.е. действующий образец конструкции машины или отдельного узла. При разработке нового конструктивного образца, отвечающего требованиям ТЗ, используются данные по результатам эксплуатации и испытаний базовой модели. Степень переработки узлов определяется отличием технических требований к параметрам машины или устройства от требований к параметрам действующего образца изменением условий эксплуатации, введением новых конструктивных и технологических решений. Переработке подвергаются те узлы или детали, которые сдерживают повышение качества проектируемой машины или устройства до требуемого уровня. Число вариантов конструкции значительно сокращается при наличии унифицированных узлов и деталей.

Эффективность использования метода проб и ошибок в основном определяется интуицией и опытом проектировщика.

#### **5.4.2 Метод адаптивного поиска**

Надежным вариантом адаптивного поиска является стратегия приращений. Эта осторожная стратегия составляет основу традиционного проектирования. Кроме того, на ней основаны многие методы автоматической оптимизации. При поиске методом приращений имеется риск пропустить хорошие решения, когда приращения слишком велики, и не охватить всего поля поиска, когда они слишком малы.

#### **5.4.3 Метод случайного поиска**

Используется в новаторском проектировании, когда неразумно пренебрегать ни одним из внесенных предложений, пока не будет собрана дополнительная информация. Интересно отметить, что в большинстве попыток создания «машинного интеллекта» важная роль отводится «генератору случайных чисел». Обратная сторона применения метода случайного поиска состоит в том, что если выбор идей осуществляется под влиянием настроения, интуиции или

эмоций, то новые технические решения обречены на неудачу. Известны случаи, когда предприятия испытывали серьезные затруднения со сбытом оборудования, которое было разработано исходя из субъективных предпочтений либо в процессе отбора игнорировались некоторые основные правила.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Назовите основные этапы проектирования технического объекта.
- 2 Дайте развернутую характеристику этапу составления технического задания.
- 3 В чем заключается этап разработки технического предложения?
- 4 Какие методы проектирования применяются на этапе разработки технического предложения?
- 5 В чем заключается этап выполнения эскизного проекта?
- 6 Какие цели и задачи решаются на этапе выполнения технического проекта? Что он включает в себя?
- 7 В чем заключается этап составления рабочей документации?
- 8 Какая связь между творческим процессом и проектированием?
- 9 Перечислите этапы творческого процесса.
- 10 В чем заключаются препятствия творчеству личного порядка?
- 11 Назовите препятствия организационного порядка.
- 12 Раскройте суть метода проб и ошибок.
- 13 Изложите основы метода адаптивного поиска.
- 14 В чем заключается метод случайного поиска?
- 15 Какие методы проектирования используются на предприятии, где вы проходили конструкторско-технологическую или производственную практику?

## 6 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

### 6.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Классификация типовых технических задач представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 — Классификация технических задач

Тип задачи	Модель задачи			Характеристика задачи
	1	2	3	
I	0	0	0	Компоненты задачи определены. Задача тривиального преобразования (например: увеличить ширину захвата агрегата, скорость вращения рабочего органа)
II	X	0	0	Определён требуемый конечный результат и способ его получения. Не определено исходное состояние (например: возделывание почвы роторным плугом; в зависимости от состояния почвы, засорённости её сорняками и наличия в ней камней могут возникнуть серьёзные проблемы)
III	0	X	0	Определены исходное и конечное состояние. Не определён способ преобразования (например: перемещение семян из бункера в почву может осуществляться самотёком, с помощью давления воздуха и т.д.)
IV	0	0	X	Определены исходное состояние и способ его преобразования. Не определён конечный результат (например: плоскорезная обработка почвы — в зависимости от погодных условий, засорённости полей, степени внесения гербицидов результат часто не предсказуем)
V	X	X	0	Определён конечный результат. Не определены исходное состояние и способ его преобразования (например: внесение в почву органики; исходное состояние может быть как жидким, так и в смеси с соломой или торфом, что делает способы внесения принципиально отличными друг от друга)

Окончание таблицы 6.1

Тип задачи	Модель задачи			Характеристика задачи
	1	2	3	
VI	0	X	X	Определено исходное состояние. Не определены конечный результат и способ его преобразования (например: цикл технологических операций по возделыванию с.-х. культур в зоне рискованного земледелия)
VII	X	0	X	Определён способ преобразования. Не определены исходное и конечное состояния (например: измельчение при переменной угловой скорости разных с.-х. материалов)
VIII	X	X	X	Все компоненты не определены

Условные обозначения: 1 — исходное состояние ТО; 2 — способ преобразования ТО; 3 — конечный результат решения задачи; 0 — определён; X — не определён

Градации технических задач по степени сложности приведена в таблице 6.2.

## 6.2 МЫШЛЕНИЕ ПРОРЫВА В ИНЖЕНЕРНОМ ТВОРЧЕСТВЕ

Крупный специалист в области искусственного интеллекта, профессор, доктор технических наук, пятикратный чемпион мира по шахматам М. Ботвинник говорил, что разница между животным и человеком заключается в умении человека выделять главное [24]. На таком подходе формируются основные принципы Мышления прорыва как пути преодоления объективных противоречий между знаниями, потребностями, решениями и результатами их применения.

Семь принципов Мышления прорыва:

1. Принцип уникальности.

Каждая проблема по-своему уникальна и может потребовать уникального решения;

2. Принцип целенаправленности.

Сосредоточение на способствующих помочь отбросить несущественные аспекты проблемы целях и их расширении;

Таблица 6.2 — Матрица инженерного творчества

Уровни характеристики	1 Рационализация	2 Модернизация	3 Принцип	4 Синтез	5 Открытие
Условия задачи	Четкая однапараметрическая постановка	Неполная многопараметрическая постановка; есть прямые структурные аналоги	Плохо структурированный «глубоко» задача; есть только функциональные аналоги	Неизвестность многих факторов; близких функционально-структурных аналогов нет	Неизвестность главных целевых факторов; аналогов нет
Ресурсы задачи	Ресурсы очевидны и легко доступны; элементарная профессиональная подготовка	Ресурс неочевиден, но, как правило, присутствует в системе; традиционная профессиональная подготовка	Ресурс часто привлекается из других систем; развитие комбинаторное мышление	Ресурсы из разных отраслей знания; сильное ассоциативное мышление; широкая эрудиция; способность преодолеть стереотипы	Неизвестный ранее ресурс и/или его приращение; ищется, ищется, ищется; ключевая, избирательная мотивация; свобода от стереотипов

Уровни характеристики	1 Рационализация	2 Модернизация	3 Принцип	4 Синтез	5 Открытие
<b>Правила преобразования</b>	Инженерное решение на основе аналогий и «стандарт ов»	Инженерное решение на основе аналогий и «стандарт ов»	Изобретательское решение на основе комбинации «инструментов»	Изобретательское решение на основе интеграции научно-технических «эффектов»	Открытие и/или новое применение научно-технического эффекта
<b>Уровень новизны</b>	Наибольшие параметрические изменения	Оригинальные функционально-структурные решения	«Сильные» изобретения с системным сверхэффектом	Выдающиеся изобретения со сверхэффектом существенного изменения окружающих сред	Крупнейшие изобретения со сверхэффектом кардинального изменения цивилизации
<b>Класс задачи</b>	Задачи без противоречий	Стандартные задачи	Нестандартные задачи	Прорыв стереотипов	Уникальные системы
<b>Пример</b>	Увеличение ширины захвата агрегата	Увеличение скорости (улучшение подвески)	Создание двигателя внутреннего сгорания	Создание лазера, компьютера	Создание атомной бомбы, нанотехнологий

3. Принцип опоры на конечное решение.

Ориентация на будущее целевое решение дает направление для выработки решений ближайших перспектив и встраивание их в решение более крупных задач, в дерево целей-задач;

4. Принцип системности.

Каждая проблема есть часть более крупной системы проблем, поэтому решение одной проблемы неизбежно влечет за собой появление следующей. Четкое представление о структуре решения и составляющих ее элементах и измерениях (оценках) обеспечивает его работоспособность и реализуемость. В качестве примера здесь можно привести такой важнейший для человечества вопрос, как применение различных способов обработки почв и их взаимосвязь с водной и ветровой эрозией этих почв;

5. Принцип ограниченности сбора информации.

Накопление избыточного количества данных сделает из вас эксперта в области рассматриваемой проблемы, но может помешать обнаружить ряд ценных альтернатив решения. Наиболее полно этот принцип можно выразить известным выражением: «На всякого мудреца довольно простоты»;

6. Принцип работы с людьми.

Необходимо постоянно подключать к процессу выработки решения тех, кто будет его реализовывать и непосредственно использовать. При этом не следует забывать известное выражение Ж. Ростана: «Наука сделала нас богами раньше, чем мы научились быть людьми» [5]. Поэтому при воплощении этого принципа в жизнь необходимо в полной мере пользоваться полученными во время обучения в БГАТУ знаниями в области гуманитарных наук, и в первую очередь в области психологии человеческих отношений;

7. Принцип непрерывности и своевременности усовершенствований, инноваций.

Сохранение жизнеспособности решения — заключение в него программы жизнеспособности реализации нововведений.

### 6.3 ЗАДАЧА УЛУЧШЕНИЯ ИЗВЕСТНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Рассмотрим методику постановки самого широкого класса задач проектирования, когда требуется улучшить известный технический объект, называемый прототипом, внося в него определенные изменения. При этом нельзя недооценивать возможную большую экономическую эффективность подобного рода задач. Так, перевод подвижного железнодорожного состава с установленных на осях колёс подшипников скольжения на подшипники качения сокращает на 10–12 % расход топлива или электроэнергии на тягу поездов [25].

Эта методика не охватывает такие классы задач, как:

- поиск новых потребностей и формулировка новых функций ТО;
- разработка принципиально новых технических решений, не имеющих прототипов;
- поиск новых технических решений как задача математического программирования.

При решении подобного рода задач [6] делается несколько приближений к искомому на основании полученных результатов. На первом этапе выполняется 5 операций, после чего предпринимаются попытки решения задачи естественным способом «проб и ошибок». На втором этапе выполняются операции 6–12 с последующими попытками решения задачи.

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

1. В чем состоит затруднение или проблемная ситуация и какова ее предыстория?
2. Что требуется сделать для устранения проблемной ситуации, т.е. какую потребность нужно удовлетворить?
3. Что мешает устранению проблемной ситуации или достижению цели?
4. Что дает решение задачи для людей, предприятия, отрасли и т.д.?

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

Примеры такого описания функций, в том числе для системы пневмотранспорта, приведены в таблице 6.3, где описание функций дано в виде отдельных компонентов (действие, объект, условия). Обратите внимание, что строки таблицы читаются как одно предложение.

**Операция 3. Выбор прототипа и составление списка требований.** В описании проблемной ситуации часто указывают прототип, который требуется усовершенствовать. Этот исходный прототип обычно приходится брать за основу при поиске улучшенного решения.

Таблица 6.3 — Примеры описания функции

Наименование ТО	Описание функции		
	Действие	Объект	Условия
1. Пневмотранспорт 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 расстояние до 60 м
2. Бытовая электроплитка	Нагревает	Ёмкость с жидкостью	До кипения
	Нагревает	Ёмкость с водой объемом до 5 л	До кипения за время не более 20 минут
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 радиальной нагрузке 7848 Н и частоте вращения 130 с <sup>-1</sup>

Кроме этого, рекомендуется выбрать еще один-два дополнительных прототипа, имеющих определенные достоинства по сравнению с исходными. При этом в первую очередь в качестве прототипов должны использоваться существующие ТО, выполненные на уровне лучших мировых образцов», и аналогичные технические решения в ведущем классе ТО. Ведущий класс ТО по сравнению с рассматриваемым имеет близкую функцию и более высокий уровень характеристик. Например, для автомобилестроения ведущим классом может быть авиация, так как соотношение выполняемой полезной работы (перемещение груза заданной массы на заданное расстояние) и массы конструкции ТО, или показатели надежности в авиации значительно выше.

При выборе дополнительных прототипов рекомендуется использовать словари технических функций, международную классификацию изобретений (МКИ), патентные описания за последние 5–10 лет (как по рассматриваемому, так и по функционально близким классам ТО), каталоги выставок и т.д. Дополнительно может быть также использована прямая мозговая атака (этот метод будет рассмотрен в разделе 6.4).

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 будут изложены в разделе 6.6.) 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 выявленное решение и тем самым отодвинуть время возникновения новой проблемной ситуации.

#### **Операция 4. Составление списка недостатков прототипа.**

При выполнении этой операции необходимо стремиться выявить все недостатки прототипа, которые могут быть устранены в новом объекте, т.е. для каждого прототипа следует указать:

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

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

При составлении списка недостатков целесообразно изучить конструктивную эволюцию рассматриваемых ТО для более обоснованного выбора критериев развития и использовать метод обратной мозговой атаки. Полученный список недостатков необходимо упорядочить по степени важности и выделить те, устранение которых считают главными целями решения задачи.

При выполнении этой операции рекомендуется использовать (а также самим составлять и развивать) существующие проблемно- и объективно(предметно)-ориентированные списки недостатков.

**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 ее реализацию;
- б) перечень и описание возможных прототипов и списки требований к ним;
- в) списки недостатков прототипов.

Требуется: в процессе решения задачи так изменить прототип, т.е. найти такое новое техническое решение, которое бы реализовало интересующую функцию и не имело (или имело меньше) присущих прототипу недостатков.

**Операция 6. Анализ функций прототипа и построение улучшенной конструктивной функциональной структуры.** Анализ функций прототипа и построение его конструктивной ФС выполняется в соответствии с рекомендациями, частично рассмотренными в предыдущих разделах.

После этого проводят корректировку (улучшение) ФС, для чего необходимо ответить на вопросы:

1. Какие можно ввести новые функциональные элементы, обеспечивающие устранение недостатков прототипа или существенное повышение эффективности и качества ТО? (Дают названия таким элементам и описывают их функции);
2. Какие можно исключить элементы для устранения недостатков прототипа или повышения эффективности и качества ТО?
3. Какие элементы целесообразно исключить путем передачи их функций другим элементам?

4. Для каких элементов, имеющих несколько функций, целесообразно разделение последних 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 удается изменить ФС прототипа или появляется несколько альтернативных улучшенных ФС.

**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 функций такой системы необходимо:

- 1) выделить вышестоящую по иерархии систему, в которой в качестве отдельных элементов (подсистем) выступают рассматриваемый ТО и другие смежные с ним объекты (другие ТО, окружающая среда, человек и т.д.);
- 2) описать функции всех элементов, входящих в выделенную систему, и построить конструктивную ФС;
- 3) выяснить возможность удовлетворения потребности:
  - 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.

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

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

**Операция 9. Выявление и анализ противоречий развития.** Улучшение многих ТО связано с преодолением так называемых *противоречий развития*, которые могут иметь место. Типичны ситуации, когда 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).

При выявлении и анализе противоречий развития выполняют следующие процедуры:

1. Из списка недостатков прототипа, выявленных в операции 4, выбирают связанные с улучшением количественных показателей, и в первую очередь относящиеся к критериям развития ТО;
2. При рассмотрении каждого такого показателя отвечают на вопросы:
  - Какой показатель ТО существенно ухудшается при улучшении рассматриваемого показателя?
  - Какие факторы (константы, стандарты и т.д.) ограничивают улучшение желаемого показателя?
3. Строят качественный или количественный график зависимости ухудшаемого показателя от улучшаемого.

При выполнении пункта 3 списка рекомендуется использовать программы и системы математического моделирования ТО.

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

Все новые технические решения можно разделить на две группы: *прогрессивные* и *тупиковые*, уходящие в сторону. При создании нового объекта задача заключается не в поиске новых, улучшенных технических решений вообще, а в поиске прогрессивных решений, лежащих на главной магистрали развития технических объектов, ведущей к **идеальному техническому решению (ИТР)**, сущность которого раскрыта в разделе 8.

**Операция 11. Улучшение других показателей ТО.** При разработке новой модели или нового поколения ТО их стремятся сделать такими, чтобы не только были устранены главные видимые недос-

татки, определенные в операции 4, но и приобретены значительные преимущества перед существующими образцами по комплексу всех важных 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 насколько?

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 объективно-ориентированные списки критериев развития ТО, параметров и 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; 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.

## 6.4 МЕТОДЫ МОЗГОВОЙ АТАКИ

Известно, что критика или даже ее боязнь служит помехой творческому мышлению. Разумеется, любая новая идея может оказаться неверной. Если автор боится критики, которая может быть вызвана тем, что идея его плоха, то он не захочет высказывать непроверенные мысли. В этом случае многие потенциально хорошие идеи (или мысли, которые могут вызвать эти идеи у других) оказываются потерянными. Чтобы устранить препятствия, вызываемые боязнью критики при генерировании идей, был разработан так называемый

метод мозгового штурма [15]. Его иногда называют также мозговой атакой. Этот метод нельзя рассматривать как универсальное средство. С ним связаны определенные успехи и неудачи. Для эффективного применения метода мозгового штурма необходимо представлять себе его возможности и знать, как и когда его целесообразно применять. Только при таких условиях он может служить мощным средством генерирования идей.

**Мозговой штурм** представляет собой метод получения новых идей путем творческого сотрудничества отдельных членов организованной группы. Возникновение термина связано с тем, что группа как единый мозг штурмует творческие решения рассматриваемых проблем. Это необходимо делать энергично, причем все члены группы должны сосредоточивать свое внимание на одном и том же вопросе. Данный метод изобрел А. Осборн, заместитель ректора университета в г. Буффало и основатель Института творческих методов обучения. Во время Второй мировой войны морской офицер А. Осборн 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. Капитан 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.

В 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. Всем этот метод хорошо знаком по телевизионной передаче «Что? Где? Когда?».

Методы мозгового штурма, или мозговой атаки (МА), основываются на следующем психологическом эффекте. Если собрать группу в 5–8 человек и каждому предложить независимо и индиви-

дуально высказывать идеи и предложения по решению поставленной проектной (изобретательской) 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  $N$ .

Во время сеанса МА происходит как бы цепная реакция идей, приводящая к интеллектуальному взрыву. В одном из американских руководств по методу МА говорится: «Девяносто девять процентов ваших конструктивных идей возникает подобно электрической искре при “контакте” с мыслями других людей».

Изучение методов МА не требует специальной подготовки, и они осваиваются легко и быстро как студентами, так и опытными проектантами. 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 разных областях техники;
- при постановках задачи, различающихся по форме, детальности и глубине проработки;
- на многих 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 затруднение в сфере человеческой деятельности. Это могут быть задачи из области организации производства, сферы обслуживания, бизнеса, экономики, социологии, уголовного розыска, военных операций и т.д., если они достаточно просто и ясно сформулированы.

Приглашать на совещание (сеанс МА) желательно за два-три 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 (укажем затраты времени на отдельные мероприятия):

- 1) представление участников совещания друг другу и ознакомление их с правилами проведения сеанса МА (5–10 мин);
- 2) постановка задачи ведущим с ответами на вопросы (10–15 мин);
- 3) проведение МА (20–30 мин);
- 4) перерыв (10 мин);
- 5) составление отредактированного списка идей (30–45 мин).

Помещение должно быть по возможности нейтральное (не кабинет руководителя) и не шумное. Лучше всего сидеть за круглым или П-образным столом, чтобы все друг друга видели.

Весьма повышают эффективность следующие мероприятия по психологической настройке и психоэвристическому стимулированию:

- показ перед МА короткометражного фильма, заставляющего забыть заботы дня, или фильма, актуализирующего постановку задачи;
- включение 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 и т.п.).

**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 мы желаем получить и что мешает получению желаемого результата.

Задачу может сформулировать внешний заказчик, руководитель творческой группы или ее член. Важно одно — чтобы перед сеансом МА имелась достаточно исчерпывающая четкая постановка задачи, желательно в документальном виде. Она должна также быть краткой.

Постановка задачи может быть дана в виде описания проблемной ситуации (см. операцию 1 в разделе 6.3). Иногда имеет смысл более детально изложить постановку, когда описание проблемной ситуации дополняют предварительной формулировкой задачи в соответствии с операцией 5 (раздел 6.3).

Главное содержание постановки задачи (операция 1, раздел 6.3) содержится в ответах на вопросы 1 и 2. Ответы на вопрос 4 и частично на вопрос 1 должны стимулировать и вдохновлять членов творческой группы на активную деятельность, чтобы предлагаемая задача стала для них главной, которую необходимо неотложно решить.

Если формулировка задачи содержит очень специальные и мало-понятные термины для специалистов из смежных или других областей, то необходимо сделать вторую редакцию без специальных терминов.

**Формирование творческой группы.** Наиболее эффективное количество участников в творческой группе для проведения сеанса МА — 5–12 человек, хотя допустимо и меньшее (до трех) и большее число участников.

Как правило, творческие группы состоят из двух подгрупп: постоянное ядро группы и временные члены. **Постоянное ядро группы** постепенно отбирается при решении различных задач методом МА. В него входят руководитель группы и сотрудники, легко и плодотворно генерирующие идеи, а также хорошо знающие и соблюдающие правила сеанса МА.

**Временные члены** приглашаются в зависимости от характера и содержания предстоящей задачи. В творческую группу никогда не включаются прирожденные скептики и критиканы. В формировании группы необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

- число специалистов по решаемой задаче должно составлять не более половины общей численности группы;
- целесообразно включать специалистов-смежников (конструкторы, технологи, экономисты, снабженцы и т.д.), которые обеспечат комплексное и всестороннее рассмотрение задачи;
- желательно включать женщин, которые весьма практично и оригинально мыслят, стимулируют и повышают дух соревнования среди мужчин;
- приглашать людей со стороны.

При проведении мозговой атаки придерживаются следующих правил:

- стремятся высказывать максимальное число идей;
- запрещена всякая критика и осуждения;
- стремятся развивать и улучшать высказанные ранее идеи;
- создание дружественной и демократичной атмосферы;
- рекомендуется, чтобы члены группы не были лично заинтересованы в рассматриваемой задаче и не состояли в близких отношениях.

Настоящий сеанс МА — это особое психологическое состояние людей, когда мыслительный процесс протекает без волевых усилий и принимается во внимание «всё, что придет в голову». Именно такое состояние оказывается наиболее продуктивным, поскольку позволяет в наибольшей мере использовать подсознание человека — самый мощный аппарат творческого мышления.

**Обязанности ведущего (руководителя) в сеансе мозговой атаки.** Успех и результативность мозговой атаки в очень большой мере зависят от председателя совещания (ведущего), который осуществляет оперативное управление сеансом. Чаще всего им бывает руко-

водитель творческой группы. Ведущий должен руководствоваться правилами для участников сеанса мозговой атаки и поддерживать непринужденную обстановку. Кроме того, на него возлагаются следующие обязанности:

1. Если в творческой группе есть новички, ведущий в самом начале представляет всех участников, давая каждому короткую лестную характеристику. Далее излагает правила для участников сеанса мозговой атаки;
2. Ведущий четко и эмоционально излагает формулировку задачи как в специальном, так и в общедоступном варианте. 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 мозговой атаки, не пользуясь при этом приказами и критическими замечаниями. Его роль подобна функциям судьей на футбольном поле;
4. Руководитель группы должен обеспечивать непрерывность высказывания идей, заполнять паузу поощрительными репликами. Например: «В свое время предлагалось то-то (можно использовать протоколы предыдущих мозговых атак для аналогичных задач)», «Давайте три минуты будем высказывать только непрактические и фантастические идеи», «А что думаете по этому поводу вы, Николай Владимирович?», «Каким будет решение задачи, если убрать такое-то ограничение?», «У нас уже 25 идей, давайте дотянем до 27»;
5. Ведущий следит, чтобы обсуждение не шло в слишком узком и практическом направлении, своими идеями или репликами он должен расширять сферу поиска;
6. Руководитель следит за регламентом работы. Говорит, сколько времени осталось до конца сеанса. Тактично останавливает участника, который высказывает свою идею более полминуты, интенсифицирует работу последних минут, например, такими восклицаниями: «Неужели ничего не найдем в последние три минуты?!», «Неужели не забьем гол в последнюю минуту?!»

Поскольку мозговая атака — это интенсивный, быстро протекающий творческий процесс, то не может быть единой постоянной схемы проведения сеанса. Каждый ведущий должен искать свои, индивидуальные пути повышения результативности. Например,

создатель метода А. Осборн как бывший моряк во время сеанса употреблял крепкие соленые выражения.

**Запись и оформление результатов МА.** Фиксирование идей, высказываемых во время сеанса МА, производится одним из трех способов:

- 1) среди участников имеется стенографист (можно вести записи и иным способом);
- 2) с помощью диктофона;
- 3) 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, возникшими во время редактирования. Все полученные идеи желательно разделить на три группы: наиболее приемлемые и легко реализуемые для решаемой задачи; наиболее эффективные и перспективные; прочие.

Отредактированный и оформленный список передается заинтересованным лицам для дальнейшей, более детальной оценки и проработки с точки зрения патентования и использования в проектно-конструкторской деятельности.

После принятия решения об оформлении отдельных идей (в виде технических предложений для проектирования, заявок на изобретения и т.д.) уточняется и определяется список авторов с руководителем, а затем согласуется со всей творческой группой, участвовавших в сеансе МА.

**Двойная прямая мозговая атака.** 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.

В основе **обратной мозговой атаки** лежит закон прогрессивной конструктивной эволюции ТО (см. раздел 4.1.5). 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. И в процессе создания любого нового значительно улучшенного технического объекта решаются две задачи:

- 1) выявление в существующих технических объектах максимального числа недостатков;
- 2) устранение этих недостатков во вновь разрабатываемом объекте.

Первая задача относится к постановке изобретательских и проектно-конструкторских задач, вторая — к синтезу нового техниче-

ского решения. Первая задача оказывается не менее сложной, поскольку необходимо выявить полный список недостатков, которые можно разделить на две части:

- недостатки, обнаруженные при изготовлении, эксплуатации, ремонте и утилизации выпускаемых технических объектов;
- недостатки, которые возникнут в обозримом будущем у разрабатываемого объекта.

Таким образом, методы решения первой задачи должны обеспечивать не только выявление всех известных недостатков, но и прогнозировать все будущее.

Гипотетически существует некоторый идеальный полный список недостатков, каждый из которых может быть устранен или учтен в новом объекте, в результате чего новое устройство будет реализовывать максимально возможный скачок существующего научно-технического уровня. Поэтому наилучшее решение первой творческой задачи соответствует наибольшему приближению к такому идеальному списку недостатков, т.е. полный список недостатков (независимо от причины их возникновения) должен отражать все возможные отклонения действительно существующего положения от желаемого.

Метод обратной мозговой атаки ориентирован на решение первой творческой задачи, т.е. цель 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, например, при решении 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 для обратной мозговой атаки должна содержать краткие и достаточно исчерпывающие ответы на следующие вопросы:

1. Что представляет собой объект, который требуется улучшить?

2. Какие известны недостатки объекта, связанные с его изготовлением, эксплуатацией, ремонтом и т.д.?
3. Что требуется получить в результате мозговой атаки?
4. На что нужно обратить особое внимание?

Ответ на первый вопрос желательно сопроводить наглядным эскизом, слайдами, кинофильмом, показом макета и натурального образца («лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать»). Наиболее полно и объективно информация по второму вопросу может быть собрана у изготовителей, пользователей, наладчиков и ремонтников.

В третьем вопросе мозговая атака должна дать максимально полный список недостатков и дефектов у рассматриваемого объекта. Во время сеанса участники должны угадать все будущие недостатки — на 10–20 лет вперед, чтобы полученный полный список обеспечивал наиболее длительную конкурентоспособность созданного объекта. По четвертому вопросу нужно указать, какого рода недостатки и дефекты особенно нетерпимы (например, прочность определенных деталей, надежность работы системы, экономия жидкого топлива, охрана окружающей водной среды и т.п.).

**Формирование творческой группы.** Здесь остаются в силе рекомендации, данные при описании прямой мозговой атаки, кроме одного. В творческую группу необходимо включить технологов, наладчиков, ремонтников, эксплуатационников, работников по сбыту и продаже.

Правила для участников сеанса обратной мозговой атаки также совпадают с правилами проведения прямой МА.

Обязанности ведущего (руководителя) в сеансе обратной МА совпадают с обязанностями ведущего при прямой МА. 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 могут возникнуть неудобства в обслуживании или 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?

**Организация проведения** обратной и прямой МА не имеет различий. 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.** Этот этап также проводится аналогично. 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). Это можно выполнить также путем отнесения каждого недостатка к главным, средним или второстепенным.

Изложенные методы прямой и обратной МА могут быть совместно использованы в различных комбинациях.

## 6.5 СИНЕКТИКА

Синектический подход к генерированию идей разработан У. Гордоном (США). Он напоминает мозговой шторм в том отношении, что также основан на усилиях группы, направленных на получение возможных решений предложенной задачи [15].

Отличие состоит в том, что первоначально рассматривается лишь небольшое число идей (две-три), которые затем анализируются детально. В процессе обсуждения основную роль играет руководитель.

Синектический метод реализуется следующим образом.

Вначале группе, состоящей из руководителя, пяти-десяти членов и стенографистки, подробно объясняется проблема или задание, причем объяснение повторяется до тех пор, пока все не поймут задачу до конца. Руководитель начинает сеанс с выбора методики работы. Это может быть вживание в роль, исследование некоторых второстепенных деталей проблемы или рассмотрение аналогичной ситуации, которая не обязательно должна иметь непосредственное отношение к предложенной проблеме. Когда кто-либо из членов группы высказывает интересную идею, которая может оказаться

полезной, руководитель стремится направить обсуждение на развитие, а иногда и на анализ этой идеи.

Синектический метод, к примеру, применялся NASA при разработке инструментов для работы в космическом пространстве, и в частности при проектировании устройств для сверления отверстий в орбитальной платформе, которые уже использовались космонавтами. Руководитель группы может рассмотреть, например, такие связанные с созданием этих устройств вопросы, как потребность в портативных источниках энергии, смазка при исключительно низких температурах, потребность в устройствах с нулевой реактивной силой и хранение инструмента. Он может применить метод аналогий и, подвесив к потолку на нитке кусок пенопласта, попытаться просверлить в нем отверстие с помощью электродрели, не придерживая пенопласт свободной рукой. Разумеется, при прикосновении электродрели пенопласт начнет раскачиваться, и отверстие сделать не удастся. Такая наглядная демонстрация обычно производит сильное впечатление на любого наблюдателя. Затем группа получает задание предложить способы получения отверстий в пенопласте, и рано или поздно кто-либо предлагает прожечь отверстие горячей сигаретой. После этого руководитель начинает обсуждать с группой получение более детального описания устройства, позволяющего достичь той же цели в космическом пространстве. В общем случае этот метод опирается на тот факт, что умственная деятельность более продуктивна в новой или незнакомой обстановке.

## 6.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ПЕРЕЧНИ

**Цель метода** — дать проектантам сведения о требованиях, которые были признаны релевантными в аналогичных ситуациях [15].

В настоящее время контрольные перечни — самое простое и приносящее непосредственную пользу средство решения технических задач. Они составляются исходя из предположения, что требования, которые не были учтены ранее, не будут учтены и впоследствии. Как правило, так и получается, когда новые специалисты начинают работать над обычными проектными проблемами. Так же бывает и в тех случаях, когда повышается уровень требований к комфортности, надежности, простоте обслуживания и т.д., возникают вопросы, и разработчики нуждаются в помощи, чтобы выяснить новый уровень требований. Приведенный ниже пример относится именно к последнему случаю.

- Метод контрольных перечней включает следующий план действий:
- 1) подготовка перечня вопросов, которые были признаны важными в одной или нескольких аналогичных ситуациях;
  - 2) определение круга вопросов применительно к проекту, подлежащему оценке.

**Пример.** Перечень вопросов, на которые надо ответить при проверке качества и надежности конструкции деталей авиационных двигателей.

### 1. Оценка конструкции. Цель введения нового устройства.

Это новая проблема?

Имеется ли устройство, которое можно использовать в существующем виде или с соответствующей модификацией?

Каковы существующие официальные нормативы?

Имеется ли полезная релевантная информация конкурирующих фирм?

Не является ли это просто усовершенствованием существующего устройства?

Каковы в этом случае новые требования?

Не следует ли воспользоваться этой возможностью для введения также других изменений?

Если предлагается модифицировать существующее устройство, то каковы новые условия эксплуатации по сравнению с теми, для которых оно было первоначально создано?

### 2. Консультации по специальным проблемам.

Обсуждались ли специальные аспекты проблемы с авиаконструктором, инженерами по прочности, специалистами по системам обслуживания, по инженерным программам снижения стоимости изделий, по аэродинамике, надежности, проектированию оснастки, по безопасности (для управляемых, снарядов) и т.д.?

Передана ли вся релевантная информация экспертам?

Может ли что-то быть неправильно понято?

Правильно ли поняты советы экспертов?

Конструктор несет окончательную ответственность и должен как можно тщательнее проверить всю информацию.

### 3. Соответствие официальным стандартам и фирменным нормам.

Соответствует ли проект официальным стандартам и фирменным нормам и т.д.?

Имеются ли другие проектные требования?

### 4. Напряжения.

Каковы основные механические напряжения в конструкции?

Имеются ли в соединениях консольные детали, способные вызвать вибрацию?

Будет ли тепловое расширение вызывать напряжения?

Учтены ли временные напряжения, возникающие в результате увеличения температуры?

Если конструкция разрушится, то в каком месте?

#### **5. Изготовление деталей.**

Какова технология производства деталей?

Можно ли ее упростить?

Может ли использоваться имеющаяся оснастка?

Оправдано ли применение деталей, трудно поддающихся механической обработке, или использование дорогостоящих материалов?

Можно ли применить полностью управляемую автоматами сварку?

#### **6. Сборка.**

Стыкуются ли детали?

Возможно ли неправильное соединение трубопроводов?

Возможна ли неправильная установка односторонних клапанов?

Можно ли путем контроля проверить правильность и точность сборки? Например, если опорный подшипник установлен неправильно, можно ли обнаружить это визуально без его демонтажа?

Предусмотрены ли там, где это необходимо, специальные инструкции?

#### **7. Демонтаж.**

Предусмотрены ли простые экстракторы?

Учтено ли влияние коррозии и нагара?

Не вызовет ли затруднений заедание резьбы и т.п.?

Не возникнет ли авария из-за деформации или износа?

Можно ли выполнить частичный или полный осмотр и ремонт данного узла без демонтажа других узлов и без риска уронить в них детали или инструменты?

#### **8. Обслуживание и ремонт.**

Будет ли обеспечен доступ к узлу после его монтажа?

Не требуется ли подъемное приспособление и предусмотрены ли для него места доступа?

Можно ли заменить узел без регулировки или без стендовых испытаний?

Учтена ли возможность ношения оператором арктической одежды и толстых перчаток?

Достаточно ли прочен узел, чтобы механик мог опереться на него ногой или рукой?

Не может ли слабое крепление обтекателя быть лишь по видимости прочным?

Можно ли уменьшить коррозию и износ?

Нужны ли бароскопические отверстия?

#### **9. Анализ дефектов.**

Может ли небольшой дефект привести к серьезному отказу?

Не может ли отвернуться гайка или срезаться головка заклепки и попасть во впускное сопло?

Может ли механизм управления заклинить из-за попадания в него инородного тела?

Как может система выйти из строя, что на это укажет и каковы будут результаты?

Может ли система выйти из строя, не создавая опасности для людей?

#### **10. Опасность возгорания.**

Что может загореться?

Возможна ли утечка масла или топлива?

Можно ли обнаружить возгорание? Можно ли отключить подачу топлива?

Имеется ли источник возгорания?

Повредит ли вынужденная посадка на фюзеляж систему подачи топлива или масла?

#### **11. Зазоры.**

Можно ли увеличить зазоры, не ухудшая качества конструкции?

Приведут ли накопленные ошибки в допусках и производственные ошибки к отказам?

Насколько зазор будет уменьшен:

- а) при временном дифференциальном расширении?
- б) нормальных рабочих напряжениях?
- в) высоких гравитационных нагрузках?

#### **12. Коррозия.**

Находятся ли разнородные металлы в контакте друг с другом в условиях влажности?

Подвергается ли материал коррозии при рабочих напряжениях и температурах?

Будет ли защитное покрытие разрушаться при эксплуатации или сборке, при использовании гаечных ключей и т.д.?

Можно ли поврежденные участки исправить во время эксплуатации? Имеются ли карманы, в которых может накапливаться влага?

Возможно ли интергранулярное проникновение плакировочного слоя при нормальных рабочих температурах или при температурах, возникающих в случае небольших повреждений?

### **13. Термообработка.**

Учтены ли полностью все условия эксплуатации?

Не превышает ли температура закалки максимально допустимую температуру?

Достаточен ли запас прочности, чтобы противостоять местным концентрациям напряжения?

### **14. Использование стандартного оборудования.**

Имеются ли стандартные спецификации?

Проведены ли консультации с поставщиком?

Можно ли использовать оборудование должным образом?

Хорошо ли читается табличка с инструкцией на оборудовании?

Возможен ли доступ к оборудованию после его установки?

### **15. Восстановление и ремонт.**

Можно ли восстановить дорогостоящие детали при их износе или поломке?

Есть ли место для установки вкладышей с резьбой?

Можно ли подвергнуть повторной механической обработке дорогостоящие детали, чтобы подогнать их к дешевым деталям с заниженными или завышенными размерами?

### **16. Человеческий фактор.**

Могут ли инструкции быть неправильно поняты?

Достаточно ли места для работы?

Используются ли токсичные материалы?

Требуются ли специальные навыки?

Осуществляются ли регулировки достаточно естественным и привычным образом?

### **17. Специальные электротехнические требования.**

Могут ли ненадежный контакт или помехи, генерируемые одной системой, вызвать опасную активацию другой?

Когда штекерные соединения разомкнуты, может ли в них накапливаться грязь или влага?

Достаточно ли хорошо закреплены провода и кабели и защищены ли они от перетирания?

Не могут ли быть повреждены провода при обслуживании?

Достаточно ли они защищены от активных жидкостей?

Требуется ли пайка?

### **18. Холод на земле или в воздухе.**

Может ли дифференциальное сжатие вызвать блокировку управления, например, топливной системой?

Не закроет ли лед вентиляционные отверстия?

Не может ли снег попасть в электрооборудование?

Достаточен ли размер трубопроводов маслосистемы?

Не будет ли в каких-нибудь трубопроводах скапливаться вода и превращаться в лед?

Не может ли лед блокировать систему управления?

### **19. Материалы.**

Известна ли стоимость материала?

Легко ли он поддается ковке, литью, холодной обработке, сварке и т.д.?

Легко ли его достать?

Не стратегический ли это материал?

Каковы его механические свойства? Какова теплостойкость?

Каковы антикоррозийные свойства?

### **20. Сравнение с другими конструкциями.**

Сравнили ли данную конструкцию с существующими видами?

Легче ли данная конструкция?

Более ли она надежна?

Дешевле ли она?

### **21. Соответствие современным требованиям.**

Проверено ли, не изменились ли проектные требования и условия окружающей среды с того времени, когда началась работа над проектом?

Не сделал ли отдел эксплуатации какие-либо замечания в последний момент?

Не появились ли новые информационные материалы?

При составлении перечней могут возникнуть следующие трудности.

Во-первых, время, необходимое на то, чтобы прочитать и обдумать все вопросы в длинном перечне, может значительно превысить общее время, отведенное на проектирование. Составители подобных перечней пытались избежать этого путем сохранения в них только достаточно общих вопросов, оставив на долю проектанта формулирование при необходимости более частных. Второй путь — это составление длинного перечня таким образом, чтобы разработчик мог быстро выбрать вопросы, имеющие отношение к проблеме, над которой он работает. Это можно сделать, снабдив перечень се-

тевой схемой и указав, какое из многих ее ответвлений имеет отношение к данной проблеме.

Во-вторых, перечни основаны на допущениях, которые скорее уведут проектанта от нового творческого решения, чем приближают к нему. Эта опасность всегда присутствует при любой попытке перенести соображения, касающиеся одной ситуации, на другую. Этого можно избежать путем сравнения допущений, на которых основан перечень, с теми, которые разработчик считает оправданными. Несмотря на указанные недостатки, контрольные перечни необходимы в ряде технических ситуаций. Однако разработчики, вероятно, пренебрегут даже хорошим контрольным перечнем, если он не будет принят также их руководителем или заказчиком в качестве технических условий для проверки приемлемости или неприемлемости разработанных проектов.

Для многих технических проблем имеется достаточное количество заранее прогнозируемых требований, которые неизвестны проектной группе, что оправдывает составление, по крайней мере, краткого контрольного перечня. Важно, чтобы контрольные вопросы имели самое непосредственное отношение к критериям, по которым будет оцениваться приемлемость технического решения.

## 6.7 ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ

Томас Эдисон тонко подметил основную проблему любого вида творчества: «Мы упускаем возможность главным образом потому, что она одета в рабочий халат и выглядит как работа» [24]. С конца 1960-х годов в инженерной практике технически развитых стран все чаще стали по-новому подходить к снижению стоимости (затрат) и повышению качества продукции. Этот подход назвали *функционально-стоимостным анализом (ФСА)* [2, 26, 27]. Многочисленная статистика разных стран показывает, что, несмотря на свою большую трудоёмкость, ФСА позволяет на одну денежную единицу затрат получить до 20 единиц экономии.

Основная суть ФСА заключается:

- в применении системного подхода к выявлению по возможности всех излишних затрат (трудоёмкость, расход материалов и энергии и т.д.) на существующие или проектируемые изделия;
- систематическом использовании методов инженерного творчества при поиске новых ТР с пониженными затратами;

– четкой организации работ со стороны руководства предприятия, направленных на проведение ФСА.

Решение задач, связанных со снижением себестоимости, предполагает возможность применения двух подходов — предметного и функционального.

Традиционным, используемым 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 счете интересуют не предметы и вещи как таковые, а те действия, которые он может производить с их помощью, т.е. 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. С учетом опыта успешного применения ФСА в первую очередь его 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 трудоёмкости и экономия людских ресурсов.

Опыт по освоению и использованию ФСА был опробован Министерством электротехнической промышленности СССР в 80-х годах XX века.

Один из основополагающих принципов ФСА — определенная последовательность его проведения, задаваемая рабочим планом. Он включает четыре взаимосвязанных этапа, каждый из которых состоит из нескольких отдельных работ. Последовательность, заданная рабочим планом, имеет обязательный характер, т.е. нельзя приступать к очередному этапу, не выполнив полного объема работ предыдущего.

#### **Рабочий план проведения ФСА:**

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 и (или) эскизного проекта, их согласование с заинтересованными подразделениями и утверждение.
4. Разработка и внедрение результатов ФСА.
  - 4.1. Составление и оформление проектно-технологической документации и рекомендаций по реализации результатов ФСА с уточнением расчетов эффективности.
  - 4.2. Согласование предложений по пункту 4.1 с заинтересованными подразделениями, службами и их утверждение.

- 4.3. Организация работы по реализации предложений.
- 4.4. Материальное и моральное поощрение участников разработки и внедрение рекомендаций по ФСА. Оформление отчета о выполненной работе с предложениями по улучшению проведения ФСА.

Работа на **подготовительном этапе** имеет две стадии. На первой (пункты 1.1, 1.2) готовится приказ, в котором указывается, какое изделие или какой технологический процесс требуется проработать с позиции ФСА и какие затраты понизить в первую очередь. Затем определяется состав временной группы специалистов, сроки проведения исследований и подразделения, обеспечивающие работу временной группы ФСА.

В эту группу входят один или несколько человек из постоянной группы (отдела) ФСА, а также прикомандировываются разные специалисты (технолог, методолог, энергетик, снабженец, экономист, эколог и т.д.), компетенция которых необходима при решении поставленных задач ФСА. Если на предприятии нет подразделения ФСА, то во временную группу необходимо включить хотя бы одного специалиста (желательно руководителя временной группы), владеющего подходом ФСА, и методолога-специалиста, владеющего методами инженерного творчества.

На второй стадии (пункты 1.3, 1.4) 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 методолога со стороны.

Выполнение работ по пунктам 2.1–2.3 **информационно-аналитического этапа** не требует дополнительных пояснений. Заметим, что при комплексном изучении затрат придется часто проводить многоуровневый анализ функций ТО, например описывать функции интересующих блоков ТО, затем узлов, из которых состоят блоки, затем деталей и т.д.

Рассмотрим более подробно *классификацию функций ТО* (пункт 2.4). Функции элементов ТО, выявленные и описанные при выполнении пункта 2.2, могут быть разделены на четыре группы: главные, основные, вспомогательные, ненужные.

Главные элементы ТО выполняют *главные функции*; они выделяются при составлении таблицы анализа функций и обозначаются через  $\Phi^0$ .

*Основные функции* относятся к элементам, которые непосредственно обеспечивают работу главных элементов; при исключении любой основной функции главная в принципе не может быть реализована.

*Вспомогательные функции* относятся к элементам, которые реализуют главную или основную функции более эффективно; при их исключении работоспособность ТО сохраняется, но ухудшаются некоторые показатели качества.

*Ненужные функции* относятся к элементам, которые не играют существенной роли в обеспечении работоспособности ТО и повышении его качества.

В таблице 6.4 приведен пример классификации функций для электросчетчика.

Таблица 6.4 — Анализ функций электросчетчика

№	Функция	Описание
1	Главная	Измерение расхода энергии
2	Основные	Обеспечение непрерывности электрической цепи между входом и выходом. Преобразование электрической энергии в механическую. Измерение мгновенных значений расходуемой энергии. Непрерывное суммирование мгновенных расходов энергии
3	Вспомогательные	Обеспечение индикации результатов измерения. Обеспечение необходимой точности измерения. Создание красивого внешнего вида. Гарантирование требуемой надёжности и износостойчивости. Обеспечение нормального уровня техники безопасности

*Определение и сравнение стоимости функций* составляет содержание пункта 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 (источники) возникновения излишних затрат*.

1. Разработчики 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 разработчики плохо 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 разработчики принимают на начальных стадиях проектирования временные, недостаточно обоснованные и отработанные технические решения, которые затем переходят в документацию на серийное производство.

4. Стремление к достижению высокого уровня унификации часто превращается в самоцель. При этом не учитываются объем выпускаемой продукции и экономическая целесообразность унификации.

Существуют *два способа оценки стоимости функций*. Первый — метод прямого расчета затрат на основании стоимости материалов, операций технологического процесса и т.д. Несмотря на высокую точность этого метода, часто не удается (в связи с большой трудоёмкостью сбора информации или отсутствием таковой) расчетным путем определить стоимость функций для изучаемого и аналогичных ТО. В связи с этим чаще используют менее трудоёмкий и более универсальный метод экспертных сравнений стоимостей функций для изучаемого и аналогичных изделий. При использовании этого метода для каждой функции заполняют форму (таблица 6.5), в которой по каждому показателю и для каждого варианта реализации функции устанавливается относительная шкала порядка, т.е. лучшему варианту присваивается стоимость  $1$ , худшему —  $m$ , равная числу сравниваемых вариантов.

В таблице 6.5 приведен пример относительной оценки затрат для пяти вариантов реализаций функции, где вариант 4 (патент 1) имеет наименьшие затраты.

Таблица 6.5 — Сравнение затрат на реализацию продукции

№ п/п	Варианты реализации функции	Показатели затрат					
		Расход материала		Трудоёмкость		Энергозатраты	Суммарная стоимость
		Сталь	Медь	изготовл.	эксплуат.		
$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_4$	$\gamma_5$	$\sum \gamma_i$		
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

Разумеется, набор показателей затрат в таблице 6.5 для разных функций будет разным.

Самая предварительная оценка затрат, определяемая по таблице 6.5, равна сумме оценок:  $C = \sum \gamma_i$ . Более точная оценка затрат может быть сделана с учетом весовых коэффициентов:

Самая предварительная оценка затрат, определяемая по таблице 6.5, равна сумме оценок:  $C = \sum \gamma_i$ . Более точная оценка затрат может быть сделана с учетом весовых коэффициентов:

$$C = \sum_{i=1}^m (\gamma_i / k_i), \quad (6.1)$$

где  $k_i$  — весовой коэффициент, принимает значения на отрезке 1–10; чем важнее показатель, тем выше весовой коэффициент.

При относительной оценке стоимостей функций важно выделить суммарную стоимость по таблице 6.5 или формуле (6.1) и максимально допустимую стоимость (обычно соответствующую изучаемому изделию). Обе эти величины являются хорошими ориентирами в поиске улучшенных вариантов ТР при выполнении третьего, поисково-исследовательского этапа.

Эффективное применение этой методики возможно при создании объективно ориентированных каталогов или банков данных, где конструктор мог бы быстро находить готовые оценки затрат на реализацию интересующей функции.

Таблица 6.6 — Сводная ведомость стоимостей функций

Описание функции	Наименование соответствующего документа	Наименование показателей затрат (оценки стоимости функций)	Единица измерения	Стоимость функции	
				Минимально возможная	Максимально допустимая
1. ...	1. ...	1.1. ... 1.2. ...			
2. ...	2. ...	2.1. ... 2.2. ... ...			

Пункт 2.6 рабочего плана — **выявление зон наибольшего сосредоточения затрат**. Здесь 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  $i$ -го элемента, реализующего свою функцию:

$$P^i = (D^i \pm D^H / D^H). \quad (6.2)$$

Здесь  $D^i$  — срок службы  $i$ -го элемента (детали, узла и т.п.);  $D^H$  — нормативный (фактический) срок службы ТО.

Далее определяют долю излишних и недостающих затрат:

$$R^i = (P^i Q^i / 100), \quad (6.3)$$

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 таблицы 6.6 составляют таблицу (по форме таблицы 6.7) наибольших разностей между существующей (в рассматриваемом ТО) и минимально возможной стоимостями по отношению к существующей, где функции упорядочивают по уменьшению разностей до 5–10%. Зоны наибольшего сосредоточения излишних затрат соответствуют наибольшим разностям стоимостей функций.

Таблица 6.7 — Таблица наибольших разностей стоимостей функций

Описание функции	Наименование соответствующего элемента	Относительная разность стоимостей, %
1. ...		
2. ...		

3. Для выявления зон наибольшего сосредоточения затрат используют ABC-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.

Статистические исследования показывают, что в большинстве случаев между числом деталей в этих группах и их суммарной себестоимостью сохраняется более или менее постоянное соотношение (таблица 6.8).

Таблица 6.8 — Классификация зон сосредоточения затрат

Группа элементов	Доля от общего числа элементов (деталей), %	Доля общей стоимости изделия, %
А	5	75
В	20	20
С	75	5

Для выявления зон наибольшего сосредоточения затрат используют данные расчетов излишних и недостающих затрат по формуле (6.3) и данные таблицы 6.5, на основе которых составляют список функций с наибольшими затратами. В этот список включают функции (элементы), которые одновременно имеют наибольшие значения в таблице 6.7 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 составляют два списка таких зон: первый (главный) список включает функции (элементы), которые одновременно вошли в таблицу 6.7 и группу элементов А таблицы 6.8, вто-

рой (дополнительный) список содержит функции элементов, которые одновременно вошли в таблицу 6.7 и группу В в таблице 6.8.

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 вспомогательные функции приходится чрезмерно большая доля затрат (60–70 %), т.е. здесь заложены основные резервы снижения себестоимости.

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.

Пункт 2.7 предусматривает **постановку задач поиска более рациональных решений и оформление результатов информационно-аналитического этапа**. Постановка задачи поиска улучшенных решений выполняется по методике, изложенной в разделе 6.3; при этом ведется проработка по операциям 3–9, 11, 12. Отметим некоторые особенности только для двух операций. Так, при выполнении операции 3 берут имеющийся технический объект, который требуется улучшить, и выбирают наиболее выигрышные и эффективные варианты реализации из таблицы 6.6. В список недостатков (операция 4) попадают в основном зоны наибольшего сосредоточения излишних затрат.

Результатом проведения информационно-аналитического этапа является следующая документация:

- таблица анализа функций ТО и конструктивная функциональная структура ТО;
- перечень главных, основных, вспомогательных и ненужных функций;
- список критериев развития, основных показателей и требований, предъявляемых к улучшаемому ТО;
- сводная таблица стоимостей функций;
- список и характеристика зон наибольшего сосредоточения затрат;
- постановка конструкторских задач по устранению элементов с ненужными функциями;

- постановка конструкторских задач по удешевлению функций, содержащих излишние затраты;
- список неясных вопросов, возникших при сборе, систематизация и анализе информации, для последующего обсуждения со специалистами;
- перечень и описание возникших идей по улучшению ТО.

При выполнении информационно-аналитического этапа возникают следующие характерные ошибки:

- 1) неиспользование 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;
- 2) 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, оговоренными в плане работы;
- 3) пренебрежение известными правилами делопроизводства; вся собранная и обработанная информация должна систематизироваться и надежно храниться для повторного использования.

Характерной ошибкой является и отвлечение внимания 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.

При **поиске улучшенных технических решений** (пункт 3.1) следует руководствоваться рекомендациями, данными в разделе 6.3.

Для **математического моделирования улучшенных ТР** (пункт 3.2) целесообразно использовать интегрированные системы математического моделирования, которые имеют большие возможности по моделированию изделий с различными ТР.

При **поиске оптимальных параметров улучшенных ТР** (пункт 3.3) следует руководствоваться рекомендациями, изложенными в книгах по оптимизации проектных параметров изделий, а также использовать соответствующие пакеты прикладных программ.

Выполнение пунктов 3.4–3.6 не требует дополнительных пояснений. Только заметим, что **экспериментальное испытание новых ТР** (пункт 3.4) проводится в случае, если математическое моделирование не дает удовлетворительных результатов, а проверка предложений необходима. При **выборе наилучших вариантов** (пункт 3.5) полезно составлять положительно-отрицательные оценки по форме таблицы 6.9.

Таблица 6.9 — Пример оценки вариантов

Факторы	Варианты	
	1	2
Положительные	Сумма приведенных затрат 21 млн бел. рублей. Снижение себестоимости на 6 млн бел. рублей. Рост производительности труда на 11 %	Сумма приведенных затрат 33 млн бел. рублей. Снижение себестоимости на 4 млн бел. рублей. Рост производительности труда на 5 %. Улучшение товарного вида
Отрицательные	Изготовление сложной пресс-формы	Необходимость применения нового материала

Выполнение пунктов 4.1, 4.2 не требует особых пояснений. Следует заметить, что в некоторых случаях вообще не понадобится разработка проектно-технологической документации, а достаточно будет ограничиться рационализаторским предложением.

Выполнение пункта 4.3 связано с составлением и утверждением плана-графика внедрения рекомендаций по ФСА, доведением его до соответствующих подразделений и служб, а также обеспечением контроля выполнения. 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, обусловленной большим числом 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 более оперативно доводят найденные решения до практического осуществления.

Поэтому целесообразно участников внедрения заинтересовать и привлечь к работам по ФСА на всех четырех этапах.

Необходимо пропагандировать ФСА и обучать специалистов использованию его подходов. Его применение становится особенно актуальным в свете проводимого правительством Республики Бела-

реть курса на сбережение материальных и энергетических ресурсов. Кроме своего основного назначения ФСА дает действенные организационные рекомендации для внедрения методов инженерного творчества на предприятиях.

Следует отметить, что, несмотря на успешный опыт применения, в ряде стран этот весьма эффективный и перспективный метод пока слабо разработан. В связи с этим укажем некоторые важные направления работ по развитию ФСА и повышению его эффективности:

1. Разработка объектно- и проблемно-ориентированных словарей технических функций, а также межотраслевого словаря технических функций. Такие словари должны создаваться в виде баз данных на 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 с учетом как объектной и проблемной ориентации, так и обобщенного межотраслевого характера;
  4. Объединение разработки и внедрения системы автоматизированного проектирования (САПР) и ФСА, т.е. широкое использование подходов и достижений последнего.
- Практические примеры применения ФСО приведены в работе [28].

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое прототип?
2. Как решаются задачи улучшения технического объекта?
3. В чем заключается метод мозгового штурма?
4. Какие задачи решаются с помощью метода мозгового штурма?
5. Изложите последовательность организации проведения мозговой атаки.
6. В чем заключается метод прямой мозговой атаки?
7. Какие правила должны соблюдать участники проведения сеанса мозговой атаки?
8. В чем отличия метода обратной мозговой атаки от прямой?

9. В чем суть комбинированного метода мозговой атаки?
10. Что такое синектический метод? Опишите основные его особенности.
11. В чем состоит сущность метода контрольных перечней? Когда и зачем он применяется?
12. Что собой представляет ФСА и с какой целью он выполняется?
13. Каков порядок проведения ФСА?
14. Каким образом производится сбор и анализ информации для ФСА?
15. Каким образом происходит определение и сравнение стоимости функций?
16. Как разрабатывают улучшенные технические решения?

## 7 ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

### 7.1 МЕТОД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ

Специализированный метод эвристических приемов может быть разработан проектантом или конструктором для индивидуального пользования. В то же время больший интерес представляет разработка таких методов для коллектива конструкторов или технологов отдельного предприятия, группы родственных предприятий или отрасли. Особенно полезен такой руководящий методический материал для начинающих инженеров. Хотя опытным специалистам большинство эвристических приемов известно, однако ценность метода для них состоит в более или менее полном систематическом охвате различных приемов, поскольку об одних трудно «вовремя вспомнить», а другие оказываются субъективно новыми (до них в данной ситуации «трудно додуматься»). Разумеется, такой руководящий методический материал каждый проектант будет видоизменять, дорабатывать и адаптировать. Разработка специализированных методов эвристических приемов для отдельных предприятий или групп предприятий также способствует ускорению создания соответствующих программ и использования вычислительной техники. Краткая характеристика обобщенного межотраслевого фонда эвристических приемов дана в таблице 7.1.

Разделение фонда на 16 групп и их состав определялись в основном удобствами и опытом практического применения и поэтому не претендуют на логическую строгость, научную обоснованность и полный охват всех приемов. Описание приемов, собранных в межотраслевом фонде, несколько унифицировано, сокращено и стилистически сглажено (в первоисточниках многие из них имеют явную эмоциональную окраску). Поэтому во многих приемах под указанием, например, «изменить» часто подразумевается «увеличить» или «уменьшить». Под «средой» наряду с природными факторами подразумеваются другие конструктивные элементы или технические системы, имеющие отношение к объекту.

Рассмотрим более детально содержание групп межотраслевого фонда эвристических приемов преобразования объекта.

#### 1. Количественные изменения.

1.1. Резко изменить (в несколько раз, в десятки и сотни раз) параметры или показатели объекта (его элементов, окружающей среды). Пример — ковш экскаватора по сравнению с лопатой.

Таблица 7.1 — Характеристика межотраслевого фонда эвристических приемов

№	Наименование группы	Число
1	Количественные изменения	18
2	Преобразования формы	15
3	Преобразования в пространстве	21
4	Преобразования во времени	13
5	Преобразование движения	18
6	Преобразование материала	19
7	Преобразования исключением	14
8	Преобразования добавлением	13
9	Преобразования заменой	22
10	Дифференциация	12
11	Интеграция	12
12	Использование профилактических мер	12
13	Использование резервов	9
14	Преобразования по аналогии	8
15	Комбинирование и комплексный синтез	21
16	Повышение технологичности	13
Всего		240

1.2. 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. Инверсия приема — фреза, роторный экскаватор, многомоторный самолёт, обрабатывающий центр.

1.3. Изменить число одновременно действующих или обрабатываемых объектов (элементов), например рабочих машин, их органов, двигателей, движителей и т.д. (замена колёсного хода гусеничным, зерновые, свеклоуборочные и картофелеуборочные комбайны).

1.4. Изменить габариты, объем или длину объекта (элемента) при переводе его в рабочее или нерабочее состояние (зонтик, надувные павильоны, устройство для снятия защитной плёнки по патенту ВУ 3079 U [29]).

1.5. Осуществить накопление деталей, вещества, энергии, полуфабрикатов и т.п. (бункер комбайна, аккумулятор, баллон с газом).

1.6. Произвести накопление малых доз до получения ощутимой величины (радиационные дозиметры-накопители, устройство

для отделения от корнеплодов комков почвы и растительных остатков по патенту ВУ 3172 U [30]).

1.7. Увеличить степень дробления (измельчения) объекта. Инверсия приема — дробление комков почвы расположенной внутри почвообрабатывающего катка спиралью по патенту ВУ 3349U [31], устройство для разуплотнения и заравнивания колеи по патенту ВУ 3352 U [32].

1.8. Увеличить эффективность действия путем последовательного применения группы однородных объектов (элементов). Пример — орудие для глубокого рыхления почвы с использованием виброэффекта по патенту ВУ 3825 U [33].

1.9. Отказаться от высокой точности или стабильности параметров (установки залпового огня «Катюша»).

1.10. Допустить незначительное снижение требуемого эффекта (предохранительные устройства для посевных по патенту ВУ 3452 U [34] и почвообрабатывающих машин по патенту ВУ 3351 U [35], позволяющие рабочим органам преодолевать камни при уменьшении заглубляющего момента).

1.11. Использовать идею избыточного решения (если трудно получить 100 % требуемого эффекта, получите «чуть больше»). Пример — предварительная затяжка болтового соединения крышек резервуаров.

1.12. Изменить (усилить) вредные факторы настолько, чтобы они перестали быть вредными (торможение самолёта с помощью реверса двигателя или тормозного парашюта, трение в тормозных системах автомобилей).

1.13. Осуществить подбор оптимальных значений параметров объекта, его элементов или окружающей среды (использовать пакет программ оптимизации). Пример — оптимизация давления на почву рабочих органов и опорных колёс комбинированных почвообрабатывающих машин.

1.14. Осуществить автоматический подбор оптимальных значений параметров в процессе работы объекта или при различных воздействиях внешней среды (использовать пакет программ оптимизации). Пример — самолет с изменяющейся геометрией крыла.

1.15. Унифицировать линейные размеры объекта (элемента) или другие его характеристики. Пример — габариты автомобилей, вагонов, диаметры сверл и т.д.

1.16. Уменьшить число функций объекта и сделать его более специализированным, соответствующим только оставшимся функциям и требованиям (истребитель-перехватчик, кукурузоубороч-

ный, чаеуборочный, хлопкоуборочный и смородиноуборочный комбайны).

1.17. Гиперболизировать, значительно увеличить размеры объекта и найти ему применение. Инверсия приема — при малых размерах плуга он используется как лущильник, при средних — для основной обработки почвы, при больших — для запашки кустарников.

1.18. Создать местное локальное качество; осуществить локальную концентрацию сил, напряжения и т.д. (режущие инструменты с использованием алмазов, особо твердых сплавов).

## **2. Преобразования формы.**

2.1. Изменить форму путем скручивания или изгиба (использовать круговую, спиральную, древовидную, сферическую, эллиптическую или другую компактную форму). Примеры — устройство для извлечения корнеплодов из почвы по патенту ВУ 3228 U [36], устройство для нарезания щелей по а. с. СССР 15554785 [37].

2.2. Сделать в объекте (элементе) отверстия или полости. Пример — очиститель корнеплодов по патенту ВУ 3172 U [29]. Инверсия приема.

2.3. Проверить соответствие формы объекта законам симметрии (самолёты, корабли плуг симметричный навесной по патенту ВУ 4119 U). Перейти от симметричной формы и структуры к асимметричной (плоскорез А.З. Пилецкого [39]). Инверсия приема.

2.4. Перейти от прямолинейных частей, плоских поверхностей кубических и многогранных форм (особенно в местах сопряжений) к криволинейным, сферическим и обтекаемым. Пример — очиститель корнеплодов по патенту ВУ 3144 U [40]. Инверсия приема.

2.5. Объекту (элементу) работающему под нагрузкой, придать выпуклую (более выпуклую) форму. Примеры — крыша БелЭКС-ПО, наконечник ракеты.

2.6. Использовать периодическое изменение формы в пространстве или во времени (выкапывающий рабочий орган по патенту ВУ 3252 U [41], рабочие органы подборщиков кормовых культур).

2.7. Вывернуть форму «наизнанку» или изменить традиционную форму (расположить направляющие суппорта строгального станка в положении, удобном для обеспечения эффективной смазки [42]).

2.8. Преобразовать форму с учетом уменьшения «неработающей» поверхности или пространства (расположить бобышку с резьбовым соединением по направлению нагрузки на винт).

2.9. Компенсировать нежелательную форму сложением с противоположной по очертанию формой (сложить симметрично друг другу две тарельчатые пружины).

- 2.10. Выполнить объект (элемент) в форме:
- другого технического объекта, имеющего аналогичное назначение (катамаран);
  - животного, растения или их органа (подводная лодка, дельта-план);
  - человека или его органов (лопата экскаватора);
  - другого технического объекта, имеющего совершенно иное назначение, животного или растения с целью создания ложного представления (блесна для рыбной ловли).

2.11. Сделать объект (элемент), приспособленный к форме человека или его органов. Пример — джойстик.

2.12. Использовать в аналогичных условиях работы природный принцип формообразования в живой или неживой природе (пчелиные соты при конструировании несущих конструкций зданий и машин [42]).

2.13. Изменить форму объектов среды с помощью перечисленных выше приемов.

2.14. Осуществить подбор оптимальной формы по заданному критерию качества. Например, с целью экономии материала, использования принципа равнопрочности или повышения усталостной прочности, снижения сопротивления в жидкостях и газах и т.д. (использовать пакет программ оптимизации).

2.15. Предусмотреть изменение формы как реакцию на изменение внешних условий, среды или условий работы (осуществить авторегуляцию; использовать пакет программ оптимизации). Примеры — биметаллические пластинки, материалы с памятью.

### 3. Преобразования в пространстве.

3.1. Заменить традиционную ориентацию объекта (элемента) в пространстве на противоположную. Например:

- горизонтальное положение на вертикальное или наклонное (оборотный плуг для гладкой пахоты);
- положить на бок (захватное устройство для лежащего в ряд груза по патенту ВУ 3436 U [43]);
- повернуть низом вверх (роторный очиститель корнеплодов по патенту ВУ 3172 U [30]);
- повернуть путём вращения (ременная сортировка по патенту ВУ 3449U [44]).

3.2. Использовать «пустое пространство» между элементами объекта; один элемент проходит сквозь полость в другом элементе (каток сеялки по патенту ВУ 3397 U [45]).

3.3. Объединить известные порознь объекты (элементы) с размещением одного внутри другого; один элемент по принципу «матрешки» размещается внутри другого, который, в свою очередь, находится внутри внешнего (барабан для намотки каната механизма подъёма груза по патенту ВУ 3173 U [46]).

3.4. Размещение по одной линии заменить размещением по нескольким линиям или по плоскости (механизм крепления конца каната грузоподъёмного устройства по патенту ВУ 3226 U [47]). 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 — очиститель головок корнеплодов по патенту ВУ 3396 U [48].

3.6. Изменить направление действия рабочей силы или среды (глубококорытатель по патенту ВУ 3509 U [49]).

3.7. Перейти от контакта в точке к контакту по линии; от контакта по линии к контакту по поверхности; от контакта по плоскости к объемному (пространственному). Пример: шариковый подшипник — роликовый подшипник — подшипник скольжения. Инверсия приема.

3.8. Осуществить сопряжение по нескольким поверхностям (четырёхгусеничный ход).

3.9. Приблизить рабочие органы объекта к месту выполнения ими своих функций без передвижения самого объекта (манипулятор для работы с радиоактивными элементами).

3.10. Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на их доставку (стационарные гидранты для орошения, тушения пожаров).

3.11. Возвратить объект (элемент) к исходной точке, начальному положению (механизм подвески сошника по патенту ВУ 3452 U [34]).

3.12. Разделить объект на части так, чтобы приблизить каждую из них к тому месту, где она работает и непосредственно нужна (технологии из руды драгоценных металлов, алмазов и т.д.).

3.13. Разделить объект на две части — «объемную» и «необъемную»; вынести «объемную» часть за пределы, ограничивающие объем (технологии отделения почвенных комков от корнеплодов и томатов с помощью воды).

3.14. Вынести элементы, подверженные действию вредных факторов, за пределы их действия (выполнение ёмкостей для ядохимикатов и удобрений из полимерных материалов).

3.15. Перенести (поместить) объект или его элемент в другую среду, исключаящую действие вредных факторов (использование озонирования при хранении плодоовощной продукции и сжатого воздуха во время вспашки).

3.16. Выйти за «традиционные» пространственные ограничения или габариты (машины на воздушной подушке, корнеизвлекающее устройство по патенту ВУ 3394 U [50]).

3.17. Поменять местами противоположно размещенные и другие элементы (в газораспределительном механизме замена выпуклой формы головки толкателя и плоской коромысла на плоскую головки толкателя на выпуклую коромысла устраняет действие на толкатель радиальной силы, что уменьшает износ соответствующей пары трения [42]).

3.18. Перейти от последовательного соединения элементов к параллельному или смешанному (при использовании сцепок для агрегатирования нескольких машин построение их для транспортирования по дороге). Инверсия приема.

3.19. Растянуть или расширить объект, удалив друг от друга элементы, или сблизить удаленные элементы (устройство для отделения почвенных комков от корнеплодов или томатов по патенту ВУ 3826 U [51]).

3.20. Обособить (локализовать) размещение групп элементов в пространстве (применение магнитного поля для перекрытия трубопровода с предварительной подачей в него смеси, содержащей ферромагнитные материалы [9]). Инверсия приема.

3.21. Существенно изменить компоновку элементов, преобразовав ее или переставив элементы в другом порядке (фронтальный плуг по патенту ВУ 4119 U [52]).

#### **4. Преобразования во времени.**

4.1. Изменить время функционирования или существования объекта (элемента); растянуть или сжать во времени происходящее действие; ускорить (замедлить) процесс осуществления операции (затвор фотоаппарата, мины, теплицы).

4.2. Выполнить требуемое действие до начала работы. Инверсия приема (выполнить после окончания работы). Примеры — зарядка аккумуляторов, заправка топливом, семенами и т.д.

4.3. Перенести выполнение действия на другое время (будильник, автоответчик).

4.4. Перейти от непрерывной подачи энергии или непрерывного режима к периодическому или импульсному (переменный и постоянный ток, вибраторы, перфораторы). Инверсия приема.

4.5. Если действие осуществляется периодически, изменить периодичность (одну жилу в многожильном проводе сделать толще для устранения возможности резонансных колебаний).

4.6. Перейти от постоянного (во времени) к изменяющемуся режиму (рыхлитель для мелиоративных работ по патенту ВУ 3937 U [53]). Инверсия приема.

4.7. Перейти от фиксированного физического поля к изменяющемуся во времени (свет маяка). Инверсия приема.

4.8. Превратить асинхронный процесс (действие) в синхронный (соломотряс зернового комбайна, зубовая борона по патенту ВУ 4063 U [54], орудие для глубокого рыхления почвы по патенту ВУ 3825 U [33]). Инверсия приема.

4.9. Изменить последовательность операций (прямой посев).

4.10. Перейти от последовательного осуществления операций к параллельному (одновременному). Пример — комбинированный почвообрабатывающий посевной агрегат. Инверсия приема.

4.11. Исключить бесполезные («вредные») интервалы времени. Использовать паузу между импульсами (периодическими действиями) для осуществления другого действия (автомат Калашникова).

4.12. Ввести обратную связь в управление процессом, при необходимости автоматизировать управление объектом (использовать пакет программ оптимизации). Пример — движение автомобиля со спутниковой связью по заданному маршруту.

4.13. Характеристики объекта (масса, габариты, скорость, температура, агрегатное состояние и т.д.) должны быть меняющимися и оптимальными на каждом этапе процесса при новом режиме (сушка зерна).

#### **5. Преобразование движения.**

5.1. Изменить направление вращения (машина для уборки ботвы корнеплодов по а. с. СССР 1097223 [55]).

5.2. Заменить поступательное (прямолинейное) движение вращательным. (плуг с вращающимся отвалом [56]). Инверсия приема.

5.3. Заменить возвратно-поступательное движение вращательным (кривошипно-шатунный механизм двигателя внутреннего сгорания). Инверсия приема.

5.4. Существенно изменить направление движения, в том числе на противоположное (самолеты Як-35, «Харьер», системы рулевого управления).

5.5. Заменить традиционную сложную траекторию движения на движение по прямой или окружности (замена центробежного разбрасывателя удобрений штанговым). Инверсия приема.

- 5.6. Изменить число степеней свободы движения:
- по прямой линии — заменить движением по плоскости (в двух измерениях);
  - по плоскости — заменить движением в трехмерном пространстве (пример: при разделении семян скатную доску заменить триером);
  - по одной линии — заменить движением по нескольким линиям (разбрызгивание при поливе);
  - по одной плоскости заменить движением по нескольким плоскостям (комкодавитель картофелеуборочной машины по патенту ВУ 3915 U [57].)

Инверсия приема.

5.7. Разделить объект на две части — «тяжелую» и «легкую», передвигать только «легкую» часть (флотирование, сортировка с помощью воздушного потока).

5.8. Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать обрабатываемый объект (замена оборота пласта плоскорезной обработкой).

5.9. Устранить обратные и холостые ходы (заменить возвратно-поступательное движение вращательным).

5.10. Перейти от неподвижного физического поля к движущемуся (уничтожение сорняков электрическим полем мобильного агрегата [58]). Инверсия приема.

5.11. Изменить характер функционального соединения между элементами, повысив степень свободы перемещения одних по отношению к другим (шарнирное соединение рабочих органов для предохранения от поломок). Инверсия приема.

5.12. Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга (плуг с вращающимся отвалом [56]).

5.13. Преобразовать неподвижный объект (элемент) в подвижный; обеспечить перемещение элемента в объекте (планировщик с роторным метателем ВП-3,6 [59]). Инверсия приема.

5.14. Сделать движущиеся элементы неподвижными, а неподвижные — движущимися (машина для подбора плодов с земли по патенту ВУ 3599U [60]).

5.15. Сделать объект (элемент) качающимся или привести в колебательное движение (орудие для глубокого рыхления почвы по патенту ВУ 3825U [61]). Инверсия приема.

5.16. Придать объекту (элементу) движение, аналогичное движению органов человека или животного (махолёт).

5.18. Подобрать оптимальные характеристики движения (использовать пакет программ оптимизации). Пример — раскройка листа металла лазером с помощью компьютера.

## **6. Преобразование материала.**

6.1. Выполнить элемент или его поверхность из пористого материала. Заполнить поры каким-то веществом (вкладыши подшипников из керамических пористых материалов со смазкой).

6.2. Перейти от однородных материалов к композиционным (корпус лодки выполнен из стекловолокна вместо дерева). Инверсия приема.

6.3. Сделать объект (элемент) прозрачным (бункер-накопитель по патенту ВУ 3599U [60]). Инверсия приема.

6.4. Разделить объект (элемент) на части так, чтобы каждая из них могла быть изготовлена из наиболее подходящего материала (долота — лемех — отвал).

6.5. Убрать лишний материал, не несущий функциональной нагрузки (замена круглого сплошного сечения вала трубчатым [62]).

6.6. Для наблюдения за плохо видимыми объектами или процессами использовать красящие добавки, меченые атомы и т.п. (бытовой газ, технический спирт).

6.7. Изменить поверхностные свойства объекта (элемента). Пример: повышение твердости металла на 500 НВ повышает прочность в 10 раз [62]. Нейтрализовать свойства материала на поверхности объекта (подбор соответствующих смазывающих материалов).

6.8. Выполнить жесткую часть из материала, допускающего изменение формы при работе; вместо жестких объемных конструкций использовать гибкие оболочки и пленки (обод колеса с пневматической шиной). Инверсия приема.

6.9. Изменить физические свойства материала (антифриз).

6.10. Заменить некоторые объекты среды на объекты с другими физико-механическими и химическими свойствами. Примеры — газовая смазка при вспашке, выделение воздушных пузырьков в воде для увеличения скорости подводных объектов (например, торпеды).

6.11. Использовать другой материал: заменить более дешевым, взять новейший материал, заменить используемый материал его эквивалентом и т.д. (использовать пластик, магниевые сплавы, бронзу, текстолит и др. [62]).

6.12. Присоединить новый ингредиент или заменить его (легирование сталей [62]).

6.13. Использовать детали из материала с последующим отверждением (бетон, полимерные смолы [62]).

6.14. Выполнить элементы из материалов с разными характеристиками, дающими нужный эффект (например, с разным термическим расширением). Пример — биметаллические пластинки.

6.15. Вместо твердых частей использовать жидкие или газообразные (надувные, гидронаполняемые, воздушную подушку, гидростатические, гидрореактивные). Примеры — подушка безопасности в автомобиле, транспортные средства на воздушной подушке. Инверсия приема.

6.16. Подобрать оптимальные физические свойства материалов (использовать пакет программ оптимизации). Примеры — защитные покрытия мониторов, бронезилет.

6.18. Использовать материал с изменяемыми во времени характеристиками (жесткостью, прозрачностью и т.д.). Пример — пневмоамортизаторы с изменяемым давлением, тонированные стекла очков.

6.19. Иметь оптимальные характеристики материала в различные моменты, этапы работы объекта (использовать пакет программ оптимизации). Примеры — поляризованное стекло фар автомобиля, вывод текущей информации на лобовое стекло истребителя.

#### **7. Преобразования исключением.**

7.1. Исключить трущиеся поверхности, в первую очередь на корпусных деталях (вкладыши и втулки из капрона и других антифрикционных материалов [63]).

7.2. Исключить наиболее напряженный (нагруженный) элемент (установка тавровой балки плоской поверхностью вниз, применение в сопрягающихся с полками швеллеров болтовых соединениях ко- сых шайб [62]).

7.3. Устранить местные ослабления (увеличение опасного сечения и площади контакта [62]).

7.4. Выполнивший свое назначение или ставший ненужным элемент отбросить (отцепить, сжечь, растворить, испарить и т.д.). Пример — разлагающиеся под действием солнечных лучей полимерные пленки теплиц.

7.5. Исключить бесполезные или вредные промежутки времени (автопилот, реверс авиадвигателя при посадке самолета).

7.6. Исключить подбор и подгонку (регулировку и выверку) деталей и узлов при сборке объекта (применение стандартных изделий, использование упоров и фиксаторов [62]).

7.7. Отделить вредные или нежелательные примеси от вещества (использование фильтров).

7.8. Выделить в объекте вредное свойство или «мешающий» элемент и изолировать его или оказать на него локальное «устраняю» (торможение самолета в критической ситуации сеткой АПА; обезвреживание гнилостных бактерий озонированием при хранении плодов и ягод).

7.9. Уменьшить число функций объекта и сделать его более специализированным, соответствующим только оставшимся функциям и требованиям (хлопковый трактор, смородиноуборочный комбайн и т.д.).

7.10. Исключить элемент, сохраняя все прежние функции объекта. Один элемент выполняет несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других элементах (устройство для отделения от корнеплодов почвы и растительных остатков по патенту ВУ 3172U [30]).

7.11. Исключить некоторые объекты и факторы среды (газовая смазка почвообрабатывающих рабочих органов [64], плуг с решётчатым отвалом).

7.12. Ликвидировать вредные факторы за счет элементов, имеющих другое назначение (уменьшение тягового сопротивления почвообрабатывающих пружинных лап за счёт автоколебаний, создание уплотнённого ложа сошниками А. Точицкого [65]).

7.13. Устранить вредный фактор за счет сложения его с другим вредным фактором (автоматическое гашение колебаний кабины трактора, катапульта самолета, битеплица по а. с. СССР 950241 [9]).

7.14. Исключить элементы в связи с полной или существенной утратой (или изменением) их первоначальной функции. Убрать «лишние детали», изменив при необходимости характер соединения между оставшимися и потеряв «один процент» эффекта. Пример — снятие углоснимов и предплужников в связи с более полным оборотом пласта винтовым отвалом плуга.

#### **8. Преобразования добавлением.**

8.1. Обеспечить автоматическую подачу смазки к трущимся частям (газовые подшипники [63]).

8.2. Присоединить к объекту новый элемент в виде жестко или шарнирно соединенной пластины (стержня, оболочки или трубы), находящейся в рабочей среде в контакте с ней (реборды сошника сеялки для мелкого посева семян трав на рыхлых почвах, токозаземляющая цепь троллейбуса, громоотвод).

8.3. Компенсировать массу объекта, соединив его с элементом (объектом), обладающим подъемной силой (нагрев воздуха воздушного шара; параплан; поместить внутрь гребного колеса пенопласт; тростниковые острова в Перу).

8.4. Изолировать объект (элемент) от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких пленок. Поместить объект в оболочку, гильзу, капсулу (выращивание рассады и растений под пленкой, подготовленные к приему витамины и капсулы). Инверсия приема.

8.5. Расходуемые элементы должны восстанавливаться непосредственно в процессе работы (подкачка шин бронетранспортера во время боя, электролитическое растворение и электролитическое осаждение ролика электроконтактной наплавки по а. с. СССР 872165 [3]).

8.6. Присоединить к базовому объекту дополнительные специализированные орудия (элементы). Примеры — комплекс «Полесье», спецоборудование трактора.

8.7. Выполнение операции (или изготовление объекта) осуществлять с применением специального оборудования или инструмента (плазменное напыление для повышения антифрикционных и физико-механических свойств материалов).

8.8. Ввести элементы, допускающие или обеспечивающие сборку объекта только в нужном положении (ограничители, блокираторы и т.д.).

8.9. Придать объекту новое свойство: обеспечить его плавучесть, герметизацию, самовосстановление, сделать его прозрачным, электропроводным и т.п. (герметизация отсеков корабля, полупроводники).

8.10. Сделать объект (элемент) самоустанавливающимся, саморегулирующимся (автоматические системы уровня среза, бокового смещения зерновых комбайнов академика И.С. Нагорского и автоматические коробки скоростей автомобилей).

8.11. Использовать «посредника» в виде промежуточного объекта — переносчика энергии, силы, массы и т.п. (маховик, пружины, аккумуляторы).

8.12. Противопоставить вредному эффекту тот же эффект, «взятый наоборот» (битеплица по а. с. СССР 950241 [9]).

8.13. Приспособить объект к взаимодействию с человеком; сделать так, чтобы объект вызывал положительные эмоции (тюнинг автомобилей).

## **9. Преобразования заменой.**

9.1. Заменить изгиб растяжением или сжатием (применение в сопрягающихся с полками швеллеров болтовых соединениях косых шайб).

9.2. Заменить трение скольжения трением качения (замена опорных лыж колесами). Инверсия приема.

9.3. Заменить механическую обработку способом без снятия стружки (штамповка, порошковая металлургия).

9.4. Перейти от последовательного соединения элементов к параллельному или смешанному (замена лемешного плуга фронтальным или роторным). Инверсия приема.

9.5. Заменить традиционную воздушную среду; рассмотреть возможность использования вакуума, инертной, водной, космической или какой-либо другой среды (вакуумная упаковка, упаковка с использованием азота или других инертных газов, сортировка томатов по степени зрелости с помощью воды, изготовление новых материалов в космосе в условиях невесомости).

9.6. Заменить объекты (элементы) их оптическими копиями (изображениями); использовать изменение масштаба изображения. Перейти от видимых оптических копий к инфракрасным, ультрафиолетовым и другим изображениям (лазерное шоу, поиск объектов из вертолета с помощью инфракрасного излучения).

9.7. Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии, модели, макеты (беспилотные самолеты, применение дельтаплана для внесения гербицидов).

9.8. Заменить связи (способ или средства соединения) между элементами, жесткую связь гибкой (механизм подвески сошника по патенту ВУ 3452U [34]). Инверсия приема.

9.9. Изменить крепление объекта (элемента) на противоположное (расположение отвала в бульдозере, грейфере и прицепном планировщике).

9.10. Дорогостоящий долговечный элемент заменить дешевым, недолговечным (установка в предохранительном устройстве срезного штифта вместо пружины).

9.11. Осуществить превращение одних физических величин в другие (расходуя топливо, собираем зерно в бункер комбайна).

9.12. Осуществить обратную связь с помощью других величин (телефон — SMS — Интернет).

9.13. Заменить аналог или модель объекта (применение мостового земледелия вместо обычного).

9.14. Заменить в объекте источник энергии, тип привода, цвет и т.д. (электротрактор, автомобили и самолеты на солнечных батареях и т.д.).

9.15. Заменить механическую схему электрической, тепловой, оптической или электронной (первый телевизор был механическим).

9.16. Произвести замену конструкции (узла) ее эквивалентом (замена металлической пружины резиновым амортизатором).

9.17. Заменить объект (элемент) более простым (загортач по патенту ВУ 3905U [66]).

9.18. Заменить объект (элемент) аналогичным по своему функциональному назначению (замена сегментного режущего аппарата косилки на роторный по патенту ВУ 3751U [67]). Инверсия приема.

9.19. Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие (например, не охлаждать объект, а нагревать). Пример — при монтаже прессового соединения можно как охлаждать вал, так и нагревать втулку [63].

9.20. Использовать принцип действия, явления, процессы, приемы и свойства, диаметрально противоположные (обратные) традиционным и имеющимся (замена теребления корнеплодов моркови [68] срезом ботвы с последующим выкопкой корнеплодов копатель [69]).

9.21. Заменить принцип работы объекта (элемента) эквивалентным. Использовать другой принцип действия (в АН-24 авиадвигатели с одним пропеллером, а в АН-70 с двумя встречно вращающимися; замена пропеллерного двигателя на реактивный).

9.22. Несколько специализированных объектов заменить одним универсальным (жатку, подборщик и молотилку заменить зерновым комбайном). Инверсия приема.

#### **10. Дифференциация.**

10.1. Разделить движущийся поток (вещества, энергии, информации и др.) на два или несколько (пневмосеялка со многими сошниками).

10.2. Разделить сыпучий, жидкий или газообразный объект на части (дождевание, внесение удобрений).

10.3. Сделать элемент съемным, легко отделимым (лемех плуга, колесо автомобиля).

10.4. Применить раздвижную конструкцию из элементов, перемещающихся в пространстве относительно друг друга (зонт, крыша кабриолета, двери метро).

10.5. Сделать автономным управление и привод к каждому элементу (обрабатывающий центр, строительный кран).

10.6. Разделить объект на части, после чего обрабатывать, грунтовать и т.п. каждую часть отдельно (сортировальный пункт ПС-6).

10.7. Разделить объект на части так, чтобы их можно было заменять при изменении режима работы (почвообрабатывающий каток

по а. с. СССР 1342438 на комбинированном почвообрабатывающем агрегате АКШ-7,2 [70]).

10.8. Разделить технологический процесс (объект) на несколько специализированных этапов, операций или элементов (раздельная уборка зерна, корнеплодов, льна).

10.9. Использовать принцип специализации объектов (зверо-, птице- и свинофермы).

10.10. Разделить функции объекта; разные элементы должны выполнять различные функции (подача воды, корма и уборка навоза при привязном содержании животных).

10.11. Разделить объект на секции и сделать его секционным, ячеистым и т.п. (крылья самолёта в виде набора отдельных баков для топлива).

10.12. Выделить в объекте самый нужный элемент (нужное свойство) и усилить его или улучшить условия его работы (намораживание лемехов для плуга по технологии БГАТУ).

10.13. Уменьшить взаимозависимость элементов; уменьшить силу связей между ними; разделить объект на части и соединить их гибкой связью; разделить объект на независимые части (шарнирная рама трактора, косилка с шарнирной секцией для обработки откосов).

10.14. Раздробить семейство (множество) родственных объектов так, чтобы их можно было изготавливать из стандартных или унифицированных элементов (кирпичи, фундаментные блоки, панели и другие строительные материалы).

#### **11. Интеграция.**

11.1. Сосредоточить органы управления и контроля в одном месте (руль болида «Формулы-1»).

11.2. Объединить элементы единым корпусом или станиной (корпус корабля, рама комбайна).

11.3. Осуществить параллельное соединение машин и агрегатов для увеличения общей мощности или производительности (сцепка сеялок или борон).

11.4. Ввести единый привод, единую систему управления, энергоснабжения или питания (современный коровник с автоматизированной дойкой коров).

11.5. Соединить аналогичные объекты (элементы), последовательно присоединяя их к связующему нитевидному элементу (скребки транспортера, ковши элеватора, вагоны метро).

11.6. Изготовить объект целым (лодка из стекловолокна, пластиковый корпус «Трансбанда»).

11.7. Используя одновременно два и более однотипных объектов с разными количественными характеристиками, получить качественно новый эффект (плуг и луцильник).

11.8. Создать объект, объединить два или несколько элементов самостоятельного назначения, чтобы они полностью или частично включались один в другой (седельный тягач с прицепом, прицепной грейдер или скрепер [71]).

11.9. Использовать принцип агрегатирования. Создать базовую конструкцию, на которую можно «навесить» различные рабочие органы и агрегаты (мобильный комплекс «Полесье», трактор «Беларус» с оборудованием для коммунального хозяйства [72]).

11.10. Объединить стандартные или унифицированные элементы, узлы и детали (шарики или ролики в подшипниках).

11.11. Совместить или объединить явно несовместимые объекты, устранив возникающие противоречия (автомобиль-амфибия).

11.12. Осуществить симбиоз объекта с человеком или живым организмом (роботы, вживление ЧИПов).

## **12. Использование профилактических мер.**

12.1. Предусмотреть прикрытия и защиту легко повреждаемых элементов (чехлы, кожухи, лакокрасочные покрытия).

12.2. Ввести предохранительные устройства или блокировку (храповой механизм безопасной рукоятки [73]).

12.3. Разделить хрупкий и часто повреждаемый объект на части (остекление теплиц).

12.4. Выполнить объект (элемент) разборным так, чтобы можно было заменить отдельные поврежденные части (лемех плуга, вкладыши подшипников скольжения).

12.5. Для уменьшения простоев и повышения надежности создать легко используемый запас рабочих органов или элементов. Предусмотреть в ответственных частях объекта дублирующие элементы (запас лемехов при работе на почвах, засоренных камнями; тройное дублирование органов управления самолета).

12.6. Защитить объект (элемент) от электростатического или другого вредного поля (микроволновая печь, экран монитора).

12.7. Произвести экранирование объекта (хранение техники под навесом, маскировочные сети).

12.8. Заранее выполнить требуемое изменение объекта (полностью или хотя бы частично). Пример — предварительная уборка ботвы или подкопка корнеплодов.

12.9. Рассредоточить деформируемые участки объекта (элемента). Пример — многоосный колесный ход.

12.10. Предусмотреть компенсацию неточностей изготовления объекта (устраняющая зазор поджимающая пружина).

12.11. Разделить объект на части так, чтобы при выходе из строя одного элемента объект в целом сохранял работоспособность (двигатели самолета, шины бронетранспортера).

12.12. Использовать принцип снижения нагрузки (снижение скорости на повороте или при движении по неровностям).

## **13. Использование резервов.**

13.1. Использовать массу объекта (элемента) или периодически возникающих весовых и других усилий для получения дополнительного эффекта (утрамбовывание силоса трактором).

13.2. Использовать силу ноги (ног) или другого органа тела человека (велосипед).

13.3. Допустить факторы и явления, которые считаются недопустимыми. Пример — обратный ход в устройстве для отделения от корнеплодов почвы и растительных остатков по патенту ВУ 3172U [30].

13.4. Использовать паузы между импульсами (периодическими действиями) для осуществления другого действия. Пример — использование в пресс-подборщиках паузы в процессе сжатия для подачи материала.

13.5. Компенсировать чрезмерный расход энергии получением какого-либо дополнительного эффекта (использование опилок в качестве топлива, применение ресурсосберегающих технологий сельскохозяйственного производства [74, 75, 76]).

13.6. Расширить номенклатуру обрабатываемых деталей. Применить групповую обработку [62].

13.7. Один объект (элемент) поочередно работает в нескольких местах (зуб роторной бороны по патенту ВУ 3395U [77]).

13.8. По принципу самообслуживания объект должен выполнять не только основную работу, но и сам себя обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции, используя отходы энергии вещества и т.п. (космическая станция).

13.9. Выполнившие свое назначение или ставшие ненужными элементы, отходы (энергия, вещество) должны быть наиболее эффективно использованы для других целей (органические удобрения).

## **14. Преобразования по аналогии.**

14.1. Применить объект, используемый для подобных целей в другой отрасли техники (применение радиоизотопов с сельском хозяйстве).

14.2. Использовать природный принцип повторяемости однотипных элементов (пчелиные соты, клетки, листья, кристаллы и т.п.). Пример — блочное строительство.

14.3. Рассмотреть возможность копирования (брикетирование и гранулирование кормов).

14.4. Применить решение, аналогичное имеющемуся:

- в ведущей отрасли техники или в древних и прошлых технических объектах (колесо, рыхлитель, кран);
- в неживой природе (физика, химия, биология и др.). Пример — аэрозоли для внесения ядохимикатов;
- у современных или вымерших живых организмов (крылья);
- в экономике или общественной жизни людей (психологическая атака [24], шумовые, световые, электромагнитные сигналы для разгона птиц, крыс, мышей и т.д.);
- в научно-фантастической литературе (подлодки, роботы, межпланетные корабли).

Ответить на вопрос, как решаются подобные задачи в указанных областях. Перенести в свой объект аналогичный элемент. Выполнить аналогично компоновку, структуру, принцип действия и т.п.

14.5. Использовать принцип имитации, заключающийся в создании таких объектов, которые по форме, цвету, внешнему виду аналогичны другому объекту, но по ряду других свойств не соответствуют ему (лжеаэродромы и другие военные объекты).

14.6. Приспособить природные конструкции для технических целей.

14.7. Использовать аналогии функций и поведения других объектов.

14.8. Проверить, как решаются задачи, обратные данной.

### **15. Комбинирование и комплексный синтез.**

15.1. Гиперболизировать размеры объекта, создать «гигант» и найти ему применение. Инверсия приема (миниатюризация) — дирижабли, беспилотные летательные аппараты размером с муху.

15.2. Рассмотреть возможность использования различных энергетических установок (видов энергии) и их комбинации (биотопливо и т. д. [72]).

15.3. Создать объект (машину), сочетая унифицированные элементы (агрегаты), представляющие собой автономные узлы, устанавливаемые в различном числе и комбинациях на общей станине.

15.4. Базовый объект или основные его элементы использовать для создания объектов различного назначения, близких или различных по рабочему процессу.

15.5. Комбинировать универсальные элементы для осуществления различных функций.

15.6. Комбинировать: секции, узлы, блоки, агрегаты; универсальные элементы; переходные состояния.

15.7. Сделать объект компактным; изменить объект конструктивно, обеспечив его портативность.

15.8. Создать комплекс, гарнитур и т.п. [6].

15.9. Комбинировать привлекательные признаки и свойства объекта, технические идеи.

15.10. Рассмотреть комбинированное использование различных принципов действия.

15.11. Переделать объект, приспособив его к другим условиям работы: операциям, видам продукции — без изменения основной конструкции.

15.12. Использовать в качестве прототипа искомого объекта объект неживой или живой природы, близкие или отдаленные области техники, детские игрушки.

15.13. Создать технический объект, моделирующий живой организм (махолёт).

15.14. Рассмотреть возможность использования различных физических эффектов и их комбинаций.

15.15. Перейти от однофункционального объекта к многофункциональному. Комбинировать функции или цели.

15.16. Применить известный объект для другого назначения.

15.17. Найти новую область или способ применения объекта [74, 75, 76].

15.18. Придумать новую функцию, техническая реализация которой принесет значительное улучшение для жизни и работы человека.

15.19. Сформулировать (синтезировать) идеальное конструктивное решение и перейти от него к реальному.

15.20. Найти новое применение разработанной идеи или идеи, обратной ей.

15.21. Использовать принцип дробления общественных потребностей на несколько субпотребностей с последующим созданием технических объектов для удовлетворения каждой отдельной субпотребности.

### **16. Повышение технологичности [62, 78].**

16.1. Упростить форму и конструкцию деталей путем сокращения числа обрабатываемых поверхностей.

16.2. Выбрать форму и конструкцию элементов, обеспечивающих применение наиболее технологического оборудования, приспособлений и инструмента.

16.3. Выбрать конструкцию деталей и узлов, обеспечивающую максимальное совмещение и одновременное выполнение операций обработки и сборки.

16.4. Уменьшить или исключить пригоночные работы при сборке. Использовать средства компенсации неточности изготовления.

16.5. Осуществить технологическую унификацию конструкций, формы и размеров деталей.

16.6. Заменить механическую обработку способом обработки без снятия стружки.

16.7. Использовать саморегулирующиеся, восстанавливающиеся, самозатачивающиеся элементы и инструменты, сокращающие трудоёмкость технического обслуживания и ремонта.

16.8. Максимально применять стандартные методы, имеющие широкую область применения.

16.9. Использовать модульный принцип конструирования, когда из небольшого числа стандартных элементов (универсального набора) можно собрать любое изделие в заданном классе (например, универсально-сборные приспособления).

16.10. Максимально использовать в проектируемом объекте освоенные в производстве узлы и детали.

16.11. Использовать заготовки с размерами, максимально близкими к размерам готовой детали. Использовать точное литьё, штамповку, сварку.

16.12. Выбрать наиболее целесообразное расчленение объекта на блоки, узлы и детали.

16.13. Выбрать материал, обеспечивающий минимальную трудоёмкость изготовления деталей.

При формировании индивидуального фонда эвристических приемов необходимо в первую очередь отобрать наиболее подходящие и эффективные приемы из межотраслевого фонда. Для этого полезно руководствоваться следующими рекомендациями.

1. В индивидуальный фонд необходимо включать не менее одного приема из каждой классификационной группы (см. таблицу 7.1). При этом особое предпочтение следует отдавать приемам преобразования по аналогии (группа 14). Всего из межотраслевого фонда отбирается от 50 до 100 приемов. Большинство из них с позиций логического анализа и экспертных оценок должны иметь значительные потенциальные возможности по улучшению интересующего класса ТС или технологических процессов. Кроме того, до 20 % отобранных приемов должны, наоборот, содержать наименее веро-

ятные потенциальные возможности, поскольку такие приемы нередко обеспечивают нахождение наиболее оригинальных и эффективных ТР. Отобранные из межотраслевого фонда приемы желательно отредактировать и конкретизировать с ориентацией на рассматриваемый класс объектов.

2. Дальнейшее расширение и развитие индивидуального фонда можно выполнять на основе изучения и анализа истории конструктивной эволюции и соответствующего патентного фонда рассматриваемого класса ТС и объектов, близких по своему назначению и функциям, особенно в ведущих отраслях техники. При этом тщательно изучают моменты перехода от прототипов к улучшенным конструкциям и пытаются описать эти переходы в виде эвристических приемов. Особенно ценными являются заимствования из ведущих отраслей техники, где более быстрыми темпами развиваются аналогичные функциональные узлы и архитектура изделия в целом. Понятие «ведущая отрасль техники» объясняется функциональной близостью к рассматриваемому классу и более быстрыми темпами технического прогресса.

3. Индивидуальный фонд должен включать приемы, отражающие субъективный стиль мышления конструктора-изобретателя и его личный опыт. Как правило, эта группа приемов формируется независимо каждым пользователем.

Весьма ценное дополнение к индивидуальному фонду эвристических приемов составляют примеры решения конструкторско-изобретательских задач, описанные в специальной технической литературе. Для каждого целесообразно подобрать по два-три существенно различающихся примера, которые бы иллюстрировали широкие возможности приема. Вместе с тем необходимо подбирать такие примеры, которые можно было бы заимствовать как готовые решения (или фрагменты решений) при поисковом конструировании интересующего класса изделий. Подборку примеров уместно производить во время изучения и анализа истории конструктивной эволюции и патентного фонда указанных классов ТС.

**Формирование фонда аналогов ТР.** Фонд эвристических приемов используется в основном для преобразования некоторого аналога (известного конструктивного решения), не удовлетворяющего заданным требованиям, в искомое решение.

В проектно-конструкторских разработках на выбор аналога часто не накладывается никаких ограничений, а иногда, наоборот, прототип оказывается жестко заданным. Даже в последнем крайнем случае оказывается полезным рассматривать более широкую постанов-

ку задачи, т.е. искать решение путем преобразования нескольких аналогов. Таким образом, всегда полезно иметь заранее подобранный фонд аналогов, чтобы, с одной стороны, сократить затраты времени на их поиск в процессе решения задачи, а с другой — брать за основу наиболее ценные прототипы с точки зрения отдельных показателей или комплексной оценки. В качестве аналогов рекомендуется брать существенно отличающиеся наиболее перспективные ТР. Особое внимание следует уделить отбору ТР на уровне лучших мировых образцов. В целом фонд аналогов лучше подбирать во время изучения и анализа истории конструктивной эволюции аналогичных ТС и соответствующего патентного фонда.

**Формирование фонда материалов и конструктивных элементов.** Поскольку многие приемы преобразования прототипов связаны с использованием новых материалов или узлов и деталей, с их заменой или комбинированием, то желательно иметь специально подобранный (для интересующего класса ТС) фонд материалов и конструктивных элементов. Этот фонд должен также включать наиболее разнообразные и перспективные материалы и элементы, которые можно подбирать в процессе изучения и анализа истории конструктивной эволюции различных ТС и их патентных фондов, а также на основе изучения справочной литературы и новых стандартов на соответствующие материалы, узлы и детали.

**Рекомендации по применению метода.** При решении задач методом эвристических приемов последовательно выполняются следующие этапы поиска и обработки информации:

- 1) уяснение или формулировка технического задания — списка требований к искомому ТР;
- 2) выбор из фонда аналогов одного или нескольких прототипов, в наибольшей мере удовлетворяющих техническому заданию;
- 3) анализ прототипов, выявление их недостатков и формулировка постановки задачи в виде ответов на вопросы: какие показатели в прототипе и насколько желательно улучшить; какие новые свойства должно иметь создаваемое изделие или какие свойства должен утратить рассматриваемый прототип;
- 4) задачу начинают решать с выбора наиболее подходящих приемов из индивидуального фонда эвристических приемов. С помощью этих приемов преобразуют выбранные на втором этапе прототипы и анализируют возможность решения поставленной задачи. При этом следует иметь в виду, что задачу можно решить не сразу, с помощью одного приема, а последовательно улучшая результаты с помощью различных отдельных приемов. Иногда

удачное решение можно получить при одновременном комплексном использовании двух и более приемов.

Если использование какого-либо из выбранных приемов вызывает затруднение, то анализируют соответствующие примеры, которые играют роль обучающих задач или полуготовых решений. Если выбранные приемы не дают желаемого результата, то делается попытка применить подряд все приемы фонда. Если решаемая задача весьма важна и нет жестких ограничений по времени, то также целесообразно анализировать ее с точки зрения всех приемов индивидуального или даже межотраслевого фонда. Причем повторный анализ может дать интересные дополнительные результаты, если в качестве аналогов используются уже полученные промежуточные ТР. При неудачных попытках решения задачи необходимо вернуться к этапу 2 и изменить состав прототипов или к этапу 1 и изменить список требований.

**Практическое применение метода.** Метод эвристических приемов был использован при решении задач из различных областей техники. Наиболее показательным является описанный А.И. Половинкиным [75] случай разработки и применения специализированного метода эвристических приемов для поиска рациональных технических решений гидромелиоративных конструкций с применением мягких синтетических тканей, пленок и т.п. Метод использовался в СССР в 1980-х годах при систематической разработке нового класса конструкций различного назначения (водоподпорных, водопроводящих, регулирующих, сопрягающих, рыбопроводящих и др.) и для различных природных условий (топографических, гидрологических, геологических и т.д.). За короткое время было получено более 800 рекомендуемых технических решений, из которых около 40 многократно реализовано в строительстве с фактическим экономическим эффектом от 2 до 3 млн советских рублей в год. По этим разработкам получено более 50 авторских свидетельств, ряд из них запатентованы в Италии, ФРГ, Японии и других странах.

Эффективность специализированного метода эвристических приемов можно значительно повысить, привлекая компьютерные технологии. Рекомендуются следующие пути использования вычислительной техники.

На первом этапе можно создать обычную фактографическую информационно-поисковую систему, позволяющую по определенным запросам выбирать необходимую информацию (из фонда эвристических приемов и примеров решения аналогичных задач, фонда материалов и конструктивных элементов), что значительно сократит время поиска нужных приемов и других сведений. При этом

преобразование аналогов (синтез новых технических решений и их оценка) остается за человеком. На втором этапе ведут работы по программированию эвристических приемов, что позволяет, с одной стороны, часть работы по синтезу передать ЭВМ, с другой — иметь возможность создания и программирования математических моделей по оценке автоматически синтезируемых ТР. В некоторых случаях можно создавать универсальные математические модели, позволяющие оценивать весьма широкий класс решений по части показателей. Это позволяет в значительной мере автоматизировать оценку технических решений, синтезируемых конструктором или машиной. Метод эвристических приемов можно использовать при разработке самостоятельных человеко-машинных программ поиска новых ТР заданного класса. Такую программу можно включить в пакет прикладных программ подсистемы поискового конструирования. Кроме того, этот метод рекомендуется использовать при подготовке информационного обеспечения в машинных методах синтеза ТР, в частности при расширении множества ТР. Межотраслевой фонд эвристических приемов используется также при расширении возможностей методов математического программирования в поисковом конструировании.

## 7.2 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЭТЧЕТТА

**Цель метода, разработанного Е. Мэтчеттом**, английским специалистом в области методологии проектирования, — научить проектанта понимать и контролировать свой образ мыслей и более точно соотносить его со всеми аспектами проектной ситуации [6].

Фундаментальный метод проектирования включает последовательное выполнение следующих этапов:

- обучение принципам метода;
- использование особых «режимов мышления» для осознания, контроля и приспособления образа мышления к задачам проектирования;
- исследование характера проектной ситуации с помощью определенной методики проектирования и контрольных перечней.

Начальный этап предназначен для проектантов, не знакомых с этим методом, и направлен на то, чтобы придать им уверенность в целесообразности дальнейшего развития идей, от которых они преждевременно отказались бы, если бы работали традиционно.

Е. Мэтчетт утверждает, что придание уверенности для продолжения работы требует изменений в самооценке проектантов.

Когда обучающиеся осознают, что они начинают понимать и контролировать свой образ мыслей, у них появляются способность и желание использовать некоторые режимы мышления фундаментального метода проектирования для своих целей.

Основой такого мышления по фундаментальному методу проектирования являются два определения проектирования, данные английским ученым:

- 1) «хороший проект — это оптимальное решение, удовлетворяющее сумме истинных потребностей в конкретном комплексе обстоятельств»;
- 2) «проектирование — это выявление и разрешение конфликтов в многомерных ситуациях».

После обучения приступают к использованию следующих режимов мышления для осознания, контроля и приспособления образа мышления к задачам проектирования:

- стратегическими схемами;
- в параллельных плоскостях;
- с нескольких точек зрения;
- «образами»;
- в основных элементах.

Рассмотрим каждый более подробно.

**1. Мышление стратегическими схемами.** Этот режим подразумевает следующие способности:

- а) заранее выбрать стратегию (т.е. последовательность либо сеть действий или мыслей проектанта);
- б) сравнивать достигнутое с намеченным;
- в) разрабатывать правила для разработки стратегий.

**2. Мышление в параллельных плоскостях.** Это «отстраненное» наблюдение проектанта за своими собственными мыслями и действиями, а также за мыслями и действиями своих сотрудников в ходе выполнения проектных работ. В частности, проектант должен сознавать, в какой степени он направляет работу своих сотрудников и в какой они направляют его работу; он должен также уметь сосредоточивать внимание на своем образе мышления в процессе проектирования.

**3. Мышление с нескольких точек зрения.** Этот режим аналогичен предыдущему, но направлен на решение задачи проектирования, а не на процесс ее выявления. В предельно упрощенной форме это означает определение целей через функции объекта проектиро-

вания, когда объект «обеспечивает возможность» что-то сделать. В более сложной форме используются контрольные перечни.

**4. Мышление «образами».** Этот режим мышления труднее всего поддается определению. Он заключается в том, чтобы мысленно представить себе или вычертить геометрические схемы, позволяющие проектанту сопоставить контрольные перечни фундаментального метода проектирования с формами его собственного опыта и мышления. Рисунки, с помощью которых Е. Мэтчетт иллюстрирует этот режим мышления (рисунок 7.3), напоминают магические образы таких художников, как Марсель Дюшан.

Е. Мэтчетт называет их «синтетическими архетипами», имея в виду, что речь идет о чем-то, что управляет ассоциациями между отдельными мыслями.

Основное назначение мышления «образами» заключается в том, чтобы дать проектанту запоминающийся образ взаимосвязей между задачей проектирования, процессом проектирования и решением.

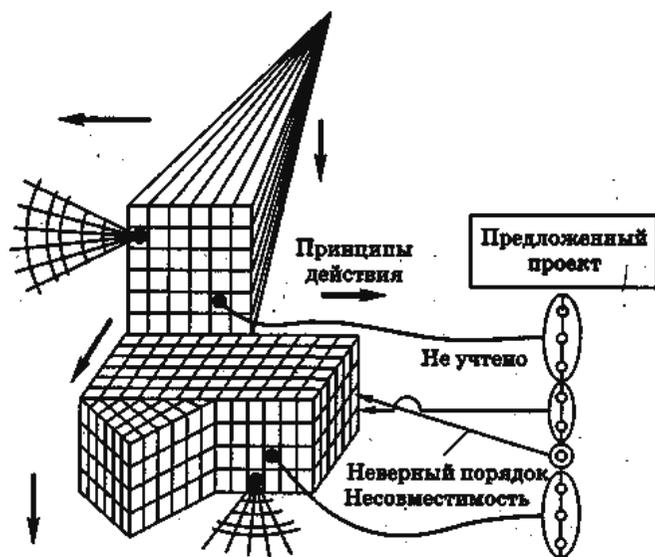


Рисунок 7.3 — Режим мышления «образами»

**5. Мышление в основных элементах.** Это самый понятный из пяти режимов мышления; в его описании применяются простые слова, обозначающие небольшие элементы мысли или действия, которые, как правило, встречаются в процессе решения любой задачи.

Е. Мэтчетт назвал эти элементы «течтэмами», записав свою фамилию справа налево. Назначение течтэмов заключается в том, чтобы заставить проектанта осознать множество альтернативных действий, которые он может предпринять в каждой точке принятия решений. Е. Мэтчетт разбивает течтэмы на семь групп (Дж. Джонс [8] присвоил группам соответствующие названия, приведенные в скобках).

**Группа 1 (варианты решений):**

- определить потребность;
- определить необходимый элемент;
- представить себе решение;
- принять временное решение;
- принять окончательное решение;
- отменить решение.

**Группа 2 (варианты суждений):**

- предположить;
- взвесить;
- взвесить и сравнить;
- экстраполировать;
- оставить без изменений;
- предсказать.

**Группа 3 (варианты стратегий):**

- продолжить в том же направлении;
- продолжить и расширить;
- изменить направление;
- сопоставить с прошлым;
- сопоставить с будущим;
- внимательно рассмотреть;
- разрешить конфликт;
- продолжить более интенсивно;
- прекратить.

**Группа 4 (варианты тактик):**

- оценить риск;
- проверить последствия;
- развить;
- сравнить с другими решениями;
- разделить действие;
- приспособить другое решение;
- сосредоточиться на малом участке;
- разложить на компоненты;
- проверить возможную причину;
- обдумать возможность нового решения;

- заменить решение на обратное;
- проверить другие варианты.

**Группа 5 (варианты отношений):**

- хранить решение в памяти;
- выявить зависимость;
- отложить принятие решения;
- сообщить о решении;
- соотнести с ранее принятым решением;
- проверить на избыточность;
- проверить на несоответствие.

**Группа 6 (варианты понятий):**

- использовать понятие;
- изменить плоскость абстракции;
- использовать схему стратегии;
- изменить точку зрения;
- сравнить с существующей системой;
- сравнить с получающейся системой;
- применить «первичное кольцо»;
- применить «вторичное кольцо».

**Группа 7 (варианты препятствий):**

- обойти препятствие;
- разрушить препятствие;
- устранить препятствие;
- начать новое действие с нуля;
- начать новое действие с принятого решения;
- действовать в одном, двух, трех или многих измерениях.

**Методика проектирования.** Методику проектирования по Е. Мэтчетту можно вкратце изложить следующим образом:

- 1) исследуется проектная ситуация;
- 2) приблизительно определяются потребности, на удовлетворение которых направлено проектирование;
- 3) выявляется и анализируется основная функциональная потребность, без удовлетворения которой нет смысла удовлетворять другие;
- 4) исследуются альтернативные принципы, на которых могло бы быть построено средство для удовлетворения основной потребности;
- 5) выполняется (только в эскизе) проект, способный удовлетворить как основную, так и дополнительные потребности;
- 6) оценивается функциональная эффективность проекта;
- 7) оценивается материалоемкость и трудоёмкость осуществления данного проекта;

8) определяется качество деталей и узлов, например степень деформации при сварке, совершенство внешнего вида и т.д.

Е. Мэтчетт подчеркивает, что не нужно жестко придерживаться этой последовательности; проектанты должны сами решать, когда применить тот или иной этап, когда повторить его, а когда пропустить. Главное состоит в том, чтобы проектанты могли изменять структуру своего опыта и мышления в соответствии с существенными особенностями и многофакторностью проектной ситуации.

**Контрольные перечни.** Контрольные перечни фундаментального метода проектирования (Мэтчетт называет их «стандартными последовательностями») представляют собой развитие обычных в анализе трудовых операций вопросов «что?», «почему?», «когда?» и т.д. Часто их комбинируют парами, что позволяет получить большое разнообразие более конкретных вопросов.

1. Какие потребности являются:

- жизненно важными?
- очень важными?
- важными?
- желательными?

2. Каковы потребности:

- функциональной системы?
- потребителя?
- фирмы?
- внешнего мира?

3. Каковы потребности на каждом из этапов существования изделия:

- проектирование и деталировка?
- отработка?
- изготовление деталей?
- сборка?
- испытание и отладка?
- окончательная отделка и упаковка?
- сбыт?
- монтаж?
- эксплуатация и неправильное использование?
- техническое обслуживание и ремонт?

4. Какие сведения можно получить, если задать шесть основных вопросов анализа трудовых операций:

- что нужно сделать? (потребности);
- почему это нужно сделать? (причина);
- когда это нужно сделать? (время);
- где это нужно сделать? (место);

- кем или с помощью чего это должно быть сделано? (средства);
- как это сделать? (метод).

5. Каким образом каждую часть проекта можно:

- исключить?
- объединить с другими?
- унифицировать?
- перенести?
- модифицировать?
- упростить?

Этот комплекс вопросов Е. Мэтчетт называет «первичным кольцом», а следующий комплекс — «вторичным кольцом».

6. Какие эффекты, потребности, ограничения вызовет каждая деталь комплекса в отношении любой другой детали этого комплекса?

Назначение «первичного кольца» — выявить множество различных альтернатив, а «вторичного кольца» — обеспечить увязку всех изменений друг с другом, а также со всеми имеющимися потребностями. Вопросы, порождающие многообразие, необходимо применять для выявления существенных характеристик изучаемого объекта и для устранения из проекта ненужных элементов.

Главное в этом методе — обучение метаязыку, который выявляет характерные особенности мышления и облегчает его согласование с характером решаемой задачи. Считается, что метод Е. Мэтчета — один из немногих системных методов, продемонстрировавших свою работоспособность, он резко повышает мастерство проектанта за счет сознательного управления самим процессом проектирования.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом производится выбор наиболее эффективных вариантов ТР?
2. Что такое эвристический метод проектирования?
3. По каким признакам производят классификацию эвристических методов?
4. Какими группами характеризуется межотраслевой фонд эвристических приемов?
5. В чем сущность метода эвристических приемов?
6. В чем суть метода проектирования, разработанного Е. Мэтчеттом?
7. Изложите методику проектирования по Е. Мэтчетту.

## 8 ТЕОРИЯ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ (ТРИЗ)

### 8.1 ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ТРИЗ

На современном этапе развития инженерного образования все большую роль играют дисциплины, обучающие студентов навыкам решения различных творческих задач. Поэтому в ряде вузов РФ и особенно за рубежом в составе как многих учебных предметов, так и в качестве отдельной дисциплины изучается ТРИЗ (теория решения изобретательских задач) Г.С. Альтшуллера — изобретателя и писателя (псевдоним — Генрих Альтов).

Основной постулат ТРИЗ состоит в том, что технические системы развиваются по определенным законам, эти законы можно выявить и использовать для создания **алгоритма решения изобретательских задач**. Созданию и совершенствованию ТРИЗ, а в конечном счете, созданию теории сильного мышления, Г.С. Альтшуллер посвятил свою жизнь — около 50 лет.

Им была сформулирована идея выявления и преодоления технического противоречия (ТП), выявлены некоторые закономерности (в частности, то, что теперь называют переходом в надсистему, а также закон согласования ритмики) и приемы (один из первых — изменение агрегатного состояния), использовались некоторые химические эффекты: применение сильных окислителей, взрывчатых веществ, появился информфонд.

Как писатель-фантаст Генрих Альтов ставил задачу: методами литературы показать развитие науки и техники в направлении идеала, считая в то же время главной целью фантастики как литературного жанра — человековедение. Он один из ведущих отечественных писателей-фантастов 1960-х годов, автор «Регистра научно-фантастических идей и ситуаций» (своеобразного патентного фонда идей мировой фантастики), автор научно-фантастических очерков, а также очерков о судьбе предвидений Ж. Верна, Г. Уэллса, А. Беляева.

В 1970 году создал в Баку Школу молодого изобретателя, которая в 1971 году переросла в АзОИИТ (Азербайджанский общественный институт изобретательского творчества) — первый в мире центр обучения ТРИЗ. Организовывал первые в стране школы изобретательского творчества, общественные университеты научно-технического творчества во многих городах. Общее число таких школ в 80-е годы превышало 500, и о них был снят фильм «Алгоритм изобретений» («Центрнаучфильм»).

Преподавал ТРИЗ школьникам с 1970 г. С 1974 г. по 1986 г. вел изобретательский раздел в газете «Пионерская правда». За 12 лет проведения не имеющего аналогов в мире эксперимента по обучению ТРИЗ школьников 10–17-ти лет им было проанализировано полмиллиона писем с решениями изобретательских задач. На основе этого уникального опыта написана книга «И тут появился изобретатель» (1984; 1987; доп. и перераб., 1989; 2000).

В 1973 г. ввел в практику решения изобретательских задач вепольный анализ, а в 1975 г. — стандарты на решение изобретательских задач.

С 1989 г. по 1998 г. — президент Ассоциации ТРИЗ, которая продолжает активно работать, проводя ежегодно различные семинары, конференции во многих странах мира. Книги Г.С. Альтшуллера переведены на 14 языков мира.

Основные функции ТРИЗ:

- 1) решение творческих и изобретательских задач любой сложности и направленности **без перебора вариантов** (и не ожидая вдохновения);
- 2) решение научных и исследовательских задач;
- 3) выявление проблем, трудностей и задач при работе с техническими системами и при их развитии;
- 4) выявление и устранение причин брака и аварийных ситуаций;
- 5) максимально эффективное использование ресурсов природы и техники для решения многих проблем;
- 6) прогнозирование развития технических систем и получение перспективных решений (в том числе и принципиально новых);
- 7) объективная оценка решений;
- 8) систематизирование знаний любых областей деятельности, позволяющее значительно эффективнее использовать эти знания и на принципиально новой основе развивать конкретные науки;
- 9) развитие творческого воображения и мышления;
- 10) развитие качеств творческой личности и развитие творческих коллективов.

## 8.2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. УРОВНИ СЛОЖНОСТИ ЗАДАЧ

Структура и функции ТРИЗ включают в себя:

- 1) **законы развития технических систем (ТС);**
- 2) **информационный фонд;**

- 3) **структурный вещественно-полевой (вепольный) анализ технических систем;**
- 4) **алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ);**
- 5) **методы развития творческого воображения.**

ТРИЗ основывается на следующих **базовых понятиях**.

**А. Изобретательская ситуация и изобретательская задача.**

Когда техническая проблема встает перед изобретателем впервые, она обычно имеет расплывчатую формулировку и не содержит в себе указаний на пути решения. В ТРИЗ такая форма постановки называется **изобретательской ситуацией**. Главный ее недостаток состоит в том, что перед инженером оказывается чересчур много путей и методов решения. Полный их перебор является трудоёмкой и дорогой операцией, а выбор путей на удачу приводит к малоэффективному методу проб и ошибок. Поэтому первым шагом на пути к изобретению является переформулирование ситуации таким образом, чтобы уже сама формулировка отсекала бесперспективные и неэффективные пути решения. При этом возникает вопрос: **какие решения являются эффективными, а какие — нет?**

Г. Альтшуллер предположил, что самое эффективное решение проблемы — такое, которое достигается **само по себе**, только за счёт уже имеющихся ресурсов. Таким образом он пришёл к формулировке идеального конечного результата (ИКР): «Некий элемент (X-элемент) системы или окружающей среды **сам** устраняет вредное воздействие, сохраняя способность выполнять полезное воздействие». Он соответствует упоминавшемуся выше в разделе 6.3 понятию идеального технического решения (ИТР), которое разработчики и изобретатели называют по-разному: идеальный образ машины, идеальный конечный результат, идеальная машина, предельно совершенное устройство и т.д. ИТР является как бы ориентиром для выбора прототипа и разработки улучшенного ТО.

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

- 1) размеры, объем, площадь ТО приближаются или совпадают с размерами, объемом и площадью обрабатываемого или транспортируемого объекта, а чистая масса ТО намного меньше массы обрабатываемого объекта.
- 2) 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). Устройство, которое работает, но которое не существует, следо-

вательно, и не требует никакого обслуживания, в идеале должно обслуживать само себя (полная автоматизация, авторегулировка, автоподналадка);

- 3) время обработки объекта приближается к нулю или равно нулю;
- 4) КПД приближается к единице или равен единице, а расход энергии приближается к нулю или равен нулю;
- 5) все части ТО все время выполняют полезную работу в полную меру своих расчетных возможностей;
- 6) ТО функционирует бесконечно длительное время без ремонта и остановок;
- 7) надежность и долговечность бесконечно высоки или же бесконечно низки (бесконечно высокая хрупкость конструкции — пожарные окна);
- 8) ТО функционирует без человека или при его минимальном участии;
- 9) ТО не оказывает никакого отрицательного влияния на человека и окружающую природную среду;
- 10) стоимость ТО равна нулю или близка к нулю.

При формировании ИТР (ИКР) для своего класса ТО можно стать на время футурологом или писателем-фантастом и описать максимально подробно (для реализации рассматриваемой функции) техническое решение будущего удовлетворяющего по возможности указанным свойствам ИТР (ИКР). Особое внимание обращают на физический принцип действия, внешний вид и основные показатели эффективности ТО. При этом целесообразно использовать прямую мозговую атаку, чтобы создать как можно больше предложений, даже безумных и невероятных. Для эффективности мозговой атаки полезно помнить два основных правила: не следует заранее думать, возможно или невозможно в принципе осуществить ИТР (ИКР), а также как и какими путями оно будет реализовано.

В реальности ИКР (ИТР) редко достижим полностью, однако он является ориентиром для изобретательской мысли. Сравнение решений по степени идеальности дает инструмент оценки качества решения.

Теперь, получив инструмент отсеечения неэффективных решений, можно переформулировать изобретательскую ситуацию в стандартную **мини-задачу**: *«Согласно ИКР, все должно остаться так, как было, но либо должно исчезнуть вредное, ненужное качество, либо появиться новое, полезное качество»*. Основная идея мини-задачи в том, чтобы избегать существенных (и дорогих) изменений и рассматривать в первую очередь простейшие решения.

Формулировка мини-задачи способствует более точному описанию проблемы:

- из каких частей состоит система, как они взаимодействуют?
- какие связи являются вредными, мешающими, какие — нейтральными, и какие — полезными?
- какие части и связи можно изменять, а какие — нельзя?
- какие изменения приводят к улучшению системы, и какие — к ухудшению?

#### **Б. Противоречия.**

После того как мини-задача сформулирована и система проанализирована, обычно быстро обнаруживается, что попытки изменений с целью улучшения одних параметров системы приводят к ухудшению других параметров. Например, увеличение прочности крыла самолёта может приводить к ухудшению его весовых характеристик, и наоборот — облегчение крыла приводит к снижению его прочности. В системе возникает конфликт, **противоречие**. ТРИЗ выделяет 3 вида противоречий (в порядке возрастания сложности разрешения):

- **административное противоречие**: *«надо улучшить систему, но я не знаю как (не умею, не имею права) сделать это»*. Это противоречие является самым слабым и может быть снято либо изучением дополнительных материалов, либо принятием (снятием) административных решений;
- **техническое противоречие**: *«улучшение одного параметра системы приводит к ухудшению другого параметра»*. Техническое противоречие — это и есть постановка **изобретательской задачи**. Переход от административного противоречия к техническому резко понижает размерность задачи, сужает поле поиска решений и позволяет перейти от метода проб и ошибок к алгоритму решения изобретательской задачи, который либо предлагает применить один или несколько стандартных технических приемов, либо (в случае сложных задач) указывает на одно или несколько физических противоречий;
- **физическое противоречие**: *«для улучшения системы какая-то ее часть должна находиться в разных физических состояниях одновременно, что невозможно»*. Физическое противоречие является наиболее фундаментальным, потому что изобретатель упирается в ограничения, обусловленные физическими законами природы. Для решения задачи изобретатель должен воспользоваться справочником физических эффектов и таблицей их применения.

**В. Информационный фонд** состоит из:

- **системы стандартов на решение изобретательских задач** (типичные решения определенного класса задач);
- **технологических эффектов** (физических, химических, биологических, математических, в частности наиболее разработанных из них в настоящее время — геометрических) и таблицы их использования;
- **приемов устранения противоречий** и **таблицы их применения**;
- **ресурсов природы и техники** и способов их использования.

**Г. Стандарты на решение изобретательских задач** представляют собой комплекс приемов, использующих физические или другие эффекты для устранения противоречий. Это своего рода формулы, по которым решаются задачи. Для описания структуры этих приемов Г. Альтшуллером был создан вещественно-полевой (вещный) анализ. Система стандартов состоит из классов, подклассов и конкретных стандартов. Эта система включает 76 стандартов. С ее помощью можно не только решать, но и выявлять новые задачи и прогнозировать развитие технических систем.

**Д. Технологические эффекты.**

Технологический эффект — это преобразование одних технологических воздействий в другие. Могут требовать привлечения других эффектов: физических, химических и т.п.

**Е. Физические эффекты.**

Известно около пяти тысяч физических эффектов и явлений. В разных областях техники могут применяться различные группы физических эффектов, но есть и общеупотребительные. Их примерно 300–500.

**Ж. Химические эффекты** — это подкласс физических эффектов, при котором изменяется только молекулярная структура веществ, а набор полей ограничен в основном полями концентрации, скорости и тепла. Ограничившись лишь химическими эффектами, зачастую можно ускорить поиск приемлемого решения.

**З. Биологические эффекты** — это эффекты, производимые биологическими объектами (животными, растениями, микробами и т.п.). Применение биологических эффектов в технике позволяет не только расширить возможности технических систем, но и получать результаты, не нанося вреда природе. С помощью биологических эффектов можно выполнять различные операции: обнаружение, преобразование, генерирование, поглощение вещества и поля и др.

**И. Математические эффекты.**

Среди математических эффектов наиболее разработанные геометрические. **Геометрические эффекты** — это использование геометрических форм для различных технологических преобразований. Широко известно применение треугольника, например использование клина или скользящих друг по другу двух треугольников.

**К. Система приемов**, используемая в ТРИЗ, включает **простые** и **парные (прием–антиприем)**.

**Простые приемы** позволяют разрешать технические противоречия. Среди простых наиболее популярны **40 основных приемов**.

Парные приемы состоят из приема и антиприема, с их помощью можно разрешать физические противоречия, так как при этом рассматривают два противоположных действия, состояния, свойства.

**Л. Основные приемы разрешения технических противоречий.**

Анализ многих тысяч изобретений позволил выявить, что при всем многообразии технических противоречий большинство из них решается 40 основными приемами.

Работа по составлению списка таких приемов была начата Г.С. Альтшуллером еще на ранних этапах становления теории решения изобретательских задач. Для их выявления понадобился анализ более 40 тыс. авторских свидетельств и патентов. Приемы эти и сейчас представляют для изобретателей большую эвристическую ценность. Их знание во многом позволяет облегчить поиск ответа.

Но эти приемы показывают лишь общее направление и область, где могут быть сильные решения. Конкретный же вариант решения они не выдают, эта работа остается за человеком.

**М. Таблица выбора приема устранения технических противоречий** (в упрощенном виде представлена в таблице 8.2).

**Н. Ресурсы.**

Вещественно-полевые ресурсы (ВР) — это ресурсы, которые можно использовать при решении задач или развитии системы. Использование ресурсов увеличивает идеальность системы.

- **Статика** — законы 1–3, определяющие условия возникновения и формирования технической системы.

- **Кинематика** — законы 4–6, 9, определяющие закономерности развития вне зависимости от воздействия физических факторов. Важны для периода начала роста и расцвета развития ТС.

- **Динамика** — законы 7–8, определяющие закономерности развития ТС в зависимости от воздействия конкретных физических факторов. Важны для завершающего этапа развития и перехода к новой системе.

1. Закон полноты частей системы.
2. Закон «энергетической проводимости» системы.
3. Закон согласования ритмики частей системы.
4. Закон увеличения степени идеальности системы.
5. Закон неравномерности развития частей системы.
6. Закон перехода в надсистему.
7. Закон перехода с макроуровня на микроуровень.
8. Закон увеличения степени вепольности.
9. Закон увеличения степени динамичности систем [9]. Самый важный закон, рассматривает одно из базовых понятий в ТРИЗ — «идеальность» системы.

#### II. Вещественно-полевой (вепольный) анализ.

**Веполь** (то есть вещество + поле) — модель взаимодействия в минимальной системе, в которой используется характерная символика.

Г.С. Альтшуллер разработал методы для анализа ресурсов. Несколько из открытых им принципов рассматривают различные вещества и поля для разрешения противоречий и увеличения идеальности технических систем. Например, система «телетекст» использует телевизионный сигнал для передачи данных, заполняя небольшие промежутки времени между телевизионными кадрами в сигнале.

Еще одна техника, которая широко используется изобретателями, заключается в анализе веществ, полей и других ресурсов, которые не используются и которые находятся в системе или рядом с ней.

**Р. Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ)** — пошаговая программа (последовательность действий) по выявлению и разрешению противоречий, то есть решению изобретательских задач (около 85 шагов).

АРИЗ включает:

- собственно программу;
- информационное обеспечение, питающееся из информационного фонда;
- методы управления психологическими факторами, которые входят составной частью в методы развития творческого воображения.

В [80] представлена последняя версия алгоритма решения изобретательских задач АРИЗ-85-В.

**По уровню сложности** Г.С. Альтшуллер делит задачи аналогично матрице инженерного творчества (таблица 6.2). Все пять уровней сложности этих задач будут рассматриваться на практических занятиях.

### 8.3 СОВРЕМЕННЫЕ ВЕРСИИ ТРИЗ

Как было отмечено в разделе 1.4, освоение методов ТРИЗ является весьма трудоёмкой задачей, требующей значительных затрат учебного времени. Поэтому последнее время находят всё большее применение простейшая практическая версия теории решения изобретательских задач Мета-АРИЗ и на ее основе — структурированное представление изобретательских задач и решений в виде Мета-алгоритма SMART-A, представляющего собой [33] четырехэтапную логическую схему решения творческих проблем на основе ТРИЗ и Мета-АРИЗ, каждый этап которой, а именно: **Диагностика, Редукция, Трансформация и Верификация** — содержит минимальное количество ТРИЗ-навигаторов, **необходимых** для решения проблем [13].

Кроме уменьшения до предела количества навигаторов, упрощение SMART-A связано с тем, что ТРИЗ-навигаторы в SMART-A имеют упрощенную структуру и сокращенный функциональный объем.

SMART-A является «маршрутом», по которому решатель проблемы переходит от исходного состояния объекта к его будущему состоянию (рисунок 8.1).

Структура SMART-A представлена на рисунке 8.2. SMART-A предназначен для самого первого ознакомления начинающих с принципами и инструментами ТРИЗ и поэтому содержит только самые необходимые модели и минимальный маршрут для решения проблем.

**Есть** → SMART-A → **Должно быть**  
 (Существующее) → → (Возникающее)

Рисунок 8.1 — SMART-A как «мост» из настоящего в будущее состояние объекта

Вместе с тем SMART-A может применяться и для пробного решения проблем. Попытка или несколько попыток пробного решения проблемы по упрощенной схеме позволяют оценить сложность проблемы. Поэтому такие пробные попытки решения проблемы вполне можно назвать «экспресс-анализом».

Особенностью SMART-A как специальной простейшей версии Мета-АРИЗ является то, что он дает возможность начинающим быстро понять основы методологии и инструментария ТРИЗ.

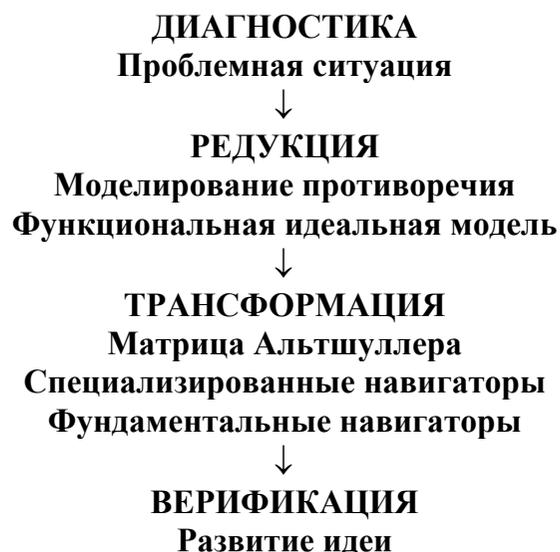


Рисунок 8.2. — Мета-алгоритм SMART-A

**Диагностика в SMART-A** — первый этап в четырехэтапной логической схеме решения творческих проблем на основе ТРИЗ и Мета-АРИЗ, предназначенный для выявления основных аспектов исходной проблемной ситуации.

Этап «Диагностика» в SMART-A содержит единственный ориентировочный блок «Проблемная ситуация», предполагающий первичное изучение проблемы через выполнение следующих минимально необходимых действий:

- выявление содержания проблемы: что требуется развить, усовершенствовать в объекте или что мешает нормальной работе объекта и что нужно устранить в объекте для улучшения его функционирования;
- выявление причин существования проблемы;
- определение интервалов времени существования проблемной ситуации и времени отсутствия негативных явлений;
- первичный анализ возможностей получения нужного функционирования (и-или устранения недостатка);
- устранение дефицита средств для получения нужного функционирования (и-или устранения недостатка).

Прежде всего следует учесть, что «Диагностика» выполняется для существующего объекта. Изучается состояние «Есть», то, что присутствует в объекте в настоящее время.

В помощь для систематизации диагностики может быть применена система вопросов (таблица 8.1) под названием «Навигатор Квинтиллиана» — по имени римского теоретика ораторского искусства (I в. н. э.).

Таблица 8.1 — Навигатор Квинтиллиана

Вопросы Квинтиллиана			Содержание ответа
1	Объект	Что?	Проблема в виде конфликта несовместимых свойств
2	Место	Где?	Локализация в системе
3	Время	Когда?	Локализация во времени
4	Субъект	Кто?	Участники взаимодействия
5	Способ	Как?	Причины возникновения несовместимых свойств
6	Средство	Чем?	Известные способ и средство устранения проблемы
7	Цель/причина	Для чего/почему?	Цель усовершенствования (развития)

**Редукция в SMART-A** — второй этап в четырехэтапной логической схеме решения творческих проблем на основе ТРИЗ и Мета-АРИЗ, предназначенный для построения гипотез (*идеальный конечный результат* и *функциональное идеальное моделирование*) и моделей (*противоречия* и *ресурсы*) с целью точного определения главного конфликта проблемы и представления его в стандартизированной форме.

Этап «Редукция» в SMART-A содержит два навигационных блока: «Моделирование противоречия» и «Функциональная идеальная модель», — предполагающих построение стандартизованного представления проблемы и ее решения через выполнение следующих минимально необходимых, ориентировочных действий:

- точное определение причин конфликта;
- выявление и представление конфликтующих свойств в виде бинарного противоречия с соответствующими плюс- и минус-факторами;

- определение характера противоречия — техническое или-и физическое;
- подбор стандартизованных плюс- и минус-факторов для технического противоречия и переход к  $A^S$ -Матрице и-или к  $A^S$ -Каталогу (фактически на этап «Трансформация»);
- определение для физического противоречия основного дефицитного (критического, доминирующего) ресурса и переход к  $A^F$ -Каталогу;
- уточнение интервалов времени существования проблемной ситуации (оперативного времени) и времени отсутствия негативных явлений;
- формирование представлений об *идеальном конечном результате* и *функциональной идеальной модели*);
- тщательный анализ и выявление оперативных ресурсов, потенциально пригодных для получения результата.

«Редукция» выполняется для приведения исходных неструктурированных описаний проблемы к стандартизованным структурированным представлениям, позволяющим перейти к соответствующим моделям трансформации.

Чрезвычайно важным моментом «Редукции» является построение функциональной идеальной модели будущего объекта. Можно сказать, что при этом изучается состояние «Должно быть», то, что будет реализовано в объекте в будущем — см. рисунок 8.1.

Для объяснения важности правильной редукции полезно рассмотреть схему, интерпретирующую процесс решения проблем в ТРИЗ как «поведение» человека при сопоставлении и поиске аналогий со стандартными ТРИЗ-решениями (рисунок 8.3).

## РЕДУКЦИЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

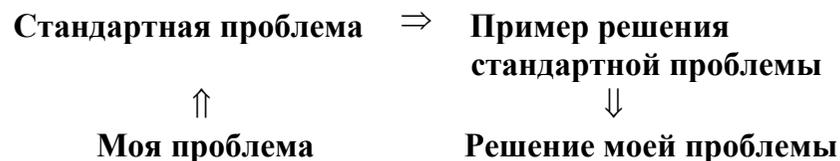


Рисунок 8.3 — «Поведенческая» модель ТРИЗ-решения проблемы

Чем точнее будет определена стандартизованная модель, тем выше вероятность выхода на пример стандартного решения, которое может сыграть решающую роль в формировании идеи трансформации объекта и решения существующей проблемы.

Вместе с тем следует отметить, что такой подход эффективен для задач, как раз относящихся к «стандартным» по классификации ТРИЗ, что не умаляет важности этого подхода, так как по той же классификации «стандартные» задачи составляют около 75–80 % от общего количества решаемых задач.

Этот подход эффективен и для решения «нестандартных» задач, так как позволяет исследовать устойчивость, сопротивляемость таких задач при применении тех или иных подходов. В целом это кардинально сокращает перебор путей к решению, делает поиск упорядоченным и направленным.

**Трансформация в SMART-A** — третий этап в четырехэтапной логической схеме решения творческих проблем на основе ТРИЗ и Мета-АРИЗ, предназначенный для *генерации* (поиска, синтеза) идей новой организации совершенствуемого или создаваемого вновь объекта.

Этап «Трансформация» в SMART-A содержит три ориентировочных блока: «Матрица Альтшуллера», «Специализированные навигаторы» и «Фундаментальные навигаторы», — предполагающих формирование идеи решения через выполнение следующих минимально необходимых действий:

- выбор моделей трансформации, наиболее близко соответствующих стандартизованной модели противоречия решаемой проблемы;
- изучение и интерпретация выбранных моделей трансформации и поясняющих их примеров применительно к решаемой проблеме;
- организация при необходимости внутренних циклов в SMART-A для возврата на этапы «Редукция» или «Диагностика» с целью уточнения и изменения ранее созданных моделей и гипотез.

В соответствии с упрощенной моделью, показанной на рисунок 8.2, очень кратко творческую концепцию этапа «Трансформация» можно выразить следующим образом: на основе имеющихся или преобразованных ресурсов и с использованием навигаторов-аналогов устранить противоречие, мешающее достичь идеального результата.

Все эти этапы реализуются человеком, а потому зависят от многих субъективных особенностей каждого человека, и прежде всего от правильного восприятия проблемы, от отношения к предпола-

гаемому решению и от способностей и подготовленности к генерации идей.

Именно на этом этапе мобилизуются в полной мере вместе рациональный и эмоциональный интеллекты человека, все духовные, психологические, а нередко и физические ресурсы.

При решении человеком интеллектуальных задач трудно ожидать получения одинаковых результатов даже при применении одних и тех же рекомендаций. Это объясняется тем, что в творческом моделировании большую роль играют интуитивные аспекты мысленного моделирования, по-разному проявляющиеся у разных индивидуумов да еще зависящие от психологического состояния человека.

**Верификация в SMART-A** — четвертый этап в четырехэтапной логической схеме решения творческих проблем на основе ТРИЗ и Мета-АРИЗ, предназначенный для *оценки* новой идеи, а также для возможного развития как полученной идеи, так и методов создания новых идей.

Этап «Верификация» в SMART-A содержит один ориентировочный блок, обобщенно названный «Развитие идеи» и предполагающий выполнение как минимум следующих действий:

- проверку достоверности факта действительного устранения исходного противоречия, а с ним и исходной проблемы;
- оценку функциональной эффективности новой идеи;
- оценку возможностей развития идеи — создания модификаций, дальнейшего повышения эффективности, снижения затрат на будущую реализацию и т.п.;
- оценку способа получения решения — реинвентинг собственного решения с целью выявления возможных пропущенных вариантов, а также с целью возможного выявления новизны каких-то аспектов процесса решения для включения в банк новых методов ТРИЗ;
- анализ возможных изменений в окружающих системах, в способах применения нового объекта;
- исследование последствий применения нового объекта для природы и общества;
- поиск скрытых позитивных и негативных эффектов функционирования и применения объекта;
- принятие решения о переходе на новый цикл решения исходной задачи или переформулирование прежней постановки и замену задачи.

## 8.4 КАТАЛОГ И МАТРИЦА ПРИЕМОВ. НЕДОСТАТКИ ТРИЗ

$A^S$ -Матрица выбора  $A^S$ -приемов (называемая также *Матрица приемов*, *A-Матрица* или *Матрица Альтшуллера*) оказалась исключительно удобным инструментом, особенно для начинающих осваивать ТРИЗ.

*Матрица выбора специализированных навигаторов, или  $A^S$ -Матрица* — двумерная таблица, с помощью которой конкретным плюс- и минус-факторам бинарного технического противоречия, сформулированного применительно к определенной проблемной ситуации, подбирается и ставится в соответствие пара стандартизованных плюс- и минус-факторов, являющихся ортогональными координатными входами в эту таблицу и определяющими положение клетки таблицы, содержащей кластер навигаторов, рекомендуемых для разрешения полученного сочетания стандартизованных плюс- и минус-факторов, а следовательно, и исходного противоречия.

$A^S$ -Матрица несимметрична! То есть кластеры, выбранные на основе взаимной замены плюс- и минус-факторов, в большинстве случаев содержат различные навигаторы.

Полная  $A^S$ -Матрица классической ТРИЗ имеет по 39 одинаковых входов для *плюс-факторов* и *минус-факторов*. В пособии [13] приводится существенно переработанная и сокращенная в учебных целях  $A^S$ -Матрица размерностью  $16 \times 16$ , то есть по 16 плюс- и минус-входов (таблица 8.2). Сокращенная матрица получена объединением строк и столбцов полной  $A^S$ -Матрицы с близкими по назначению плюс- и минус-входами. «Объединенные» плюс- и минус-факторы получили новые обобщные названия (легко, впрочем, ассоциируемые с исходными названиями в полной матрице).

В каждом кластере  $A^S$ -Матрицы навигаторы упорядочены по частоте их применения в полной матрице.

Для технического противоречия плюс-фактор соответствует параметру или свойству, которое нужно улучшить, а минус-фактор — параметру или свойству, которое при этом ухудшается. Подбор «подходящего» стандартизованного плюс- и минус-фактора из  $A^S$ -Матрицы требует опыта и знаний.

Формально алгоритм подбора стандартизованных плюс- и минус-факторов и выхода на соответствующий кластер содержит следующие шаги:

- 1) построить техническое противоречие, исходя из условий проблемной ситуации;

- 2) для позитивного свойства противоречия подобрать из  $A^S$ -Матрицы плюс-фактор, в наибольшей мере соответствующий физико-техническому содержанию позитивного свойства;
- 3) подобрать минус-фактор из  $A^S$ -Матрицы по аналогии с шагом 2;
- 4) из клетки  $A^S$ -Матрицы, находящейся на пересечении строки, определяемой плюс-фактором, и столбца, определяемого минус-фактором, выписать номера навигаторов из  $A^S$ -Каталога;
- 5) выполнить интерпретацию и изучить возможности трансформации объекта на основе рекомендаций навигаторов из  $A^S$ -Каталога применительно к условиям решаемой задачи с целью устранить имеющееся противоречие.

Следует избегать при начальном определении конфликтующих факторов в модели противоречия использовать названия входов  $A^S$ -Матрицы. Это может привести к неверной модели противоречия из-за искажения ее физического содержания.

При наличии нескольких плюс- и минус-факторов (входов в  $A^S$ -Матрицу), близких к позитивному и негативному факторам в модели технического противоречия, полезно использовать также и эти факторы для выбора из  $A^S$ -Матрицы дополнительного количества навигаторов.

Входы  $A^S$ -Матрицы реструктурированы в две группы: системно-технические — с 01-го по 08-й и физико-технические – с 09-го по 16-й.

Обозначения плюс- и минус-факторов:

- 01 — производительность;
- 02 — универсальность;
- 03 — надёжность;
- 04 — точность изготовления и измерения;
- 05 — сложность устройства, контроля и измерения;
- 06 — удобство изготовления эксплуатации ремонта;
- 07 — внешние вредные факторы;
- 08 — внутренние вредные факторы;
- 09 — длина;
- 10 — площадь;
- 11 — объем;
- 12 — форма;
- 13 — время действия;
- 14 — сила;
- 15 — масса;
- 16 — энергия, расход и потери.

Таблица 8.2 – Сокращенная  $A^S$ -Матрица выбора ТРИЗ-приемов (матрица  $16 \times 16$  факторов для 20 приемов)

Плюс-факторы (П)	Минус-факторы (М)															
	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	01	02	03	04	05	06
01	01	01	10	02	01	02	01	01	01	01	02	01	02	01	01	01
02	03	11	24	01	01	02	07	07	03	01	03	01	07	03	05	05
03	02	18	34	10	05	16	05	16	20	07	07	03	05	16	19	16
04	02	21	19	19	19	34	01	01	19	07	07	03	05	16	19	16
05	03		29	34	03	01	01	01	18	07	07	03	05	16	19	16
06	01	01	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03	03
07	02	03	05	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07
08	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
09	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
10	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
11	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
12	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
13	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
14	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
15	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05
16	01	02	03	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05	05

Продолжение таблицы 8.2

Плюс-факторы (II)	Минус-факторы (M)														
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
04	02	01 05 11	03 28 01	01 02 11	10 01 02	10 02 18 21	02 10 12 05	02 16 05	10 12 05	01 20 02 05 11 20 29	20 10 12 18 20	02 10 12 18 20	01 05 12 20	01 10 11 29 39	05 12 20
05	01 19	07 03	21 01 03 05 11 19 28	10 18 02 05	10 03 11 35 05 18 28 39	21 03 05	03 10 18 03 16 03 19 20	10 18 03 16 03 19 20	05 11 16 03 19 20	03 11 10 03 16 07 05 20 24	29 01 03 02 07 20 24	01 03 10 16	10 11 01 03 16 05 20	01 05 16	

Продолжение таблицы 8.2

Плюс-факторы (II)	Минус-факторы (M)														
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
06	02	03 07 01 07	01 03 28 03 05	01 02 03 05 10 11 19 29	03 28 01 10 19 29	05 01 02 16 18 29	03 01 02 16 18 29	16 11 03 07 18 19	16 11 03 07 18 19	01 03 05 07 11 16 24 28 29	03 11 05 07 24	03 16 29 28	01 03 11 02 05 28 28 29 16 20	05 11 01 03 07 16 29 20	03 07 10 11 16 18 24 21
07	01 11 18 21	01 21 28	18 01 02 05 06	10 02 19 24	05 01 02 18 29	03 19 24	03 19 24	01 03 03 05 21 36	01 03 07 12 19 21	01 01 03 07 12 19 21	03 07 07 19 21	01 05 03 05 11 21 21	01 212 05 11 21 18	02 05 03 05 18 20 21	02 01 05 11 18 20 21
08	01 21	01 05 18	10 12 19 24	03 05	03 16 19 21	07 16 19 21	03 05 19 21	03 05 19 21	01 05 19 21	01 05 03 19 24	01 07 16	02 03 05	21 01 03 05 11 21 21	01 05 03 05 18 20 21	01 05 20 21

Продолжение таблицы 8.2

Плюс-факторы (П)	Минус-факторы (М)															
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
09	10 24 34	03 01 07 16	07 01 02 03	02 05 12 24	10 03 18 01	03 07 19 01	03 07 18 19	07 19		19 02 07 24 34	01 04 05 19 34	02 03 07 11 34	01 03 03	01 02 03 19 24	01 02 07 19	01 01
10	02 05 07 10 19 34	07 16	05 01 11 24 28 39	05 10 12	03 05 01 10 11	16 11 03 07 02 10	01 03 05 21	03 05 19 21 39	07 10		19 24 34	24 35	02 05 12 20	01 02 07 03 05	04 05 19	

Продолжение таблицы 8.2

Плюс-факторы (П)	Минус-факторы (М)															
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
11	02 05 01 20	07	01 03 02 05 16 18 28	29 01 02 05 10 16	10 03 05 19 24 11	03 01 02 07 11	01 21	01 02 05 19 24	01 03 04 05 34 34	03 19 24 34	01 03 05 07 24 34	01 20 24 24 34	01 20 24	01 05 07 18 20	01 02 05 10	01 01
12	02 10 19	03 07	02 03 16 24	03 07 11 24	03 07 11 16	03 05 07 10	01 03 05 21	02 03 24 34 35	02 11 24 34 35	02 24 35	01 05 07 21 24	10 29 39	10 29 39	02 01 07 07 10 12	02 02 07 10 12	05 05
13	01 02 16 19	01 03 05 11	01 11 12 10 05 20 36	12 02 10 16 18	01 02 07 20 24 29	03 02 01 24	03 07 19 21	16 21	01 03 24 34 39	02 12 19	01 10 02 05	10 29	10 29	05 12 16 16 35	16 20 20 35	01 20 20

Окончание таблицы 8.2

Плюс-факторы (П)	Минус-факторы (М)															
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
14	01	01	01	01	01	03	01	05	01	02	01	01	05	02	02	02
	02	07	02	02	02	07	03	11	02	03	02	02	12	03	03	03
	12	19	05	12	03	01	05	12	03	07	07	07		11	16	16
			11	18	05	05	21	18	16	19	24	24			18	18
			12	20	10	12			19	39					19	19
				29		16										
				36		28										
						29										
15	01	07	03	01	10	03	05	01	01	01	02	02	01	02	01	01
	03	35	01	10	02	05	21	21	02	05	01	01	05	01	01	03
	07		02	02	03	28		03	03	11	11	11	20	11		
	12		10	03	07	01		07	07	19			35			
	18		12	19	19	09										
			28	29	29	11										
						12										
						18										
						20										
16	01	07	02	03	01	03	01	01	01	07	01	01	01	05	20	
	03	11	11	12	05	01	02	05	01	29	01	01	20	10	39	
	20	16	18	126	07	07	03	20	03	29	11	20	16	16	29	
		19	19	29	10	10	05	21	05				29	36		
			24		19	19	19	21	19							
			28		24	24										
			36													

Таблица 8.3 — Сокращенный список ТРИЗ-приемов (20 приемов)

№	Название приема	Характеристика приема
01	Изменение агрегатного состояния	а) Сюда входят не только простые переходы, например, от твердого состояния к жидкому, но и переходы к «псевдосостояниям» («псевдожидкость») и промежуточным состояниям, например, использование эластичных свойств твердых тел; б) изменить концентрацию или консистенцию, степень гибкости, температуру и т.п.
02	Предварительное действие	а) Заранее выполнить требуемое изменение объекта (полностью или хотя бы частично); б) заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на доставку
03	Дробление	а) Разделить объект на независимые части; б) выполнить объект разборным; а) увеличить степень дробления (измельчения) объекта
05	Вынесение	Отделить от объекта «мешающую часть» («мешающее» свойство) или, наоборот, выделить единственно нужную часть (нужное свойство)
07	Динамизация	а) Характеристики объекта (или внешней среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом шаге работы; б) объект разделить на части, способные перемещаться относительно друг друга; в) если объект неподвижен, сделать его подвижным, перемещающимся

Продолжение таблицы 8.3

№	Название приема	Характеристика приема
10	Копирование	а) Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии; б) заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изображениями); использовать при этом изменение масштаба (увеличить или уменьшить копии); в) если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным или ультрафиолетовым
11	Наоборот	а) Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие (например, не охлаждать объект, а нагревать); б) сделать движущуюся часть объекта (или внешней среды) неподвижной, а неподвижную — подвижной; в) перевернуть объект «вверх ногами», вывернуть его
12	Местное качество	а) Перейти от однородной структуры объекта (или внешней среды, внешнего воздействия) к неоднородной; б) разные части объекта должны иметь разные функции; в) каждая часть объекта должна находиться в условиях, наиболее соответствующих ее работе
16	Частичное или избыточное действие	Если трудно получить 100 % требуемого эффекта, надо получить «чуть меньше» или «чуть больше». Задача может при этом существенно упроститься
18	Посредник	а) Использовать промежуточный объект, переносящий или передающий действие; б) на время присоединить к объекту другой (легкоудаляемый) объект

Продолжение таблицы 8.3

№	Название приема	Характеристика приема
19	Переход в другое измерение	а) Объект приобретает возможность перемещаться (размещаться) не только по линии, но и в двух измерениях (т.е. на плоскости); возможно улучшение при переходе от движения в плоскости к пространственному; б) использовать многоэтажную компоновку; наклонить объект или положить его «на бок»; использовать обратную сторону данной площади; с) использовать оптические потоки, падающие на соседнюю площадь или на обратную сторону имеющейся площади
20	Универсальность	Объект выполняет несколько разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах
21	Обратить вред в пользу	а) Использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта; б) устранить вредный фактор при сложении с другими вредными факторами; в) усилить вредный фактор так, чтобы он перестал быть вредным
24	Асимметрия	а) Перейти от симметричной формы объекта к несимметричной; б) если объект уже асимметричен, увеличить степень асимметрии
28	Заранее подложенная подушка	Компенсировать относительно невысокую надежность объекта заранее подготовленными аварийными средствами
29	Самообслуживание	а) Объект сам себя должен обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции; б) использовать отходы (энергии, вещества)

Окончание таблицы 8.3

№	Название приема	Характеристика приема
34	Матрешка	а) Один объект размещен внутри другого объекта, который, в свою очередь, находится внутри третьего, и т.д.; б) один объект проходит сквозь полость в другом объекте
35	Объединение	а) Соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты; б) объединить во времени однородные или смежные операции
36	Обратная связь	а) Ввести обратную связь; б) если обратная связь есть, изменить ее
39	Предварительное антидействие	Если по условиям задачи необходимо совершить какое-то действие, надо заранее совершить антидействие

Благодаря осуществлению систематического, направленного подхода к решению творческих задач  $A^S$ -Матрица и  $A^S$ -Каталог стали первыми незаменимыми творческими инструментами для многих тысяч последователей ТРИЗ. Эти инструменты стали первой ступенью практической работы по ТРИЗ, сэкономили огромное количество времени и энергии при решении сложных проблем. Г.С. Альтшуллер установил два важнейших закона:

1. Изобретательских задач — бесчисленное множество, а **типов системных противоречий** сравнительно немного;
2. Существуют **типичные системные противоречия** и существуют  **типовые приемы** их устранения.

В то же время каждая задача хоть чем-то, но отличается от ранее решенных. Поэтому не может быть совершенно одинакового пути к успеху при решении даже очень схожих (например, по виду противоречия) задач.

Автор ТРИЗ подчеркивал, что приемы устранения противоречий ТРИЗ сформулированы в общем виде; они подобны готовому платью: их надо подгонять, учитывая индивидуальные особенности задачи.

$A^F$ -Каталог фундаментальных навигаторов [13]. Исключительная роль, которую играют модели физических противоречий при решении изобретательских задач, объясняется их «положени-

ем» в оперативной зоне. Физическое противоречие — это предельно острое выражение сути проблемы, это центральная точка любой оперативной зоны.

Для физических противоречий есть подходы и модели трансформации, облегчающие генерацию новых идей. Этому служат и  $A^F$ -Каталог фундаментальных навигаторов с «приемами» для решения физических противоречий. Он представляет собой таблицу 9.3, содержащую определения (формулы) четырех фундаментальных физических трансформаций объектов для разрешения физических противоречий.

Большинство примеров иллюстрируют определенный доминирующий ресурс, например пространственный или временной, соответствующий основной трансформации. Но при реализации трансформации оказываются задействованы и другие ресурсы, причем нередко не менее кардинально. Поэтому некоторые примеры могут одновременно хорошо иллюстрировать и другие трансформации.

Таблица 8.4 — Каталог фундаментальных навигаторов (сопряженных с некоторыми  $A^S$ -приемами)

Принцип трансформации	Связь с $A^S$ -приемами
Разделение противоречивых свойств в пространстве	05 Вынесение: отделить мешающую часть, выделить нужную часть. 10 Копирование: использовать упрощенные и дешевые копии или изображения. 19 Переход в другое измерение: увеличить степени свободы движения объекта, использовать многоэтажную компоновку, использовать боковые и другие поверхности. 24 Асимметрия: перейти к асимметричным формам, усилить асимметрию. 34 Матрешка: разместить объект последовательно один в другом, пропустить объект через полости (пустоты) в другом

Продолжение таблицы 8.4

Принцип трансформации	Связь с А <sup>S</sup> -приемами
Разделение противоречивых свойств <i>во времени</i>	02 Предварительное действие: полностью или частично выполнить нужное действие; расставить объекты так, чтобы они быстрее вступили в действие. 07 Динамизация: сделать объект (части объекта) подвижным, оптимизировать характеристики процесса (объекта) на каждом шаге работы. 08 Периодическое действие: перейти от непрерывного действия к периодическому, менять периодичность, использовать паузы. 18б Посредник: на время присоединить к объекту другой (легкоудаляемый) объект. 28 Заранее подложенная подушка: заранее подготовить аварийные средства. 35б Объединение: объединить во времени однородные или смежные операции. 39 Предварительное антидействие: для совершения основного действия надо предварительно совершить противоположное действие
Разделение противоречивых свойств <i>в структуре</i>	03 Дробление: разделить объект на части, увеличить степень дробления. 11 Наоборот: вместо действия, диктуемого обстоятельствами, сделать обратное. 12 Местное качество: перейти от однородной структуры к неоднородной, чтобы каждая часть выполняла свою функцию и в наилучших условиях. 18а Посредник: использовать промежуточный объект для передачи или переноса действия. 35а Объединение: (соединить однородные или предназначенные для соседних операций объекты

Окончание таблицы 8.4

Принцип трансформации	Связь с А <sup>S</sup> -приемами
Разделение противоречивых свойств <i>в веществе</i>	01 Изменение агрегатного состояния объекта: изменение концентрации или консистенции, использование свойств эластичности материалов и т.п. 29б. Самообслуживание: использовать отходы вещества и энергии

## 8.5 НЕДОСТАТКИ ТРИЗ

ТРИЗ задумывалась как «точная наука». Однако с течением времени критики ТРИЗ начали указывать на изъяны, которые, по их мнению, привели к застою в развитии ТРИЗ после смерти автора, а также к существенным сложностям в практическом ее применении. А именно:

1. В ТРИЗ была предпринята попытка сформулировать законы развития технических систем, которые должны были лечь в основу ТРИЗ и в основу общей методологии решения задач. Однако большинство из сформулированных законов таковыми не являются. Их скорее следовало бы назвать закономерностями развития техники, причем далеко не полными. По этой причине стройной методологии решения задач, основанной на законах развития, так и не появилось. А сформулированные законы в основном использовались в качестве методических обоснований к приводимым примерам изобретений;

2. Усовершенствование АРИЗ (создание новых модификаций от АРИЗ-77 до АРИЗ-85В) шло не по пути устранения допущенных неточностей в процедурах выявления противоречия, а по пути усложнения алгоритма. В результате последняя официальная модификация алгоритма АРИЗ-85В превратилась в чрезвычайно громоздкую и малоприменимую для практического использования конструкцию;

3. В ТРИЗ так и не были найдены четкие механизмы перехода от сформулированного противоречия к его практическому разрешению. Это создавало серьезные сложности в решении реальных задач с помощью АРИЗ;

4. ТРИЗ декларировала отказ от методологии активизации перебора вариантов, однако часть так называемых инструментов ТРИЗ представляли собой именно такие методы;

## 9 ВЫБОР СТРАТЕГИИ И МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТЕНДЕНЦИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

### 9.1 НЕТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При рассмотрении современных методов проектирования не всегда легко сразу определить, что их объединяет и как они соотносятся с традиционными методами, которые они призваны сменить или дополнить [15]. На первый взгляд кажется, что применение столь обширного множества приемов — от мозговой атаки и синектики до стоимостного анализа и ТРИЗ — внутренне противоречиво и нецелесообразно. Однако знакомство с ними приводит к мысли, что за внешним разнообразием скрыто несколько новых принципов проектирования, которые представляют для разработчиков большую ценность, чем сами методы. И более глубокий анализ позволяет утверждать, что объектом новых методов является не столько проектирование в общепринятом смысле этого слова, сколько мыслительная деятельность, *предшествующая* выполнению чертежей и проектов.

Общим для всех современных методов проектирования является то, что они заставляют проектанта «думать вслух», дают возможность другим людям ознакомиться с процессами мышления, которые до сих пор протекали скрыто, *объективировать* процесс проектирования. Это достигается с помощью слов либо математических символов, но почти всегда используется какая-нибудь схема, позволяющая разделить задачу проектирования на части и указать взаимные связи между ними.

При этом другие люди, например потребители, могут следить за происходящими событиями и участвовать в них, сообщая проектанту те сведения и оценки, которые выходят за пределы его знаний и опыта.

Группа зарубежных специалистов (А. Осборн, У. Гордон, Е. Мэтчетт) считают, что самая важная часть процесса проектирования совершается в голове разработчика, в определенной мере даже неподотчетно сознанию. Отстаивая такую точку зрения, теоретики «творческого подхода» противопоставляют себя сторонникам взглядов на проектирование как на логический процесс и находят поддержку со стороны многих практиков. Несмотря на такое допущение об «алогичности» творческого процесса, взгляд на проектанта как на *«черный ящик»* можно вполне убедительно выразить на языке кибернетики или физиологии.

5. Вепольный анализ представлялся в ТРИЗ научным подходом, в основе которого заложен анализ закономерностей структурного развития технических объектов. Однако допущение использования в вепольных несуществующих физических полей, а также возможность неоднозначной трактовки вепольных конструкций и правил их преобразования позволяют отнести вепольный анализ скорее к методам активизации перебора вариантов, чем к научному анализу;

6. Наиболее близким к идее формализации процедуры решения изобретательских задач было создание в ТРИЗ таблицы и приемов разрешения технических противоречий. Этот подход был основан на статистическом анализе существовавших на то время описаний изобретений. Однако, несмотря на имеющиеся перспективы, он не получил в ТРИЗ дальнейшего развития и по причине ряда имевшихся недостатков и морального устаревания статистических выводов утратил свою актуальность для практического использования;

7. Распространенно мнение о возможности внедрения ТРИЗ в реальное производство. Однако по своей сути ТРИЗ является индивидуальным методом решения задач, применение которого является личным выбором для человека. По этой причине сделать ТРИЗ частью того или иного производственного процесса затруднительно, хотя предприятие может организовать обучение ТРИЗ своих сотрудников с целью повышения их творческих возможностей;

Группа молодых энтузиастов из БГУИР на основе разработок Г.С. Альтшуллера создала комплекс программ для ПЭВМ под общим названием «Изобретающая машина», которые нашли свое применение в учебном и изобретательском процессе, в том числе и за рубежом. Последнее время к ТРИЗ проявили интерес ряд крупных нефтяных и металлургических фирм РФ, после обучения персонала которых специалистами фонда там создано десятки новых изобретений. В материалах фонда Г.С. Альтшуллера имеется список из нескольких десятков известных зарубежных компаний, в которых успешно используется ТРИЗ. В Интернете предлагаются услуги по обучению ТРИЗ в крупных городах РФ.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова история создания ТРИЗ?
2. Что такое ИКР?
3. В чем особенности современных версий ТРИЗ?
4. Что собой представляет каталог и матрица приемов?
5. Какая область применения ТРИЗ?

Разработчик, как и все живые существа, способен получать на выходе решения, которым он доверяет и которые часто оказываются удачными, хотя сам он не может объяснить, каким образом ему удалось прийти к ним. Большинство действий человека можно объяснить только на основе допущения, что их осуществление в значительной мере определяется тонкой работой нервной системы без вмешательства сознания.

Было бы *логично* считать, что управление сложными действиями осуществляется неосознанно, и *нелогично* предполагать, что проектирование можно до конца объяснить логическим путем.

Согласно гипотезе Ньюмена, мозг — это переменная сеть, изменяющая свою структуру в зависимости от того, какие сигналы поступают в нее из внешнего мира. «Озарение» возникает, когда такая сеть после многих неудачных попыток находит структуру, соответствующую полученным незадолго перед этим входным сигналам.

Экспериментальное исследование памяти заставляет предположить, что при каждом извлечении из памяти прошлый опыт предстает в новом варианте.

Объединяя эти две гипотезы, можно прийти к выводу, что мозг — это полуавтоматическое устройство, способное разрешать противоречия между различными сигналами (т.е. решать задачи) путем такой перестройки своей структуры, чтобы она соответствовала как текущим входным сигналам, так и многим хранящимся в памяти ранее полученным сигналам. Если верить психологам и клиницистам, этому процессу может противодействовать или способствовать наличие неразрешенных конфликтов, сохранившихся, возможно, еще с раннего детства.

Выходные сигналы мозга определяются не только текущей ситуацией, но и пережитым в прошлом, т.е. нельзя быть хорошим проектантом, не имея соответствующего опыта.

Коренным вопросом является возможность расчленения, или декомпозиции задачи на отдельные части, которые можно затем решать последовательно или параллельно. Когда задача *поддается* расчленению, решению каждой частной подзадачи можно уделить больше внимания, что позволяет резко сократить сроки проектирования. Конечно, крупные задачи проектирования всегда на том или ином этапе удастся расчленить, чтобы распределить работу между многими проектантами, но этап, на котором это расчленение становится возможным, зависит от типа изделия. При разработке ремонтного оборудования, сетей материально-технического снабжения, телефонных систем и подобных им объектов задача с самого начала поддается де-

композиции на ряд частных вопросов, решать которые можно параллельно. Это связано с тем, что такие объекты представляют собой *поточные системы*, т.е. сложные агрегаты, в которых каждая функция выполняется отдельным узлом, а каждый узел связан с другими лишь заранее заданными входными и выходными воздействиями. Функции однозначно связаны с отдельными физически различимыми узлами. Все входные и выходные воздействия в системе можно задать с самого начала, а затем при разработке узлов считать, что если узел имеет требуемые входные и выходные характеристики, его можно включить в систему. Небольшие отступления от заданных входных и выходных характеристик и компромиссные решения по выбору узлов не вызывают резкого нарушения заданной последовательности в работе. Чтобы процесс проектирования оставался управляемым, при решении задач такого рода желательно пользоваться простыми методами типа «прозрачного ящика». Многие же более сложные из предполагаемых к рассмотрению в дальнейшем методов проектирования, по-видимому, также могут быть с успехом применены в тех случаях, когда принципиальные решения не зависят от конкретного физического исполнения отдельных узлов.

**Нерасчлененные задачи проектирования.** Многие задачи проектирования, как крупные, так и мелкие, вообще не поддаются или лишь с трудом поддаются такого рода расчленению без ущерба для рабочих характеристик, стоимости, массы, внешнего вида или других показателей, что требует компромиссных решений для сбалансирования различных деталей друг с другом. Такие ситуации возникают при проектировании зданий, автомобилей, станков, диагностических стендов и других объектов, в которых функции не связаны со специализированными узлами, а сложным и непредсказуемым образом распределены по всему изделию. Обычно в таких случаях на какого-то опытного работника — руководителя проекта — возлагается полная ответственность за все существенные решения, будь то общая схема изделия или тонкие, но важные особенности конструкции деталей. Например, архитектор несет ответственность как за общую планировку здания, так и за детали оформления окон, играющие существенную роль в реализации задуманного им внешнего вида здания; главный конструктор отвечает не только за эксплуатационные характеристики новой машины, но и за выбор важнейших входящих в нее деталей. Во всех таких случаях руководитель проекта на основе имеющегося у него опыта решения аналогичных задач сначала рассматривает основные частные задачи, а затем определяет общую схему изделия и распределяет остальную

работу между своими помощниками. Ясно, что здесь используются методы «черного ящика».

При решении часто повторяющихся задач, таких как проектирование дорог, перекрытий, турбин, электрических цепей, двигателей и т.д., иногда удается всецело объективировать опыт разработчиков и полностью автоматизировать процесс проектирования. Это метод «прозрачного ящика» в чистом виде. Однако чаще всего, и особенно в тех случаях, когда достаточно высок риск совершения дорогостоящей ошибки в проектировании, это оказывается невозможным ввиду отсутствия необходимого опыта: его приходится искусственно создавать путем проведения испытаний и исследований в рамках процесса проектирования. Здесь ни методы «прозрачного ящика», ни «черного ящика» уже недостаточны, а нужны, по-видимому, новые методы и средства проектирования, которые сочетали бы в себе лучшие черты обоих подходов.

**Цикличность.** Основной целью методологии проектирования является уменьшение цикличности и увеличение линейности проектирования. Наличие цикличности предполагает, что важнейшие частные задачи остаются незамеченными до поздних этапов работы, а когда они обнаруживаются, требуется пересмотр решений, положенных в основу проекта, или даже полное прекращение работы.

**Линейность** означает, что все важнейшие проблемы можно обнаружить с самого начала, а риск того, что на более поздних этапах большие затраты труда разработчиков придется списывать в убытки, минимален. Полной линеаризации всякой разработки мешает непредсказуемость зависимостей между отдельными частями задачи. Схема зависимостей между подпроблемами одной задачи носит непостоянный характер и находится в зависимости от выбора частных решений каждой из них.

Не только типовые, но и поисковые задачи можно решать линейными способами. Перспективными в этом отношении представляются следующие направления.

1. **Превратить разрабатываемое изделие в конструкцию точного (или сборного) типа**, т.е. сначала спроектировать взаимозаменяемые нормализованные узлы для каждой существенной функции. При этом все зависимости и расхождения между общей схемой изделия и конструкцией отдельных узлов сводятся к небольшому числу точно предсказуемых и неизменных правил соединения одного нормализованного узла с другим. В результате появляется возможность, используя методы «прозрачного ящика», создать большое количество новых изделий, не задумываясь над кон-

струкцией самих узлов. Цикличность здесь появляется на более высоком уровне при разработке нормализованных узлов и правил их соединения. Эта нерасчленимая операция намного сложнее, чем разработка отдельных изделий, и в настоящее время в ее осуществлении, по-видимому, основную роль играет чудо «черного ящика» — особо одаренные разработчики, в которых счастливо сочетаются надлежащий опыт, особенности нервной системы, заинтересованность, упорство, везение и способность апеллировать к глубинным слоям сознания. Поскольку чтобы обеспечить приемлемый уровень нормализации, такой процесс мышления должен давать на выходе в высшей степени упорядоченные и системно организованные результаты, то нужно думать, что в основе этого метапроцесса проектирования лежат системные методы «прозрачного ящика». Разработка нормализованных узлов и правил их сборки, по-видимому, имеет нечто общее с предельно упорядоченным процессом, в результате которого осуществляется химический синтез нового материала. Пока же, однако, разработка нормализованных узлов остается загадкой «черного ящика».

2. **Использование адаптивных стратегий.** Здесь разработка по методу «прозрачного ящика» предваряется или сопровождается проведением исследований на более высоком уровне общности. Задача этих исследований заключается в том, чтобы научными способами, а не путем «размышлений в кресле» расширить и предсказать «пространство маневрирования» проектировщика при решении наиболее важных подпроблем.

Смысл исследований заключается в том, чтобы заранее определить границы диапазона, в который будет попадать промежуточный выход, чтобы запланированная стратегия учитывала все случайности. Ясно, что при обеспечении линейности вторым способом разработка ведется в обратном порядке по сравнению с обычным, т.е. **от внутреннего к внешнему**, так как обычная разработка идет от описания основных характеристик изделия к детализировке его конструкции. Это позволяет обойти невыполнимое требование теоретиков проектирования, согласно которому, прежде чем рассматривать детали, следует определить цели и критерии. Введение дополнительного этапа прогнозирования дает возможность начать решение с наиболее достоверно и детально определенного конца задачи, вместо того чтобы, как обычно, ограничивать поле поиска мелкими изменениями, не выходящими за пределы одного конструктивного решения. За это преимущество, однако, приходится весьма недешево платить. Поскольку исследования дают ответы

на более широкий круг вопросов, чем требуется для решения данной задачи проектирования, и являются дополнением к последовательности строго необходимых операций проектирования, их можно отнести к статье сверхнормативных затрат. Однако затраты материальных средств и рабочего времени разработчиков в связи с проведением исследований компенсируются отчасти тем, что при этом ошибки исправляются с небольшими затратами на ранних стадиях, тогда как на более поздних стадиях их исправление было бы связано с большим материальным ущербом; частично они компенсируются также экономией времени, которое было бы затрачено на обратное прослеживание причинно-следственных связей; наконец, они отчасти компенсируются теми знаниями и навыками, которые при этом приобретаются и могут быть использованы не только при работе над данным проектом, но в значительной мере и при создании аналогичных конструкций в будущем. Когда при выполнении какого-то проекта недорогой ценой получают опережающую информацию, которую можно использовать в дальнейших разработках, это можно считать объективированным эквивалентом перенесения проектантом, рассматриваемым как «черный ящик», приобретенного опыта с одной задачи на другую. Исследовательская работа отличается от личного опыта более высокой точностью и меньшей зависимостью от общей формы прошлых конструкций.

Методы «черного ящика» и «прозрачного ящика» позволяют расширить область поиска при решении задач проектирования. В методах «черного ящика» это достигается путем снятия ограничений, накладываемых на выходные реакции нервной системы проектанта, или путем стимулирования ее к выработке более разнообразных выходных реакций. В методах «прозрачного ящика» выходная реакция нервной системы обобщается на языке внешних символов с таким расчетом, чтобы она включала альтернативы, одна из которых — замысел проектанта. Основным недостатком в обоих случаях является то, что проектант вырабатывает слишком большое количество неизученных альтернатив, которые невозможно исследовать медленным способом сознательного осмысливания. Выбор не может быть сделан интуитивно, так как при этом вновь выступают ограничения, налагаемые опытом прошлого, а этого как раз следует избегать. В то же время проектант лишен возможности ускорить и автоматизировать поиск с помощью вычислительной техники, так как, чтобы составить программу для ЭВМ, необходимо заранее знать цели и критерии отбора, а они сами зависят от имеющихся вариантов. Столкнувшись с такой дилеммой, проектант вынужден:

- а) отказаться от использования новых методов;
- б) произвольно (по принципу «черного ящика») выбирать цели для поиска на компьютере;
- в) работать над невыполнимой задачей всестороннего оценивания каждого отдельного варианта.

Выходом из дилеммы, связанной с обилием нового материала и необходимостью сразу оценить его в целом, может явиться разделение работы проектанта на две части:

- а) **поиск** подходящей конструкции;
- б) **контроль и оценка** схемы поиска (управление стратегией).

Это дает возможность вместо слепого перебора вариантов применить осознанный поиск и найти короткие пути через незнакомую территорию, используя как внешние критерии, так и результаты частичного поиска.

Модель «осознания себя + ситуации» (или «стратегии + цели») имеет своей целью предоставить каждому члену группы (коллектива) разработчиков возможность самому определить, насколько избранная методика поиска способна привести к приемлемому равновесию между новой конструкцией, ситуацией, на которую она окажет влияние, и стоимостью ее разработки.

Во-первых, создается **метаязык** из терминов, достаточно широких по значению, чтобы с их помощью можно было описать зависимости между стратегией и проектной ситуацией. Во-вторых, посредством этого метаязыка проводится оценка модели, которая позволяет предсказывать вероятные результаты альтернативных стратегий, чтобы можно было выбрать наиболее перспективную из них.

Хорошим примером может служить язык, описанный Б. Мэтчетом. В этом случае единый язык, на котором возможно описание внешних целей и предполагаемых стратегий, включает дерево целей первого, второго и третьего порядков вместе с универсальными контрольными перечнями, описывающими различные фазы жизненного цикла инженерной разработки. Моделью для предсказания воздействия того или иного предложения проектанта на достижение целей вначале служит оценка предложений преподавателем, а затем, когда учащийся овладел методом, т.е. научился предвидеть, к каким последствиям во внешнем мире приведут его предложения, он начинает пользоваться собственными оценками и соответственно изменять свою стратегию.

В общем случае самоконтроль при проектировании дает **метод сетевого планирования и управления** (метод «критического пути»). Сеть представляет собой графический язык, позволяющий

описать внешнюю цель (сроки проектирования) и возможные пути ее достижения. Манипулируя этим описанием, можно определить минимальные сроки проектирования, достижимые при данных исходных допущениях.

Слабым местом этого метода является то, что модель трудно изменять сообразно информации, появляющейся в процессе проектирования, а следовательно, этот метод не удовлетворяет одному из основных требований, предъявляемых к методам управления стратегией: он не обеспечивает возможности частых и радикальных изменений стратегии в случаях, когда обнаруживаются грубые ошибки в предсказаниях по модели. В более гибком методе средства изменения стратегии должны соотноситься с вероятностью того, что такое изменение потребуется. Отсутствие гибкости у метода сетевого планирования заставляет применять его для решения типовых, а не поисковых задач. В знакомых же проектных ситуациях его гибкость часто достаточна.

От метода управления стратегией в первую очередь требуется, чтобы он позволял связать результаты каждой части поиска с конечными целями, даже если, как чаще всего и бывает, эти цели еще не определились. Чтобы такая оценка частных стала возможной, нужно показать, насколько исход каждой частной ступени в стратегиях проектирования соответствует (или не соответствует) желаемым результатам стратегии в целом. Для этого, например, можно оценить убытки от неверного предсказания результатов данной ступени и сравнить величину этих убытков с величиной затрат на выполнение работ по этой ступени. Сущность этого приема воплощена в лозунге: «Цена незнания должна быть больше цены приобретения знания!»

Чтобы определить «цену незнания», необходима модель, позволяющая хотя бы приблизительно судить о том, как недостижение промежуточных целей повлияет на достижение конечных. Часто суждение по методу «черного ящика» позволяет сделать это. Можно логически показать, что организм, который способен на такое предсказание, должен быть способен также создать модель самого себя, хотя он и не сможет описать, каким образом была построена эта модель.

Основная слабость любого метода проектирования, в том числе и описанных здесь, заключается в трудности управления стратегией при решении нетривиальных задач проектирования, а также в тех случаях, когда над одним проектом работает много людей [77]. Поэтому очевидно, что ещё предстоит создать надежные методы разработки стратегий для команд проектировщиков и управления этими стратегиями.

## 9.2 ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ И ГРАНИЦЫ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Теоретически существуют две возможности повышения эффективности и сокращения времени создания и освоения технологии ремонта новой техники и оборудования:

- 1) искать принципиально новые методы творческой работы;
- 2) создать компьютер с программным обеспечением, т.е. использовать искусственный интеллект.

Очевидно, что оптимальным было бы совместное использование обеих возможностей. Причем компьютеры должны выполнять операции, аналогичные человеческому мышлению. Это относится к накоплению и отбору информации, необходимой для поиска решения (путем комбинирования). Если установлено, что перенос, преобразование и использование информации имеют большое значение и налицо связи кибернетического характера, они должны быть вскрыты и реализованы также кибернетической машиной (компьютером).

Пока еще компьютеры, несмотря на почти неограниченные технические возможности (по скорости быстрого действия, оперативной памяти, мультипроцессорности и др.), не дают больше, чем в них предварительно вложил человеческий ум. От машины можно требовать только таких комбинаций, которые состоят из элементов, содержащихся в ее памяти. Это элементарные функции, носители этих функций и соотношения величин. Компьютерному комбинированию способствует символика блок-схем и понятие элементарной функции. Это позволило автоматизировать выпуск конструкторской и технологической документации (программы AutoCad, «Компас», T-flex и другие). Уже появились для некоторого числа частных задач универсальные программы по проектированию и расчету, подобные тому, что предлагает методология проектирования. Чтобы эффективнее использовать гибкость человеческого мозга и точность компьютера, они должны работать каждый в своей области (человек программирует и принимает решения, компьютер комбинирует и вычисляет). Не зря девиз компании IBM — «Машины работают, а люди думают». Смена исполнителей при этом дает возможность своевременного текущего контроля и корректировки. Таким образом, генеральным направлением в создании новой технологии проектирования является развитие автоматизированного проектирования с использованием средств искусственного интеллекта.

Одна из основных проблем, связанных с реализацией этого направления применительно к сложным объектам и системам, заключается в разработке формальных методов индукции решений, позволяющих возложить на компьютер поиск возможных пространственно-структурно-параметрических организаций проектируемой сложной системы в рамках реально достигнутого уровня знаний и выделение доминирующих решений. Необходимо отметить, что современные достижения в области формальной логики относятся в основном к дедуктивной ее части, а формальная логика индукции только начинает свое развитие. Поэтому вычислительные средства нашли широкое практическое применение в первую очередь для решения задач сопоставительного анализа, а формирование образа всего сложного объекта в целом остается за человеком.

Многообразие решений при создании сложной технической системы определяется в общем случае множеством возможных реализаций познанных физических, химических и биологических эффектов, а также множеством возможных организаций взаимодействия этих эффектов в целях выполнения разрабатываемой системой требуемых функций. Число познанных эффектов относительно невелико, что характерно и для возможных их технических реализаций. Поэтому в сложных технических системах *существенно новые свойства достигаются в основном за счет изменения организации взаимодействия используемых эффектов.*

Очевидно, что решение задачи распознавания многообразия возможных организаций проектируемой сложной системы может быть достигнуто формальными методами на основе современной вычислительной техники, если будут вскрыты общие принципы организации систем рассматриваемого класса и осуществлено формализованное описание известных физических, химических и биологических эффектов, а также возможных способов их технических реализаций (в форме математических моделей). Использование такого подхода позволило бы избежать необходимости априорного задания эвристически выбранных допустимых вариантов по организации разрабатываемой сложной системы и осуществлять направленное формирование оптимальной пространственно-структурно-параметрической организации проектируемой системы по выбранным критериям с учетом влияния интегративного эффекта.

### 9.3 НАКОПЛЕНИЕ И СВЕРТЫВАНИЕ ДАННЫХ

В 1959 г. английский историк С.Н. Паркинсон сформулировал закон, согласно которому работа заполняет все время, отпущенное на её выполнение [82]. Одной из важных процедур процесса принятия любого управленческого решения, непосредственных действий конкретных специалистов в области создания и ремонта с.-х. техники и других областей деятельности человека является не только накопление, но и свертывание (сокращение) технической документации, правовой, статистической информации и других данных [6, 16].

Особенно актуальна эта тема для подготавливаемых на факультете «Технический сервис в АПК» БГАТУ специалистов в области ремонтно-обслуживающего производства и материально-технического обеспечения, а также вновь открывшейся специальности по безопасности жизнедеятельности. На этих направлениях молодым специалистам придется столкнуться с таким валом разнообразной информации, что без освоения процедур накопления и свертывания данных — выстраивания и представления в визуальной форме информации, базы данных, от которых зависят критические управленческие и проектные решения, им не обойтись. Накопление и свертывание данных нельзя отнести к самостоятельным методам проектирования, но использование таких процедур может быть очень полезно.

Есть два важных вопроса, касающихся накопления и свертывания данных:

– Какие данные накапливать?

– Как их свертывать?

В обоих случаях приходится решать, какими частями общей весьма сложной картины следует пренебречь, так как никогда не хватает времени, чтобы детально и полностью ее изучить. При ответе на первый вопрос стараются выделить из структуры или схемы, характеризующей реальную обстановку, те данные, которые, как надеются, являются определяющими. Отвечая на второй вопрос, решают, каким образом перегруппировать изъятые из контекста данные (деструкция) и как их представить в виде новой схемы (конструкция), которая верно отражала бы реальный мир, отвечала бы проектируемому объекту, который должен быть добавлен к этому миру, и позволяла бы проектанту сразу охватить взглядом как общую форму результирующей схемы, так и ее существенные аспекты (инструкция проектанта). Этот процесс определения схемы «модели», является концентрическим и неизбежно будет несовершенным,

если у проектанта после оценки первоначальных результатов не будет достаточно времени для изменения своих решений относительно того, какие данные следует накапливать и как их свертывать.

Следует помнить, что накопление и свертывание данных — это замедленный вариант объективирования того, что почти мгновенно проходит перед нашим взором. Аппарат научного накопления и свертывания данных представляет собой искусственно созданное средство, позволяющее преобразовать невидимое в форму, доступную восприятию с помощью естественных органов чувств. Обычно это средство является настолько сложным и медленно действующим, что его можно сравнить с попытками внезапно ослепшего человека найти дорогу с помощью одной только палки. Навыки в накоплении данных подразумевают, что проектант знает, где искать. Навыки же в свертывании данных требуют способности мысленно конструировать связную картину внешнего мира по отрывочным данным.

Вполне вероятно, что широкое использование компьютеров, работающих в реальном времени, благодаря чему проектанты могут активно вмешиваться в процесс, позволит ускорить и удешевить его настолько, что накопление и свертывание данных станет столь же гибким, как и непосредственное чувственное восприятие человека. Пока же приходится полагаться на смекалку и здравый смысл при поиске кратких обходных путей взамен чрезвычайно длительного и дорогостоящего восприятия новых аспектов мира в виде фрагментарных и «замедленных» образов, получаемых с помощью интервью и записей, фотоаппарата и кинокамеры, самописцев, счетных машин, анкет, графов, гистограмм, цифровых индексов и т.п. Конечно, имеется множество свидетельств, что косвенными методами можно вполне успешно изучать неизвестное, однако это возможно, лишь если мириться с ошибками, ограничениями и задержками, с которыми неизбежно связано применение таких искусственных органов чувств.

Накопление и свертывание данных, недоступных непосредственному восприятию, применяются в тех случаях, когда местонахождение, физический объем и временной масштаб ситуации проектирования таковы, что проектанты не способны их охватить, опираясь на свою память или непосредственное чувственное восприятие. Примерами могут служить отдаленные потребители, крупные транспортные системы, распространение малых трещин, коррозия поставленной на хранение с.-х. техники, медленно растущий поселок или быстрые действия квалифицированных операторов. Часто бывает

целесообразно сначала использовать все возможности неизбирательной записи данных (которая дешевле, быстрее и более гибка) и только после этого обратиться к избирательному механическому накоплению и статистической обработке данных. Процедура имеет два этапа: сбор и анализ необходимых данных, свертывание данных.

**Сбор и анализ данных.** Первый этап имеет целью заполнить пробел, возникающий в результате неспособности специалиста определить на основе собственного опыта или путем непосредственного изучения критические конфигурации и величины, характеризующие ситуацию, которой его управленческое решение или проект должны соответствовать или которую они призваны трансформировать. Сделать это значительно труднее, чем кажется на первый взгляд, потому что на каждую единицу собранной полезной информации приходится множество абсолютно бесполезных сведений. В реальных условиях релевантная информация погребена в массе потенциально нерелевантных данных. Более того, большая часть как полезной, так и бесполезной информации, получаемой в результате накопления и свертывания данных, первоначально скрыта от глаз наблюдателя. Полезность информации, представляемой визуальными механическими и статистическими способами, может быть установлена либо путем оценки на основе существующего опыта («на что похоже то, что происходит»), т.е. формулированием гипотезы, либо путем проведения кратких экспериментальных исследований для предварительного отбора результатов до того, как пойти на крупные затраты времени и средств. Идеально было бы непрерывно проверять релевантность информации и на основе этого изменять избранное направление работы или вовсе отказаться от него, если окажется, что это направление бесперспективно. Полезно также мысленно представить себе конечный результат.

Важные особенности отбора данных таковы:

1. Данные, которые могут быть собраны, погребены в совокупности объектов и событий, которые слишком удалены, велики, малы, быстры или слишком медленны, чтобы их можно было охватить непосредственным наблюдением. Например, аспекты ситуации, относящиеся к уличному движению в городе или снабжению топливом аграрной отрасли, например, Вилейского района, слишком рассеяны, не совпадают по времени и не могут быть изучены путем непосредственного наблюдения. Кроме того, многие подробности не имеют практического значения и только затеняют данные, которые можно было бы использовать, если бы они были известны;

2. Накопление данных означает процесс последовательного извлечения единиц информации из естественного контекста и включения их в некую нейтральную промежуточную среду, которую можно сделать доступной органам чувств специалиста или руководителя.

Эта среда должна быть достаточно пластичной, чтобы данные можно было представлять графически и видоизменять их для выявления в них структур, имеющих важное значение. Например, высота над уровнем моря заданных точек ландшафта извлекается аэрофотосъемщиками и топографами из бесконечного множества данных, которые можно было бы замерить, если бы требовалось полностью охарактеризовать каждую точку данного участка земной поверхности. Эти данные преобразуются в элементы гибкой промежуточной среды в виде пространственных координат (т.е. углов, расстояний, значений широты и долготы), которые могут затем накапливаться и храниться вне связи с самим ландшафтом и по желанию перекомпоновываться для выделения наиболее важных аспектов исходного ландшафта. Основные характеристики типовых процедур накопления данных приведены в таблице 9.1.

**Свертывание данных.** Сокращение составляет второй этап перекомпоновки, переупорядочивания записанных данных с целью выявления предполагаемых важных схем или других значимых объектов информации. В нашем примере такими схемами могут быть контурные карты, перспективные изображения, поперечные разрезы, вычисления уклонов, объемные модели и т.п., получаемые в результате отображения данных в новые структуры. Термин «**свертывание**» (или редуцирование) означает выбор существенно важной информации из множества накопленных данных (например, максимальной высоты возвышенностей) или сведение множества данных к меньшему их числу, адекватно представляющему целое (например, представление возвышенностей системой горизонталей).

При использовании данной процедуры выполняют следующие действия.

1. Выявляют неопределенности, имеющие критическое значение для успеха или неудачи управленческих или инженерных решений в рассматриваемом диапазоне.

2. Устанавливают, до какой степени следует сократить неопределенности, имеющие критическое значение.

3. Определяют время и имеющиеся возможности для сокращения неопределенностей, имеющих критическое значение.

Таблица 9.1 — Типовые процедуры накопления данных

Варианты выбора		Неизбирательные (конкретные и реалистические)	Избирательные (абстрактные и утопические)
Продольные (исторические и зависящие от времени)	Рекомендации	Не планировать методы анализа информации, пока не будет выяснен характер данных	Не накапливать данных, пока не будет точно решено, каким образом они будут анализироваться и использоваться
	Результаты	Планирование выполняется быстро, анализ — медленно	Планирование выполняется медленно, анализ может осуществляться быстро при механизированной обработке данных
	Используются, когда неизвестно, что и почему происходит	Сбор большого объема данных от каждого члена малой группы	Кинофильм, видеозапись, звукозапись, журнал наблюдателя, конспект лекций, тетрадь практических занятий, дневник участника <b>A</b>
Поперечные (количественные и одновременные)	Используются, когда необходимо определить масштабы происходящего	Сбор небольшого объема данных от каждого члена большой группы	<b>B</b> Фотоснимки, письменные описания, собранные образцы, свободные интервью <b>D</b> Вопросы с множественным выбором ответа, цифровые счетчики, подсчет повторяемости, топографическая съемка

4. Просматривают существующие методы накопления и свертывания данных с отметкой в каждом случае точности, скорости и стоимости обработки данных, а также отмечают типы вопросов, на которые может быть дан ответ.

Ознакомимся более подробно с таблицей 9.1.

Как видим, наиболее важно сделать выбор между избирательной и неизбирательной записью (категории АВ или CD) и между продольной и поперечной записью (категории АС или BD). Для решения, связанного со сбором данных, потребуется информация каждой из этих четырех категорий. Вначале проектанты и исследователи должны определить:

- а) трудозатраты на накопление данных каждой категории;
- б) последовательность использования данных каждой категории.

Можно увлечься сбором данных какой-либо одной категории и забыть о том, что для определения характера проблемы в целом требуются различные методы. Можно также упустить из виду, что сначала необходимо исследовать общую структуру проблемы и лишь после этого выбирать аспекты, которые целесообразно проанализировать более детально. В таблице 9.1 показано, почему рекомендуется начинать с исследований неизбирательного продольного типа (А) и постепенно идти (через В или С) к исследованиям избирательного поперечного типа (D). Объем информации каждой категории будет зависеть от степени определенности или неопределенности имеющихся знаний. Если характер проблемы неясен, усилия должны быть направлены прежде всего на методы неизбирательного типа (АВ) и исследования продольного типа (АС), ведущие к концентрации внимания на категории А. Если же характер проблемы уже известен, наибольшие усилия следует направить на отбор избирательного типа (CD) данных поперечного типа (BD), ведущий к концентрации внимания на категории D.

Приведенный перечень дает некоторое представление о вопросах, которые следует поставить.

**Выборка.** Какова должна быть величина выборки? Как она должна быть образована? Должна ли она быть однородной?

**Точность.** Какова должна быть степень точности измерений? Согласована ли точность всех этапов — от накопления данных до формулирования окончательных выводов? Имеются ли уязвимые места и перегруженные участки в цепи процессов накопления и сокращения данных?

**Стоимость и время.** Известны ли с достаточной степенью точности стоимость и длительность каждого этапа? Согласованы ли

они с суммой ассигнований, предельным сроком выполнения и ценностью собранной информации для клиента?

5. Выбирают процедуры накопления и свертывания данных, совместимые с изложенными требованиями и друг с другом.

6. Непрерывно проверяют релевантность промежуточных результатов и неопределенностей, имеющих критическое значение, и при необходимости корректируют методику.

Маловероятно, чтобы отдельный специалист или даже целая группа располагали всеми необходимыми знаниями для успешного выполнения операций описанного здесь процесса накопления и свертывания данных. Важно, чтобы они научились распознавать, во-первых, когда им требуется помощь соответствующего специалиста, во-вторых, как найти такого специалиста и, в-третьих, как убедиться в том, что рекомендуемое или выполненное экспертами точно соответствует неопределенностям проекта, которые следует устранить.

Один из путей осуществления этой программы состоит в постоянной проверке и перепроверке вопросов, указанных в описании последовательности действий. Кроме того, следует привлекать только тех специалистов, которые могут и хотят участвовать в постоянном и открытом обсуждении степени соответствия способов сбора и обработки данных целям решения поставленных задач. Лучше обойтись без каких бы то ни было данных, чем потерять контроль над процессом их обработки, прибегнув к услугам специалистов, которые не могут доказать соответствие своих действий поставленным задачам.

Потенциальные исследователи должны иметь в виду, что сбор данных — это длительный и дорогостоящий процесс, который к тому же может оказаться практически бесполезным. Есть смысл затратить, скажем, 20 % времени и средств на предварительные исследования и быструю обработку результатов, чтобы направить поиск в нужном направлении или вовсе приостановить его, как только станет ясно, что собранные данные не окажут влияния на критические управленческие или инженерные решения; иначе говоря, **убытки от незнания должны превышать затраты на приобретение знаний.**

Примерное представление о том, по каким критериям можно выбирать операции накопления и свертывания данных, дает таблица 9.2.

Таблица 9.2 — Критерии выбора операций накопления и свертывания данных

Тип накопления данных	Стоимость планирования	Стоимость анализа
Неизбирательный (категория АВ)	Низкая	Высокая
Избирательный (категория CD)	Высокая	Низкая

Отношение между высокой и низкой стоимостями может быть достаточно велико, например стоимость анализа неизбирательной звукозаписи на пленку («черные ящики» самолетов, поездов, с.-х. машин со спутниковой связью) может в 10–100 раз превышать стоимость планирования и самой записи.

#### 9.4 ВЫБОР СТРАТЕГИИ И МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Термин «**стратегия проектирования**» означает определенную последовательность действий, выбираемую проектантом с целью преобразования исходного технического задания в готовый проект. При этом следует руководствоваться следующими критериями:

- 1) выявление и пересмотр важнейших решений. Решение, которое может принести убытки, должно быть выявлено как можно раньше. На начальных стадиях подобные решения следует принимать лишь условно. Как правило, это исходные допущения, не вполне достоверные факты, не достаточно экспериментально проверенные научные исследования;
- 2) соотношение затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с убытками от принятия неверного решения. Убытки от незнания должны превышать затраты на дорогостоящие усилия проектанта при поиске ответа на тот или иной вопрос. При оценке предложения о проведении какой-либо работы нужно прежде всего выяснить, на какие вопросы будет получен ответ;
- 3) распределение заданий в соответствии с возможностями исполнителей. Каждому члену коллектива разработчиков нужно поручать такие задания, с которыми он способен справиться, в которых он разбирается и в выполнении которых заинтересован. Это требование гораздо труднее реализовать в коллективах, состоящих из представителей разных специальностей и работающих

над новаторским проектом, чем в группах традиционных проектантов одинаковой специализации, занятых решением задачи знакомого типа;

- 4) отыскание полезных источников информации. Информацию следует искать во всех основных источниках стабильности и нестабильности, с которыми приходится считаться при проектировании. Прежде чем обратиться к важной или дорогостоящей информации из различных источников, следует провести независимые испытания или получить сведения о надежности этих источников. Нельзя ожидать, что консультанты будут давать нужные рекомендации, если они не знакомы с взаимодействиями и конфликтами, характерными для данного проекта.

Эти критерии управления стратегией сами собой подразумеваются, когда проектанты одной специальности совместно работают над типовой задачей. Однако эти критерии не соблюдаются, когда для решения новых типов задач проектирования либо создаются бригады из специалистов разного профиля, не обладающих опытом проектирования, либо привлекаются опытные проектанты, которые в ходе работы над задачей вынуждены выходить за пределы своей компетенции.

Решение о том, какие действия должны быть включены в стратегию проектирования, может быть принято с самого начала или же в зависимости от результатов, полученных после выполнения предыдущих действий. Содержание каждого действия проектанта определяется им самим; некоторые действия могут быть основаны на новых методах; другие могут базироваться на традиционных приемах, таких как изготовление эскизов и масштабных чертежей; наконец, третьи будут представлять собой новые процедуры, самостоятельно изобретенные проектантом. Если метод, взятый сам по себе, позволяет решить задачу проектирования, он называется стратегией; однако в большинстве случаев методы не дают такой возможности, поэтому они здесь рассматриваются как «действия», из которых можно составить различные варианты законченных стратегий.

Таким образом, лучше всего понимать стратегию проектирования просто как намеченную последовательность методов.

**Классифицировать стратегии проектирования** целесообразно по двум показателям:

- 1) степени заданности;
- 2) схеме поиска.

Заблаговременно заданные, или готовые, стратегии жестко фиксированы, подобно программам ЭВМ. Они больше подходят для

активирования в знакомых ситуациях, чем для новаторской деятельности, т.е. для объединения или модернизации существующих конструкций, а не для изобретения новых технических объектов.

Значительная доля работы по проектированию совершается по предсказуемой схеме и, следовательно, может быть выполнена на компьютере. По мнению Дж. Джонса [16], в идеале заданная стратегия должна быть *линейной*, т.е. состоять из цепочки последовательных действий, в которой каждое зависит от исхода предыдущего, но не зависит от результатов последующих действий (рисунок 9.1).

→ Этап 1 → Этап 2 → Этап 3 →

Рисунок 9.1 — Линейная стратегия

Если после получения результатов на какой-либо стадии приходится возвращаться к одному из предыдущих этапов, стратегия становится *циклической*. Встречаются случаи, когда две или несколько петель обратной связи охватывают друг друга (рисунок 9.2).

ТЗ → Этап 1 → Этап 2 → П-В → Этап 3 → П-В → Этап 4 →

Рисунок 9.2 — Циклическая стратегия:  
(П-В) — этап «продолжить или вернуться»

Такая схема характерна для многих программ ЭВМ. Самой страшной опасностью для проектанта в этом случае становится бесконечная петля, или «порочный круг», из которого не удастся выбраться иначе, как изменив структуру задачи. Когда действия проектанта не зависят одно от другого, может иметь место *разветвленная* стратегия (рисунок 9.3)

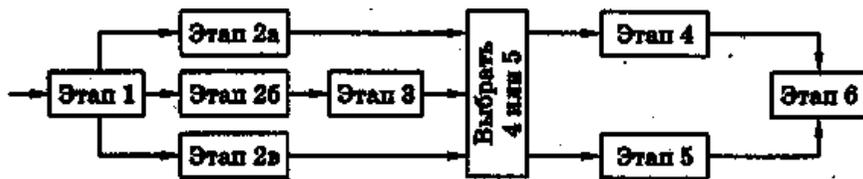


Рисунок 9.3 — Разветвленная стратегия

В данную стратегию могут входить параллельные этапы, очень выгодные в том отношении, что позволяют увеличить количество

людей, одновременно работающих над задачей, и конкурирующие этапы, которые позволяют в определенной степени видоизменять стратегию в соответствии с исходом предыдущих этапов.

*Адаптивная* стратегия от линейной отличается тем, что в ней с самого начала определяется только первое действие. В дальнейшем выбор каждого действия зависит от результатов предшествующего. В принципе, это самая разумная стратегия, поскольку схема поиска всегда определяется на основе наиболее полной информации. Ее недостаток состоит в невозможности предвидеть и контролировать затраты и сроки выполнения проекта. Многие предпочитают применять адаптивную стратегию, поскольку она позволяет полностью использовать способность человека (и животных) «импульсивно» совершать правильные действия. Применение адаптивной стратегии преследует цель обеспечить ту или иную степень изменения схемы поиска в ходе самого поиска.

*Методы управления стратегией, или самоорганизующиеся системы проектирования*, предназначены для оценки стратегии в целом в соответствии с внешними критериями и промежуточными результатами осуществления самой стратегии. Эти методы призваны обеспечить сохранение принятой стратегии, несмотря на возникающие трудности, до тех пор, пока она остается перспективной, и замену стратегии или отказ от нее, когда она перестанет соответствовать окружающей обстановке.

Для выбора метода проектирования можно пользоваться схемой «дано — требуется» (таблица 9.3), предложенной Дж. Джонсом [8]. Предполагается, что о пригодности того или иного метода можно судить, если сопоставить то, что уже известно разработчикам, с тем, что они хотят определить.

Исходными данными, соответствующими колонке «Дано» (или «Вход»), служат те сведения, которыми проектанты должны располагать, прежде чем пользоваться тем или иным методом. Конечные результаты, соответствующие строке «Требуется» (или «Выход»), это те данные, которые получаются в результате применения данного метода.

Шкалы «Дано» и «Требуется» совершенно идентичны: они построены в порядке уменьшения общности и увеличения определенности. Методы, наиболее полезные на ранних стадиях, когда почти все неопределенно, попадают в верхний левый угол таблицы, а соответствующие конечным стадиям решения задач проектирования, — в ее нижний правый угол.

Таблица 9.3 — Схема «дано — требуется»

Требуется (Выход)	Дано (Вход)			
	1. Составление ТЗ	2. Исследование исходной проектной ситуации	3. Анализ и преобразование структуры задач	4. Определение границ, описание промежуточных решений и выявление конфликтов
1. Исследование исходной проектной ситуации	1. Формулирование задач. 2. Поиск литературы. 3. Визуальные несоответствия. 4. Интервьюирование потребителей. 5. Мозговая атака		1. Поиск литературы. 2. Анкетный опрос. 3. Исследование поведения потребителей. 4. Системные испытания. 5. Выбор шкал измерений. 6. Накопление данных	
2. Анализ и преобразование структуры задач	1. Поиск литературы. 2. Визуальные несоответствия. 3. Интервьюирование потребителей. 4. Мозговая атака. 5. Синектика. 6. ТРИЗ	1. Формулирование задач. 2. Свертывание данных 3. Матрица взаимодействий 4. Сеть взаимодействий 5. Классификация. 6. Составление ТЗ		1. Синектика. 2. ТРИЗ. 3. Ликвидация тупиковых ситуаций. 4. Трансформация системы. 5. Смещение границ. 6. Проектирование новых функций

Окончание таблицы 9.3

3. Определение границ, описание промежуточных решений и выявление конфликтов	1. Визуальные несоответствия. 2. Мозговая атака. 3. Морфологические карты. 4. ТРИЗ		1. Поиск границ. 2. Системные испытания. 3. Мозговая атака. 4. Морфологический анализ. 5. Выбор критериев. 6. Ранжирование и взвешивание. 7. Составление ТЗ	
4. Комбинирование промежуточных решений и варианты проектов	1. Визуальные несоответствия. 2. Мозговая атака. 3. Синектика. 4. ТРИЗ	1. Трансформация системы. 2. Проектирование новых функций	1. Мозговая атака. 2. Синектика. 3. Трансформация системы. 4. Смещение границ	1. Мозговая атака. 2. Синектика. 3. ТРИЗ. 4. Ликвидация тупиковых ситуаций
5. Оценка вариантов проекта и выбор окончательного варианта	1. Переключение стратегии. 2. Фундаментальный метод Мэтчетта		1. Упорядоченный поиск. 2. Функционально-стоимостный анализ. 3. Системотехника. 4. Система «человек — машина». 5. Поиск границ	

В клетках, далеко отстоящих от диагонали, приводятся методы, которые, по сути, представляют собой целые стратегии, поскольку они позволяют перескочить через несколько этапов.

В клетках же, расположенных непосредственно над диагональю, указаны методы пошагового проектирования, из которых могут быть составлены стратегии проектирования. Некоторые методы повторно указаны ниже диагонали; это означает, что их можно использовать для проверки, т.е. для изменения формулировки задачи после ее частичного исследования.

*Способ применения схемы «дано — требуется»* состоит в следующем.

1. Найти в графе «Дано» те категории информации, которые уже имеются. В ближайшей строке перечислены методы, которые применимы для решения соответствующей задачи.

2. По строке «Требуется» найти тот вид информации, который необходимо получить на данной стадии. Методы, обеспечивающие получение такой информации, указаны в соответствующей колонке.

3. Клетка, которая находится на пересечении выбранной строки с нужной колонкой, содержит методы, позволяющие на основании имеющихся исходных данных получить необходимые конечные результаты.

Методы, которые полезно использовать в самом начале проектирования, указаны в колонке 2 («Исследование исходной проектной ситуации»). На этой стадии преследуется цель пробуждать сомнения, правильно формулировать вопросы, выявлять существенные факторы, исследовать реакции заказчиков, потребителей и других лиц на различные варианты решения задачи. В колонку 2 помещены дивергентные методы. Некоторые методы помещены в клетку 1–3 (первая строка, третья колонка); это означает, что их можно использовать при пересмотре задачи на более позднем этапе — «Анализ и преобразование структуры задачи» — для изучения новой ситуации проектирования, которая может возникнуть в результате трансформации задачи.

Преобразование, превращение, изменение вида чего-либо (трансформация) совершается посредством методов, указанных в колонке 3 («Анализ и преобразование структуры задачи»). В клетке 2–4 приведены методы, обеспечивающие возможность пересмотра задачи на более поздней стадии. Такой пересмотр бывает очень эффективным: можно придать задаче временную, условную структуру с единственной целью — получения информации, которая по-

зволит вскрыть реальные трудности, а затем изменить структуру задачи таким образом, чтобы преодолеть эти трудности.

В колонках 1 и 2 указаны по большей части «мягкие» методы, которые по каждой категории дают промежуточные результаты, пока не сложилась окончательная структура задачи. «Жесткие» методы, обеспечивающие твердую основу для исследования структуры нетривиальных задач или для устранения логических затруднений (клетка 2–4), можно применять лишь после получения промежуточных результатов. Операции схождения, сближения, приводимые в колонке 4, всегда направлены на снижение неопределенности, возникшей на предыдущих стадиях, и на конвергенцию к единственному варианту проекта.

Готовые стратегии, т.е. методы с сильнейшей конвергенцией, стоят все вместе в клетке 3–6. Сюда входят «систематические», т.е. логические и математические методы, а также «адаптивные» методы. Основным недостатком методов, указанных в этой клетке, является то, что все они предполагают неизменную структуру задачи и поэтому не годятся для новаторского проектирования. Группа более умозрительных, менее практически направленных логических методов включена в клетку 2–5. Методы управления стратегией указаны в клетке 1–6, так как с их помощью можно выбрать другие методы. Клетки, расположенные вдоль диагонали (3–4, 4–5 к 5–6), содержат более скромные конвергентные методы, обеспечивающие продвижение вперед без риска, с которым связано применение более общих стратегических методов, удаленных от диагонали. Самые надежные и эффективные из этих методов пошагового продвижения указаны в клетке 5–3. Сюда относятся «жесткие» исследовательские методы (используемые в данном случае для оценки, а не для исследования) и оценочные методы. Стратегический оценочный метод ФСА включен в эту клетку, чтобы указать возможность его использования для совершенствования существующего изделия.

Проектирование систем предполагает способность одновременно предвидеть и оценивать множество альтернативных вариантов объекта, что дает разработчику возможность в каждый момент манипулировать большим числом альтернатив, чтобы таким образом выбрать лучшую. В философском плане это можно представить как решение задачи, сформулированной Л. Шестовым, — научить человека жить в неизвестности, не прячась от нее за различными догмами [5].

## 9.5 ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Понятие «**инновация**» — относительно новое и в мировой научно-экономической литературе.

**Инновация (нововведение)** — это превращение потенциального результата научно-технического прогресса в реальный, воплощающийся в новых продуктах, технологиях, услугах.

Инновация — более ёмкое понятие, чем «новая техника», и распространяется на новшества в научно-технической, организационной и других сферах, как любое усовершенствование, обеспечивающее повышение качества и технических показателей, экономии затрат или создающее условия для такой экономии.

Следовательно, инновация — это используемое, внедренное новшество. Различают продуктовые и технологические инновации.

**Инновационная деятельность и научно-технический прогресс.** Согласно закону Республики Беларусь «Об основах государственной научно-технической политики (1997)», инновационная деятельность — это деятельность, обеспечивающая создание и реализацию инноваций (нововведений).

Нововведения (инновации) — создаваемые (осваиваемые) новые или усовершенствованные технологии, виды товарной продукции или услуг, а также организационно-технические решения производственного, административного, коммерческого или иного характера, способствующие продвижению технологии, товарной продукции и услуг на рынок.

Непременными свойствами инновации являются: научно-техническая новизна, производственная применяемость и коммерческая реализуемость. Первые два — это суть творчества высокого уровня.

Коммерциализацию научно-технической деятельности заключает в «материализации» инноваций, изобретений и разработок в новые технически совершенные виды продукции, средств и предметов труда, технологии и организации производства, превращение их в источник дохода.

Многие развитые и развивающиеся страны определили научную и инновационную деятельность в качестве национального приоритета государства и поэтому имеют выдающиеся успехи в своем развитии. Инновационному пути развития альтернативы нет. Примером служат Япония, США, южно-азиатские страны: Корея, Тайвань и др.

Такой путь развития иначе называют интенсификацией знаний и промышленной стратегией.

Технология — это центральный элемент стратегии индустриального развития и прогнозирования, база для новых изделий, материалов и производственных систем. Технологический суверенитет следует рассматривать в качестве одной из основных составляющих национальной безопасности.

**Технологическая безопасность** — предельно допустимый минимальный уровень развития отечественного научно-технического потенциала, гарантирующий выживаемость национальной экономики за счет собственных ресурсов, в том числе и интеллектуальных.

Показатели технологической безопасности государства следующие:

- 1) доля расходов на НИОКР в ВВП. Считается, что необходимо не менее 1 % ВВП в год в течение 5–7 лет;
- 2) доля специалистов с естественнонаучным и инженерно-техническим образованием в общем числе в народном хозяйстве должна быть не менее 2 %.

Инновационный бизнес — это наиболее рискованный вид рыночной деятельности. Государство, общество, предприятие включены в жесткую конкурентную борьбу за основной источник нововведений — творческий потенциал работников — от ученых до инженеров, программистов и менеджеров.

Сегодня основными средствами производства становится творческий потенциал, интеллектуальная собственность, накопленные знания и навыки работников, что становится доминирующим фактором формирования интеллектуального капитала отдельных предприятий, отраслей и национального дохода страны.

Сегодня в США 50 % экспорта обеспечивают наукоёмкие компании с численностью персонала 19 человек и менее. Сейчас 15 из 20 самых богатых людей США являются предприниматели, о компаниях которых еще 30 лет назад ничего не было известно, и они начинали с малых предприятий.

Инновационный процесс базируется на инновационной деятельности и представляет собой совокупность интеллектуального капитала по созданию инновационного продукта труда. Новый продукт характеризуется техническими, производственными и коммерческими показателями. Жизненный цикл нововведения — последовательность создания, освоения и ликвидации инновации — составляет, как правило, более 5 лет. В настоящее время в отдельных отраслях этот цикл существенно сокращается, например в создании прикладного программного обеспечения.

Инновационная деятельность всех форм собственности в соответствии с государственным стандартом Республики Беларусь РБ СТБ 1061–97 оценивается следующими обязательными ежегодными показателями статистической отчетности: затраты на технологические инновации; объем отгруженной инновационной продукции; количество приобретенных и переданных инноваций и программных продуктов; источники информации об инновациях; количество совместных проектов; факторы, препятствующие инновациям; результаты инновационной деятельности; патентование и другие методы защиты изобретений и результатов научно-исследовательской работы; организационно-управленческие инновации.

Успех конкурентной борьбы на рынке определяется научно-техническим потенциалом, способным эффективно создавать и использовать новые творческие идеи и открытия с меньшими издержками производства в цикле «наука — производство».

Инновационный потенциал государства — совокупность ресурсов, формирующий системный научно-технический потенциал в виде накопленных знаний и институциональный потенциал в виде действующей структуры связей, создающих предпосылки для осуществления инновационной деятельности в стране и в регионах.

Задачей государственной научно-технической политики является создание устойчивых и саморазвивающихся элементов образований инновационной инфраструктуры, совместно с предприятиями, обеспечивающих разработку и производство инновационного продукта. К ним относят:

• **технопарк** — это некая территория, здания, сооружения и кадровый состав, предназначенные для наукоёмкой инновационной деятельности. Сегодня в мире насчитывается тысячи различных технопарков. Они могут быть разных видов и масштабов деятельности:

- региональный технопарк;
- технополис, в рамках одного города, региона, района;
- научный (технологический) парк (сами производством не занимаются);
- инкубатор (инновационный центр) — способствует инновационной деятельности малых предприятий;
- коммерческий парк;
- промышленный парк.

В Республике Беларусь действуют технопарки в БГУ, в г. Могилеве и специализированный технопарк под названием «Белорусская силиконовая долина» в г. Минске.

Основные компоненты парка: территория, здания, научно-технический центр, промпредприятия и фирмы, административно-управленческие структуры, учреждения инфраструктуры поддержки — производственной и сбытовой. В технопарках открыта «зеленая улица» для фирм-клиентов;

• **венчурный бизнес** — эффективное использование инновационного капитала, который в состоянии самостоятельно генерировать и внедрять ноу-хау, новые технологии, изделия либо эффективно использовать изобретения других.

Мобилизуя средства крупных финансовых институтов, компаний, предприятий, венчуры (обычно 3–4 человека), как правило, составляют не более 1 % и становятся коллективным «генеральным партнером» инвестиционного проекта. Остальные 99 % — доноры, которые именуются «ограниченными партнерами». Члены венчурной группы получают в большинстве случаев 2 % от подписанного капитала, иные до 20 % и выше от итоговой прибыли. Венчурное финансирование является рискованным.

К концу XX века в мировой экономике формулировались три важнейших тенденции, которые в основном будут определять ее развитие в ближайшие десятилетия:

- 1) процесс глобализации, направленный на создание единого мирового хозяйства;
- 2) наступление нового этапа научно-технического развития, связанного с переходом к 5-му информационно-технологическому укладу;
- 3) процесс транснационального корпорирования, включая ВТО (Всемирная торговая организация), МВФ (Международный валютный фонд), МБРР (Международный банк реконструкции и развития), ОЭСР (Организация экономического сотрудничества и развития) и др.

Эти тенденции расширяют возможные воплощения творческих замыслов и инженерных решений в мировом масштабе с точки зрения развития зарубежных инвестиций и связи с мировыми финансовыми центрами.

Цена товаров определяется не столько издержками производства, сколько уровнем примененных ноу-хау, создающих высочайший уровень потребительской ценности и, следовательно, конкурентоспособности.

Положено начало построения устойчивого развивающегося планетарного ноосферного общества, основанного на знаниях — практическом разуме.

К его основным положениям относятся:

- резкий рост издержек на инновационную деятельность;
- изменение структуры занятости населения с возрастанием объемов интеллектуального труда;
- приоритетное развитие науки, определяющее НТП.

Основные причины низкого качества и неконкурентоспособности отечественной продукции:

- 1) использование устаревших технологий и оборудования;
- 2) высокий износ основных фондов;
- 3) низкое качество сырья и комплектующих изделий;
- 4) отсутствие международной сертификации производимой продукции;
- 5) высокие издержки производства;
- 6) односторонняя (восточная) экспортная ориентация;
- 7) низкая инновационная восприимчивость и несформированная инфраструктура инновационной деятельности.

Современный экономический рост государства определяется уровнем стимулирования и объективными свойствами инновационных процессов: высоким риском, зависимостью от степени развития научной среды и информационной инфраструктуры, значительной капиталоемкостью научных исследований, требованиями к научной и инженерной квалификации кадров, инновационным знаниям и творческому потенциалу, правовой защитой интеллектуальной собственности.

К определяющим технологиям относятся те, которые формируют технические характеристики, а также являются отраслеобразующими видами работ и услуг. В республике при производстве основных видов продукции, работ и услуг выделено около 6 тыс. определяющих технологий. Из них в промышленности — 80,2 %, в сельском и лесном хозяйстве — 4,5 %, в социальной сфере — 2,5 %, в остальных — около 1 % и менее.

При этом различают:

- высокие технологии, обладающие конкурентоспособностью мирового уровня (5,2 % от всех);
- новые технологии — позволяют выпускать конкурентоспособную продукцию (15,8 % от всех);
- традиционные технологии, соответствующие 3-му и 4-му технологическим укладам, имеют широкое распространение, таких в республике около 79 %.

Период использования технологий в республике — от 20 до 30 лет. Незначительное использование высоких и новых технологий пока не позволяет республике стать в один ряд с развитыми странами.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Раскройте с точки зрения исследования творчества, что такое проектант как «черный ящик».
2. В чем заключается концепция «разработчик — это “прозрачный ящик”»?
3. В чем сущность понятия «проектант как самоорганизующаяся система»?
4. В чем состоит цель накопления и свертывания данных?
5. В чем заключается этап сбора и анализа данных?
6. В чем состоит сущность свертывания данных?
7. Какова последовательность действий при применении процедуры свертывания данных?
8. Как выбрать метод проектирования?
9. Как классифицируются стратегии проектирования?
10. Что такое инновация?
11. Перечислите мировые тенденции научно-технического развития.
12. В чем заключаются основные причины низкого качества и неконкурентоспособности отечественной продукции?
13. Что такое определяющие технологии?
14. Каковы показатели ежегодной статистической отчетности инновационного развития предприятий Республики Беларусь?

## КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

### А

**Аддитивный** — получаемый путем сложения. Аддитивность — свойство величины, полученной путем сложения. Аналогия — соответствие существенных признаков, свойств структур или функций объектов или явлений. Этот термин часто употребляется в том же смысле, что и подобие.

**Артефакт** — искусственный материальный комплекс (например, техническая система) вместе с признаками его действия.

### В

**Верификация** — проверка, эмпирическое подтверждение теоретических положений науки путем сопоставления их с наблюдаемыми объектами, чувственными данными, экспериментом. Принцип В. (или верифицируемое) — одно из основных понятий логического позитивизма.

**Воображение** (фантазия) — психическая деятельность, состоящая в создании представлений и мысленных ситуаций, никогда в целом не воспринимавшихся человеком в действительности. Различают В. воссоздающее и творческое.

### Г

**Гомоморфизм** — отношение между двумя системами, когда каждую составную часть и каждое отношение одной системы можно отобразить на некоторую составную часть и некоторое отношение второй системы (но не обратно). В этом случае выполнение соответствующих условий подобия позволяет перенести результаты модельных экспериментов на натуру. Область подобия может быть определена как пересечение множеств свойств.

### Д

**Дескриптор** — смысловая единица языка, которая может выражаться знаменательным, содержательным, ключевым словом, группой знаменательных слов или цифр, сочетанием их.

**Детерминизм** — учение о закономерности и причинной обусловленности всех явлений природы и общества.

**Дивергенция** — расхождение признаков и свойств у первоначально близких групп технических объектов в ходе эволюции.

### И

**Идентичность** — отношение между объектами или процессами, характеризующимися одинаковыми свойствами (признаками). При абсолютной И. должны быть одинаковыми все свойства, при относительной И. — только некоторые (в этом случае имеет место подобие).

**Иерархия** — расположение частей или элементов целого в порядке от низшего к высшему.

**Изоморфизм** — отношение между двумя системами, когда каждой составной части одной системы может быть поставлена в соответствие определенная составная часть другой системы, и наоборот (симметричность), а также когда для каждого отношения между двумя соответствующими составными частями имеется такое же отношение в другой системе, и наоборот; это наличие взаимно однозначного отображения двух совокупностей, сохраняющего их структурные свойства.

**Инверсия** — изменение нормального положения элементов, расположение их в обратном порядке.

**Инсайт** — внезапное озарение, представление элементов ситуации в тех связях и отношениях, которые гарантируют решение задачи.

**Интроспекция** — самонаблюдение; наблюдение, объект которого — психические состояния и действия наблюдающего субъекта; основной метод интроспективной психологии.

**Интуиция** — постижение истины путем непосредственного ее усмотрения, без обоснования с помощью доказательства; субъективная способность выходить за пределы опыта путем мысленного схватывания («озарения») или обобщения в образной форме непознанных связей, закономерностей, целенаправленный выбор рационального решения среди множества других.

**Искусственный интеллект** — раздел информатики, занимающийся разработкой методов моделирования и воспроизведения с помощью ЭВМ творческой деятельности человека.

**Итеративность** — метод решения математических задач с помощью построения последовательности, сходящейся к искомому решению, при этом члены последовательности вычисляются повторным применением какой-либо операции (итерациями).

## К

**Казуальный** — случайный, единичный, не поддающийся обобщению. Казуистика — подведение частных случаев под общую догму как прием средневековой схоластики и богословия.

**Комбинаторика** — раздел математики, в котором изучаются перестановки, размещения, сочетания элементов.

**Конвергенция** — схождение, сближение.

## Л

**Лабильность** — подвижность, неустойчивость, изменчивость.

## М

**Машина** — устройство, выполняющее механические движения с целью преобразования энергии, материалов или информации. Различают М. энергетические, преобразующие любой вид энергии в механическую, и наоборот; рабочие, в том числе технологические, преобразующие форму, свойства, положение материала (обрабатываемого предмета); транспортные, преобразующие положение материала (перемещаемого предмета); информационные (шифровальные, арифмометры, механические интеграторы и др.); ЭВМ, в которых механические движения служат для выполнения лишь вспомогательных операций. (ЭВМ, строго говоря, не являются машинами; название сохранилось за ними в порядке преемственности от простых счетных машин.)

**Методика** — совокупность методов обучения или практического выполнения чего-либо.

**Морфология** — наука о форме и строении чего-либо.

## Н

**Нетранзитивный** — непереходный, не способный иметь при себе прямое дополнение.

## О

**Операнд** — величина, представляющая собой объект операции, реализуемой ЭВМ в ходе выполнения программы вычислений. Например, О. арифметических операций обычно являются числа: при сложении — слагаемые, при умножении — сомножители.

**Операционализм** — направление в современной философии, рассматривающее научные понятия не как отражения объективной реальности, а как логические построения, возникающие в результате различных операций (измерительных, счетных и т.д.).

## П

**Парадигма** — система форм одного слова, отражающая видоизменения слова по присущим ему грамматическим категориям; образец типа склонения или спряжения. Данное понятие употребляется в словообразовании, лексикологии и синтаксисе.

**Праксиология** — область социологических исследований, которая изучает различные действия с точки зрения их эффективности.

**Предсказание** — абсолютное утверждение о будущем, основанное на логических рассуждениях о возможном.

**Прогнозирование научное** — вероятностное суждение о будущем с высоким уровнем достоверности, основанное на объективной оценке возможного.

## Р

**Релевантность** — смысловое соответствие между информационным запросом и полученным сообщением.

**Релевантный** — важный, существенный.

**Реинвентинг** — процесс, обратный созданию изобретений.

**Рефлексия** — размышление, самонаблюдение, самопознание.

## С

**Семиотика** — наука о знаках и знаковых системах (естественных, например языках; искусственных, например дорожных знаках, логических и математических исчислениях и т.д.).

**Синектика** — неологизм, понимаемый как объединение разнородных элементов.

**Синергия** — совместное действие, характеризующееся взаимным усилением.

## Т

**Трансформация** — стадия создания принципов и концепций, пора высокого творчества, вдохновенных догадок и озарений — всего, что составляет радость творческого труда при проектировании.

## Ф

**Формализация** — представление и изучение какой-либо содержательной области знания (научные теории, рассуждения, процедура поиска и т.д.) в виде формальной системы или исчисления; связана с усилением роли формальной логики и математических методов в научных исследованиях.

**Фрейм** — структура данных, описывающих фрагмент знаний человека о мире или представляющих какую-нибудь стандартную ситуацию.

**Э**

**Эвристика** — наука, изучающая продуктивное творческое мышление (эвристическая деятельность).

**Эквивалент** — что-либо равноценное, равнозначное, равносильное чему-либо, способное полностью заменить его.

**Эмпатия** (сопереживание) — осознание эмоционального состояния другого человека и способность разделить его опыт. Этим термином можно определить также и отождествление человека с разрабатываемым предметом, деталью или процессом.

**Эрратическая система** — сложная система управления, составным элементом которой является человек-оператор (или группа операторов), например система управления самолетом, диспетчерская служба вокзала, аэропорта и т.д.

**Эргатичность** — разумное сочетание формализованных (машинных) и неформализованных процедур в процессе проектирования.

**Этимология** — раздел языкознания, занимающийся изучением первоначальной словообразовательной структуры слова и выявлением элементов его древнего значения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимович, Л.С. Основы инженерного творчества / Л.С. Герасимович. — Минск : БГАТУ, 2006.
2. Половинкин, А.Л. Основы инженерного творчества / А.Л. Половинкин. — Москва : Машиностроение, 1988.
3. Скорняков, С.М. Плуг: крушение традиций / С.М. Скорняков. — Москва : Агропромиздат, 1989.
4. Йордан, Э. Аутсортинг. Конкуренция в глобальной гонке за производительностью / Э. Йордан. — Москва : «Лори», 2006.
5. Андриевский, А.П. Классическая философская мысль: Энциклопедия новейших афоризмов. XX век / А.П. Андриевский. — Минск : Современный литератор, 1999.
6. Схирладзе, А.Г. Проектирование нестандартного оборудования / А.Г. Схирладзе. — Москва : ООО «Новое знание», 2006.
7. Повилейко, Р.П. Инженерное творчество / Р.П. Повилейко. — Москва : Знание, 1977.
8. Джонс, Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс. — Москва : Мир, 1986.
9. Альтшуллер, Г.С. Найти идею / Г.С. Альтшуллер. — Новосибирск : Наука, 1986.
10. Кузнецов, М.М. Проектирование автоматизированного производственного оборудования / М.М. Кузнецов. — Москва : Машиностроение, 1987.
11. Основы проектирования летательных аппаратов. — Москва : Машиностроение, 1985.
12. Основы проектирования лесосплавных объектов : учеб. пособие для вузов. — Москва : Экология, 1992.
13. Орлов, М.А. Элементарные универсальные модели ТРИЗ для проектирования и решения творческих задач / М.А. Орлов. — Минск : ЗАО «Современные знания», 2005.
14. Проектирование технических систем на основе анализа упорядоченных во времени критических состояний. — Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 1999.
15. Дитрих, Я. Проектирование и конструирование: Системный подход / Я. Дитрих. — Москва : Мир, 1981.
16. Модернизация сельскохозяйственных машин, находящихся в эксплуатации / А.Э. Северный, Л.М. Пильщиков, В.И. Федан. — Москва : ГОСНИТИ, 2000.
17. Мелещенко, Ю.С. Техника и закономерности ее развития / Ю.С. Мелещенко. — Ленинград : Лениздат, 1970.

18. Половинкин, А.Л. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применения / А.Л. Половинкин. — Москва : Информэлектро, 1991.
19. Шубников, А.В. Симметрия в науке и технике / А.В. Шубников. — Москва : Наука, 1972.
20. Средства технологического оснащения в системе технического сервиса в АПК / Е.А. Пучин, О.Н. Дидминидзе, В.М. Корнеев. — Москва : УМЦ «ТРИАДА», 2004.
21. Дабагян, А.В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств / А.В. Дабагян. — Москва : Машиностроение, 1979.
22. Чернов, Л.Б. Основы методологии проектирования машин / Л.Б. Чернов. — Москва : Машиностроение, 1978.
23. Чернилевский, Д.В. Детали машин. Проектирование приводов технологического оборудования / Д.В. Чернилевский. — Москва : Машиностроение, 2002.
24. Каспаров, Г. Шахматы как модель жизни / Г. Каспаров. — Москва : ЭКСМО, 2007.
25. Каменев, А.Ф. Технические системы: закономерности развития / А.Ф. Каменев. — Ленинград : Машиностроение, 1985.
26. Дворянкин, А.М. Методы синтеза технических решений / А.М. Дворянкин. — Москва : Наука, 1977.
27. Скрипкин, С.Г. Функционально-стоимостный анализ при проектировании изделий / С.Г. Скрипкин. — Киев : Техника, 1990.
28. Карпухин, М.Г. Функционально-стоимостный анализ в электро-технической промышленности / М.Г. Карпухин, Б.И. Майданчик. — Москва : Энергоатомиздат, 1984.
29. Устройство для снятия защитной пленки : пат. 3079U Респ. Беларусь : МПК А 01G 13/02 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060212; заявл. 06.04.06; опубл. 30.10.06, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2006. — № 5. — С. 137.
30. Устройство для отделения от корнеплодов почвы и растительных остатков : пат. 3172U Респ. Беларусь : МПК А 01D 33/08 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060315; заявл. 19.05.06; опубл. 30.12.06, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2006. — № 6. — С. 153–154.
31. Почвообрабатывающий каток : пат. 3349U Респ. Беларусь : МПК А 01В 29/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060531; заявл. 16.08.06; опубл. 28.02.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 1. — С. 142.
32. Устройство для разуплотнения и разравнивания колеи : пат. 3352U Респ. Беларусь : МПК А 01В 37/00 / Шило И.Н., Орда А.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В., Шкляревич В.А.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060534; заявл. 16.08.06; опубл. 28.02.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 1. — С. 143.
33. Орудие для глубокого рыхления почвы : пат. 3825U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 13/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070124; заявл. 19.02.07; опубл. 30.08.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 4. — С. 180–181.
34. Механизм подвески сошника : пат. 3452U Респ. Беларусь : МПК А 01 С 7/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060571; заявл. 07.09.06; опубл. 30.04.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 2. — С. 178.
35. Рабочий орган почвообрабатывающей машины : пат. 3351U Респ. Беларусь : МПК А 01В 35/20 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060533; заявл. 16.08.06; опубл. 28.02.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 1. — С. 143.
36. Устройство для извлечения корнеплодов из почвы : пат. 3228U Респ. Беларусь : МПК А 01D 17/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060409; заявл. 21.06.06; опубл. 30.12.06, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2006. — № 6. — С. 150–151.
37. А. с. 15554785, МКИ А 01 В 13/16. Устройство для образования направляющих щелей / В.А. Агейчик, С.И. Круглов, А.В. Лежнёв; Белорусский институт механизации сельского хозяйства. — № 43948000/30–15; заявл. 21.03.88; опубл. 07.04.89, Бюл. № 13. — 2 с.
38. Плуг навесной симметричный : пат. 4119U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 49/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070459; заявл. 25.06.07; опубл. 30.12.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 6. — С. 169.
39. Вагин, А.Т. Рабочие органы для противозерозионной обработки дерново-подзолистых почв / Вагин А.Т., Пилецкий А.З. // Меха-

- низация и электрификация социалистического сельского хозяйства. — 1974. — № 11.
40. Очиститель корнеплодов : пат. 3144U Респ. Беларусь : МПК А 01D 33/08 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060244; заявл. 20.04.06; опубл. 30.12.06, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2006. — № 6. — С. 153.
41. Выкапывающий рабочий орган корнеклубнеуборочной машины : пат. 3252U Респ. Беларусь : МПК А 01D 19/02, 25/04 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060427; заявл. 27.06.06; опубл. 30.12.06, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2006. — № 6. — С. 151.
42. Орлов, П.Л. Основы конструирования : справ.-метод. пособие : в 2 кн. Кн. 1 / П.Л. Орлов. — Москва : Машиностроение, 1977.
43. Грузозахватное устройство для лежащего в ряд груза : пат. 3436U Респ. Беларусь : МПК В 66 С 1/10 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060598; заявл. 18.09.06; опубл. 30.04.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 2. — С. 212–213.
44. Ременная сортировка корнеклубнеплодов : пат. 3449U Респ. Беларусь : МПК А 01 D 33/08 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060572; заявл. 07.09.06; опубл. 30.04.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 2. — С. 180.
45. Каток сеялки : пат. 3397U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 29/04 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В., заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060560; заявл. 30.08.06; опубл. 28.02.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 1. — С. 142.
46. Барабан для намотки каната : пат. 3173U Респ. Беларусь : МПК В 66 D 1/30, В 66 С 23/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060316; заявл. 19.05.06; опубл. 30.12.06, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2006. — № 6. — С. 183–184.
47. Устройство для крепления конца каната к барабану : пат. 3226U Респ. Беларусь : МПК В 66 С 23/88/ Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В., заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060294; заявл. 11.05.06; опубл. 30.12.06, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2006. — № 6. — С. 182–183.
48. Очиститель головок свеклы от ботвы на корню : пат. 3396U Респ. Беларусь : МПК А 01 D 23/02 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В., заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060559; заявл. 30.08.06; опубл. 28.02.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 1. — С. 144.
49. Глубококорыхлитель : пат. 3509U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 35/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В., заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060535; заявл. 16.08.06; опубл. 30.04.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 2. — С. 176–177.
50. Корнеизвлекающее устройство : пат. 3394U Респ. Беларусь : МПК А 01 D 25/04 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В., заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060557; заявл. 30.08.06; опубл. 28.02.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 1. — С. 145.
51. Устройство для отделения почвенных комков от корнеплодов и томатов : пат. 3826U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 33/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В., заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070125; заявл. 19.02.07; опубл. 30.08.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 4. — С. 187.
52. Плуг навесной симметричный : пат. 4119U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 49/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В., заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070459; заявл. 25.06.07; опубл. 30.12.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 6. — С. 169.
53. Рыхлитель для мелиоративных работ : пат. 3937 U Респ. Беларусь : МПК Е 02 В 11/00, Е 02 F 05 / Основин В.Н., Агейчик В.А.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070246; заявл. 05.04.07; опубл. 30.10.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 5. — С. 196–197.
54. Зубовая борона : пат. 4063U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 23/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070120; заявл. 03.03.07; опубл. 30.12.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 6. — С. 176.
55. А. с. 1097223. МКИ А 01 D 23/02. Машина для уборки ботвы корнеплодов / В.М. Доманьков, М.А. Горин, М.П. Шатерник, В.С. Мороз, В.А. Агейчик, Ч.А. Холяво, А.С. Архипенков, В.П. Мармалюков; Центральный научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства Нечернозёмной зоны

- СССР. — № 35611427/30–15; заявл. 05.03.83; опубл. 15.06.84, Бюл. № 22. — 3 с.
56. Роторно-лемешный плуг : пат. 3797U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 17/00 / Лёгенький С.А., Мисуно О.И.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070111; заявл. 15.02.07; опубл. 30.08.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 4. — С. 150.
57. Комкодавитель картофелеуборочной машины : пат. 3915U Респ. Беларусь : МПК А 01 D 33/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070208; заявл. 26.03.07; опубл. 30.10.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 5. — С. 160–161.
58. Машина для уничтожения сорняков с помощью электрических средств // Изобретения стран мира. — Вып. 1. — № 2. — 2001.
59. Мацепуро, О.И. Механизация предпосевного выравнивания почвы / О.И. Мацепуро. — Минск : Ураджай, 1987.
60. Машина для подбора плодов с земли : пат. 3599U Респ. Беларусь : МПК А 01 D 51/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В., заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060781; заявл. 21.11.06; опубл. 30.06.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 3. — С. 162.
61. Орудие для глубокого рыхления почвы : пат. 3825U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 13/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070124; заявл. 19.02.07; опубл. 30.08.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 4. — С. 180–181.
62. Орлов, П.Л. Основы конструирования : справ.-метод. пособие : в 2-х кн. Кн. 1 / П.Л. Орлов. — Москва : Машиностроение, 1977.
63. Детали машин / А.А. Андриенко [и др.]. — Москва : Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2002.
64. Устройство для кротования почв : пат. 3927 U Респ. Беларусь : МПК Е 02 В 11/00 / Основин В.Н., Агейчик В.А.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070214; заявл. 26.03.07; опубл. 30.10.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 5. — С. 195.
65. Сошники для торфяных почв / А.Т. Вагин, А.А. Точицкий, Н.А. Михневич // Науч.-техн. информация (МСХ БССР). — 1974. — № 10.
66. Загортач : пат. 3905U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 19/00 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060840; заявл. 12.12.06; опубл. 30.10.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 5. — С. 157.
67. Рабочий орган роторной косилки : пат. 3751U Респ. Беларусь : МПК А 01 D 34/73 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик М.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20070054; заявл. 30.01.07; опубл. 30.08.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 4. — С. 187–188.
68. Справочник механизатора-овощевода / В.А. Агейчик [и др.]. — Минск : Ураджай, 1988.
69. Механизация широкополосных посевов моркови / А.А. Казимиров, В.А. Агейчик, В.М. Доманьков // Овощеводство. — Вып. 7. — Минск : Ураджай, 1987.
70. А. с. 134438. МКИ А 01 В 29/02. Почвообрабатывающий каток / Ю.С. Мухин, К.К. Бернасовский, В.П. Мармалюков, В.А. Орехов, Г.В. Чернявский, В.М. Доманьков, В.А. Агейчик, В.Г. Подгорнов, И.И. Лойко, Ч.А. Холяво; Головное специализированное конструкторское бюро по культиваторам и сцепкам Производственного объединения «Красный Аксай», Центральный научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства Нечернозёмной зоны СССР. — №4055410/30-15; заявл. 05.04.86; опубл. 07.10.87, Бюл. № 37. — 10 с.
71. Дорожно-строительные машины / А.В. Вавилов [и др.]. — Минск : Технопринт, 2000.
72. Машины для коммунального хозяйства / А.М. Щемелев, А.В. Вавилов, В.М. Пилипенко. — Минск : НПООО «Стринко», 2003.
73. Подъёмно-транспортные машины и механизмы : метод. указания к лабор. работам и практич. занятиям / К.В. Сашко [и др.]. — Минск : БГАТУ, 2007.
74. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. — Минск, 2003.
75. Энергосберегающие технические комплексы и средства для строительства / А.В. Вавилов, В.Ф. Кондратюк, А.Я. Котлобай, Д.В. Мааров. — Минск : НПООО «Стринко», 2003.
76. Малая энергетика на биотопливе / А.В. Вавилов [и др.]. — Минск : УП «Технопринт», 2002.
77. Ротационная борона : пат. 3395U Респ. Беларусь : МПК А 01 В 21/06 / Шило И.Н., Агейчик В.А., Агейчик Ю.В.; заявитель Бел. гос. аграр. техн. ун-т. — №u20060558; заявл. 30.08.06;

опубл. 28.02.07, Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2007. — № 1. — С. 141–142.

78. Шило, И.Н. Материалоёмкость машин и технологий / И.Н. Шило, Е.Г. Родов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — Минск : Ураджай, 1996. — Вып. 34.
79. Автоматизация поискового конструирования / под ред. А.И. Половинкина. — Москва : Радио и связь, 1981.
80. Анискин, Ю.Л. Новая техника: повышение эффективности создания и освоения / Ю.Л. Анискин. — Москва : Машиностроение, 1984.
81. Алёхин, В.В. Философские проблемы инженерно-технического труда / В.В. Алёхин. — Москва : Высшая школа, 1984.
82. Паркинсон, С. Н. Законы Паркинсона / С. Н. Паркинсон. — Москва : Прогресс, 1989.

Учебное издание

**Шило** Иван Николаевич,  
**Миклуш** Владимир Петрович,  
**Агейчик** Валерий Александрович,  
**Колоско** Дина Николаевна

## ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *В.Н. Основин*  
Редактор *Н.Ф. Крицкая*  
Корректор *Н.Ф. Крицкая*  
Компьютерная верстка *Н.Ф. Крицкая*

Подписано в печать 09.10.2008 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 14,4.  
Уч.-изд. л. 13,8. Тираж 150 экз. Заказ 887.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный аграрный технический университет  
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.  
220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, к. 2

220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, к. 2