

ПЕРЕДАНО В ДАР

*Ольшанский В.И.*



# ТЕОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Под редакцией академика Белорусской инженерной академии,  
доктора технических наук, профессора В. А. Горохова

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РБ  
по образованию в области автоматизации технических процессов,  
производств и управления к изданию в качестве учебника  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по направлениям «Технологические машины и оборудование»,  
«Автоматизация технологических процессов и производств»,  
«Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»

Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию в области  
автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве  
учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлениям «Технологические машины  
и оборудование», «Автоматизация технологических процессов  
и производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»

Библиотека ВГТУ

Старый Оскол  
ТНТ  
2020



УДК 621.002:658.512.2(075.8)

ББК 34.4

Р 703

Т 33

Авторы:

В. А. Горохов, Ю. Е. Махаринский,  
Н. В. Беляков, В. И. Ольшанский

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *И. А. Каштальян*  
кандидат технических наук, доцент *В. А. Фруцкий*

**Г 703 Теория проектирования и совершенствования технических систем [Текст] : учебник / В. А. Горохов [и др.]; под ред. В. А. Горохова. — Старый Оскол : ТНТ, 2020. — 288 с. : ил.**

**ISBN 978-5-94178-693-0**

Издание посвящено проектированию и совершенствованию технических систем (ТС). В нем описаны методы и алгоритмы типового проектирования и совершенствования ТС с учетом теоретических положений функционально-стоимостного анализа и теории решения изобретательских задач. Проблемы, методы и весь теоретический материал подробно иллюстрированы рисунками и примерами проектирования и совершенствования режущего, измерительного и вспомогательного инструмента, станочных приспособлений и других компонентов технологических процессов (ТП), являющихся компонентами технических и производственных систем (ТС и ПС). После каждой главы предложены контрольные вопросы.

Подробно изложены методики проектирования ТС от стратегии проектирования и прогнозирования до классификации компонентов устройства и методов обработки заготовок; морфологическое проектирование ТС при информационном поиске технических решений от общих положений до примеров синтезов устройства и маршрута обработки типовых компонентов детали; методы совершенствования ТС от индивидуального и группового технического творчества до синтеза технических решений методом разрешения противоречий.

Издание предназначено для студентов машиностроительных направлений вузов и может быть полезным для инженерно-технических специалистов и научных работников предприятий и заводского сектора науки. Может использоваться также в системе повышения квалификации ИТР и переподготовки технических кадров.

**УДК 621**

**ББК 34.4**

ISBN 978-5-94178-693-0



© Горохов В. А., Махаринский Ю. Е.,  
Беляков Н. В., Ольшанский В. И., 2020  
© Оформление. ООО «ТНТ», 2020

## Оглавление

<b>Основные условные обозначения</b> .....	5
<b>Введение</b> .....	7
<b>Глава 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b> .....	13
1.1. Основные понятия .....	13
1.2. Стратегии проектирования .....	16
1.3. Инженерное прогнозирование .....	24
1.4. Варианты постановки задачи и описания результатов проектирования .....	27
1.5. Типовые проектные процедуры .....	33
1.6. Сложность задач синтеза .....	39
1.7. Классификация компонентов технического объекта (устройства) .....	43
1.8. Классификация методов обработки заготовок деталей технических объектов .....	51
<i>Контрольные вопросы</i> .....	72
<b>Глава 2. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ПОИСКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ</b> .....	73
2.1. Общие положения .....	73
2.2. Информационный поиск .....	75
2.3. Морфологический синтез технических систем при информационном поиске функциональных компонентов .....	79
2.4. Пример морфологического синтеза устройства (станочного приспособления) .....	85
2.5. Пример синтеза маршрута обработки типовых компонентов заготовки детали .....	99
<i>Контрольные вопросы</i> .....	113



<b>Глава 3. МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b> .....	114
3.1. Индивидуальное техническое творчество .....	114
3.2. Методы группового технического творчества .....	120
3.3. Эвристический поиск технических решений .....	127
3.4. Принципы поиска новых технических решений .....	131
3.5. Техническое и физическое противоречия .....	140
3.6. Методы разрешения физических противоречий .....	147
3.7. Эвристические методы направленного поиска .....	156
3.8. Синтез технических решений методом разрешения противоречий .....	160
3.8.1. Общий алгоритм синтеза .....	160
3.8.2. Примеры синтеза .....	164
<i>Контрольные вопросы</i> .....	180
<b>Приложения</b> .....	181
1. Соответствие установочных элементов оснастки технологическим базам заготовок и деталей .....	182
2. Установочные элементы приспособлений .....	186
3. Зажимные элементы приспособлений .....	193
4. Направляющие элементы приспособлений .....	202
5. Посадочные места станков .....	205
6. Ориентация приспособлений на станке .....	208
7. Классификатор переходов механической обработки ...	209
8. Классификатор поверхностей .....	213
9. Соответствие кодов поверхностей и переходов .....	218
10. Показатели качества, индивидуальные условия выбора .....	225
11. Типовые маршруты обработки типовых поверхностей ...	238
12. Основное время некоторых операций .....	245
13. Коэффициенты для определения оперативного и штучно-калькуляционного времени для серийного производства .....	250
14. Общеотраслевой фонд эвристических приемов .....	251
15. Некоторые типовые решения типовых задач .....	262
16. Массив компонентов с парными свойствами .....	266
17. АРИЗ-77 .....	269
18. Обобщенный эвристический метод .....	271
19. Комплексный метод поиска технических решений ...	275
<b>Библиографический список</b> .....	284

### *Основные условные обозначения*

- АРИЗ — алгоритм решения изобретательских задач  
АПк — качественный показатель вида А  
ВД — выходные данные  
ВИД — варьируемые (управляемые) исходные данные  
БПк — качественный показатель вида Б  
ВФ — вспомогательная функция  
ВрФ — вредная функция  
ГМЗ — геометрическая модель заготовки  
ГПФ — главная полезная функция  
ДФ — дополнительная функция  
ИД — исходные данные  
ИР — изменение размеров  
ИРС — изменение размеров и свойств  
ИРФ — изменение размеров и формы  
ИС — изменение свойств  
ИТР — идеальное техническое решение  
ИУ — измерительное устройство  
Иэ — индекс эффективности затрат  
Кг — коэффициент готовности  
КПМ — комплексный метод поиска технических решений  
КТС — компоненты технической системы  
МП — матрица планирования  
МТТР — массив типовых технических решений  
НФ — ненужная функция  
НЭ — нежелательный эффект  
ОУ — объект управления  
ОФ — основная функция  
ОЭМ — обобщенный эвристический метод  
ПМП — параметрический метод разрешения противоречий  
ПС — производственная система

**ПФ** — показатели функционирования  
**ПЭ** — положительный эффект (показатели эффективности)  
**ПМО** — плазменно-механическая обработка  
**ПМП** — параметрический метод разрешения противоречий  
**ППД** — поверхностное пластическое деформирование  
**ПФ** — полезная функция  
**Пк** — количественный показатель качества  
**Пу** — узловый показатель  
**ПФЭ** — полный факторный эксперимент  
**СЛУ** — счетно-логическое устройство  
**ТЗ** — техническое задание  
**ТО** — технический объект  
**ТС** — техническая система  
**ТР** — техническое решение  
**ТП** — технологический процесс  
**ТПр** — техническое противоречие  
**УВ** — управляющее воздействие  
**УУ** — управляющая подсистема  
**ФЗ** — функциональные зависимости  
**ФИД** — фиксируемые (заданные, неуправляемые) исходные данные  
**ФП** — факторный план  
**ФПД** — физический принцип действия  
**ФСА** — функционально-стоимостной анализ  
**ФПр** — физическое противоречие



## Введение

Издание посвящено методам, средствам и основным понятиям теории проектирования и совершенствования технических систем с изложением проблем управления на стадиях их создания. Революционными темпами растёт в машиностроении и приборостроении номенклатура изделий по видам, типоразмерам, конструкционным материалам и другим показателям. Банк технологий машино- и приборостроения неуклонно пополняется новыми методами и способами обработки, материалом обрабатывающих инструментов, оборудованием, обрабатывающими центрами, автоматизацией обработки и т. п.

Статистические исследования показали, что число разных классов технических систем ( $I$ ) удваивается в среднем через каждые 10 лет. Мера сложности технических систем по числу деталей и узлов ( $D$ ) возрастает в два раза через 15 лет. Объем научно-технической информации ( $B$ ), используемый в конструкторских разработках, удваивается через каждые 8 лет. Требования к сокращению сроков создания новых технических систем ( $T$ ) ужесточаются в два раза за каждые 25 лет. С другой стороны, если в промышленно развитых странах за первые 60 лет XX-го века производительность труда в производстве возросла в 10 раз, то в проектировании ( $E$ ) — лишь на 20 %.

Согласно результатам обследования деятельности проектных организаций вероятность ( $H$ ) разработки ими проекта

с фиксированным уровнем качества можно в первом приближении отразить выражением

$$H = MET / IDB,$$

где  $M$  — число проектировщиков в проектной организации. Из данного выражения следует, что единственным позитивным резервом повышения качества проектирования является повышение средней производительности труда проектировщиков ( $E$ ). Системы автоматизированного проектирования частично решают данную проблему, высвобождая время, которое тратится на рутинные типовые процедуры, но пока не помогают находить новые эффективные технические решения.

Неэффективность проектных решений, приводящих к излишнему расходованию ценных ресурсов и времени, определяется не только частными ошибками отдельных работников проектных организаций. Нередко причиной ошибок конструктора или технолога является стратегически неверная постановка задачи проектирования. Вопросы, на которые обязательно должны ответить проектировщики, приведены в таблице 1.

Бригада проектировщиков должна добиться, чтобы каждый из многочисленных и разнообразных показателей, интересующих заказчика, обладал двумя свойствами: 1) не выходил за пределы возможностей поставщиков, изготовителей, системы сбыта и так далее ни на одном из этапов существования изделия; 2) был увязан с тем, что ему предшествует, и с тем, что за ним следует.

Проектирование следует начинать с точного учета, надежного прогнозирования и рациональной систематизации требований, предъявляемых к проектируемой системе. Затем следует учитывать все факторы, определяющие ее качество, а также степень влияния проектируемой системы на другие, уже существующие и решающие смежные задачи. Очень важно правильно выбрать критерий качества проектируемой системы, который должен учитывать затраты и доходы на всех



этапах ее жизненного цикла. Совместно с проектированием технической системы следует обязательно планировать ее производство, то есть, по сути, производственная система (ПС), использование (применение) и ликвидацию. Рекомендуется использовать в процессе проектирования и планирования имитационные модели, которые с достаточной полнотой отражают поведение проектируемой технической системы (ТС) в условиях, близких к условиям ее эксплуатации в реальной среде, и предусматривают работу в диалоговом режиме. Такой комплексный подход к задаче проектирования называется системным. В нижеприведенной таблице 1 вопросы для проектировщиков относительно проектируемого объекта и тех, кто даёт на них ответы.

**Таблица 1**

**Список вопросов для проектировщиков**

Вопросы относительно проектируемого объекта	Кто дает на них ответы
Понравится ли проект заказчику? В интересах ли заказчика инвестировать проект? Будет ли проект принят к осуществлению?	Заказчик и финансирующие организации
Оптимальным ли образом в проекте используются доступные материалы и комплектующие изделия?	Поставщики
Можно ли достаточно экономично реализовать проект в рамках имеющихся ресурсов?	Изготовители
Есть ли потребность в таких изделиях на рынке?	Работники маркетинга
Каковы требования к внешнему виду, эксплуатационным характеристикам, надежности и прочему	Потребители и торгующие организации
В какой мере объект будет согласован с другими изделиями или конкурировать с ними?	Другие заказчики

Вопросы относительно проектируемого объекта	Кто дает на них ответы
В какой мере он изменит существующую ситуацию, создаст ли новые потребности, новые возможности, новые трудности?	Операторы больших систем
В какой мере его прямые и побочные эффекты приемлемы для всех, кого они касаются?	Государственные учреждения, общественные группы

Стремление к повышению производительности инженерного труда привело к его значительному дроблению, к появлению инженерных кадров различных направлений, например, инженер-конструктор, инженер-механик, инженер-дизайнер, инженер-инструментальщик и т. п. Вместе с тем наблюдаются тенденции к интеграции, связанные с изменением инженерного труда и с пониманием процесса проектирования. Компьютеризация, например, изменила характер деятельности инженера-машиностроителя.

Несмотря на тенденции, характер обучения и подготовки инженерных кадров в вузах практически не изменился и студенты вынуждены выполнять работы по решению таких теоретических и практических задач, для которых имеется готовая постановка, даются алгоритмы решения, имеются примеры решения по каждому алгоритму, а преподавателю известен ответ. Поэтому многие выпускники вузов теряются в условиях, когда требуется самостоятельно поставить задачу проектирования, найти нетрадиционное конструкторско-технологическое решение.

Основными целями таких учебных дисциплин, как «Теория проектирования и совершенствования технических систем», «Моделирование, качество и синтез моделей технических систем» и других подобных курсов являются:

- формирование профессионального мировоззрения специалиста с системным инженерным мышлением, главным

направлением деятельности которого будет проектирование изделий, оборудования, оснастки или технологических процессов изготовления машин, участков и цехов;

- обучение навыкам постановки и решения поисковых задач проектирования;
- выявление и раскрытие в процессе обучения творческих склонностей и способностей, о которых будущий инженер даже не подозревал;
- повышение творческого потенциала специалиста, привитие умения работать с технической литературой и информационными источниками.

Издание снабжено контрольными вопросами после изучения каждого раздела для проверки уровня материала. Это способствует поэтапному подконтрольному изучению издания, что очень важно для эффективности самостоятельной работы студентов, а также для заочной и дистанционной систем подготовки кадров машиностроения и приборостроения.

В последние годы вышел в свет ряд книг, посвященных методике проектирования, однако учебно-методических пособий, отвечающих потребностям обучения инженеров творческому подходу к проектированию, крайне мало. В предлагаемом издании с системных позиций обобщены работы в области общей методики моделирования и проектирования с учетом идей функционально-стоимостного анализа (ФСА) и теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) в машиностроении.

Издание состоит из трёх глав и девятнадцати приложений. В первой главе «Проектирование технических систем» приведены стратегии проектирования и инженерного прогнозирования. В ней же рассматриваются типовые проектные процедуры и массивы типовых компонентов машин, приборов, методов и способов обработки. Вторая глава «Морфологическое проектирование технических систем при информационном поиске технических решений» посвящена раскрытию методов морфологического проектирования



(устройств и процессов) при информационном поиске технических решений с примерами синтеза устройства и маршрута обработки типовых компонентов детали. В третьей главе «Методы совершенствования технических систем» рассматриваются методы индивидуального и группового технического творчества, эвристический поиск решений, принципы поиска новых технических решений, синтез решений методом разрешения противоречий.

Издание создано для студентов, которые уже имеют общетехническую подготовку и готовы воспринимать основные теоретические положения и разбираться в приводимых примерах. Оно будет полезным для ИТР предприятий, научных работников и исследователей заводского сектора науки. Его можно использовать также в системах подготовки и переподготовки кадров машино- и приборостроения.

# Глава 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## 1.1. Основные понятия

*Проектирование* — это вид деятельности, направленный на формирование новых компонентов окружающей человека искусственной среды. *Потребности* в проектировании отображают некоторую проблему, возникшую на практике и требующую своего разрешения. Выполняя функцию предпосылки проектировочной деятельности, потребности указывают, во-первых, почему и для достижения каких именно целей необходимо разрешить данную проблему, во-вторых, к какому моменту или в каком интервале времени, а также ценой каких затрат ее целесообразно разрешить.

В качестве *мотива* проектировочной деятельности выступает целостное представление о технической системе, которая будет способна разрешить выделенную проблему, об ее отличительных особенностях и важнейших свойствах. Проектируемая техническая система окажется жизнеспособной, если она будет приспособлена к заданным функциям и к окружающей среде, причем не в настоящем, а в будущем. В связи с этим проектирование связано с *инженерным прогнозированием*.

Бригада проектировщиков должна добиться, чтобы *каждый* из многочисленных и разнообразных *показателей* новой

технической системы, интересующих заказчика, обладал двумя свойствами: 1) *не выходил за пределы возможностей поставщиков, изготовителей, системы сбыта и так далее ни на одном из этапов существования технической системы*; 2) *был увязан с тем, что ей предшествует, и с тем, что за ней следует*.

Проектировщики всегда вынуждены считать реальным то, что существует лишь в воображаемом *будущем*, и искать пути претворения в жизнь *предвидимых* объектов.

Из-за того, что над чертежом одновременно может работать только один человек, на ранних стадиях проектирования чертежным способом работу ведет один человек (обычно опытный ведущий конструктор или руководитель группы), который должен сформулировать критические подпроблемы данной задачи и найти им удовлетворительные решения. Только после этого работу можно распределить между несколькими исполнителями. Однако, когда необходимый для этого опыт выходит за пределы возможности одного человека, необходимо применять *новые методы проектирования*. Объектом новых методов является не столько проектирование в общепринятом смысле этого слова, сколько мыслительная деятельность, *предшествующая* выполнению чертежей технологий и проектов.

С точки зрения исследования творчества процесс проектирования можно представить кибернетической моделью типа *черный ящик*, на выходе которого возникает загадочное творческое озарение. С точки зрения логики процесс проектирования — это *прозрачный ящик*, в котором происходит логический процесс, до конца поддающийся объяснению. С точки зрения управления процесс проектирования является *самоорганизующейся системой*, которая способна отыскивать кратчайшие пути на неведомом пути поиска решения задачи.

К процессам проектирования типа *черный ящик* относятся: *мозговая атака* и *синектика*. Методы проектирования типа *прозрачный ящик* характеризуются следующими общими чертами: 1) цели, переменные и критерии выбора (каче-



ства) заданы заранее; 2) поиску решения предшествует проведение (или хотя бы попытка проведения) анализа; 3) оценка результатов дается в основном в словесной форме и построена на логике (а не на эксперименте); 4) заранее фиксируется стратегия проектирования. При применении методов «прозрачного ящика» коренным вопросом является возможность расчленения задачи на отдельные части, которые потом можно решать последовательно.

Членение становится возможным, если проектируемый объект представляет собой агрегат, в котором каждая функция выполняется отдельным компонентом, а каждый компонент связан с другими заранее заданными входными и выходными воздействиями (связями). Функции однозначно связаны с отдельными физически различимыми компонентами. Все входные и выходные связи в системе можно задать заранее, а при разработке компонентов считать, что если он обладает требуемыми характеристиками, то он может быть включен в систему. Однако многие задачи проектирования, как крупные, так и мелкие, вообще не поддаются расчленению без ущерба для рабочих характеристик проектируемой системы.

Основным недостатком методов «черного» и «прозрачного» ящика проектирования технических систем средней и большой сложности является то, что проектировщику приходится анализировать и осознать очень много малоизученного и неизученного материала. Выходом из положения, связанного с обилием нового материала и необходимостью сразу оценить его в целом, может явиться разделение работы проектировщика на две части:

- 1) *осуществление поиска* подходящего технического решения;
- 2) *контроль и оценка* схемы поиска (управление стратегией).

Это дает возможность вместо слепого перебора вариантов применить осознанный поиск.

## 1.2. Стратегии проектирования

Термин «*стратегия проектирования*» применяется здесь в значении определенной последовательности действий (этапов), выбираемой проектировщиком с целью преобразования исходного технического задания в готовый проект. Решение о том, какие действия должны быть включены в стратегию проектирования, может быть принято с самого начала, или же можно менять стратегии в зависимости от результатов, полученных после выполнения предыдущих действий. *Если метод проектирования, взятый сам по себе, позволяет решить задачу проектирования, то он называется стратегией.* Однако в большинстве случаев новые методы проектирования не дают такой возможности, поэтому они здесь рассматриваются как «*действия*», из которых можно составить различные варианты законченных стратегий.

Целесообразно классифицировать стратегии проектирования по двум показателям: 1) *степень заданности*; 2) *схема поиска решения*. *Заранее заданные или готовые стратегии* жестко зафиксированы заранее, подобно программам ЭВМ. Они больше подходят для проектирования в знакомых ситуациях, чем для новаторской деятельности. По ним производится значительная доля работы. В идеале заданная стратегия должна быть *линейной*, то есть состоять из цепочки последовательных действий (этапов), в которой каждое действие зависит от исхода предыдущего, но не зависит от результатов последующих действий (рис. 1.1).

Если после получения результатов на одной из стадий приходится возвращаться к одному из предыдущих этапов для модификации его результатов, стратегия становится *циклической*. Встречаются случаи, когда две или несколько петель обратной связи охватывают друг друга, как показано на рисунке 1.2. Самой страшной опасностью для проектировщика становится бесконечная петля, или порочный круг, из которого не удастся выбраться иначе, как изменив структуру задачи.

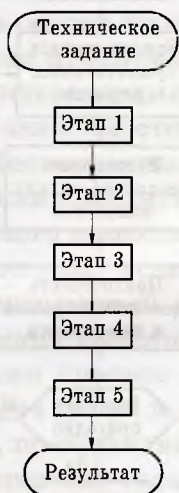


Рис. 1.1. Линейная стратегия

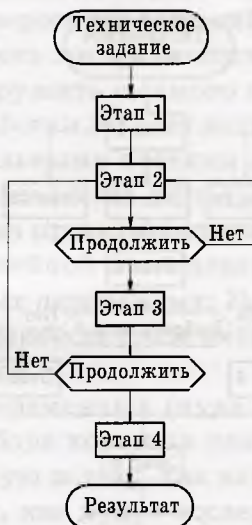
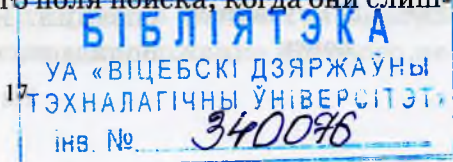


Рис. 1.2. Циклическая стратегия

Когда действия проектировщика не зависят одно от другого, может иметь место **разветвленная стратегия** (рис. 1.3). В нее 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 изменять стратегию в соответствии с исходом предыдущих этапов.

Надежным, но ограниченным вариантом адаптивного поиска является **стратегия приращений** (рис. 1.4). Эта осторожная стратегия составляет основу традиционного проектирования. Кроме того, на ней основаны многие методы автоматической оптимизации. При таком поиске имеется риск пропустить хорошие решения, когда приращения слишком велики, и не охватить всего поля поиска, когда они слишком малы.





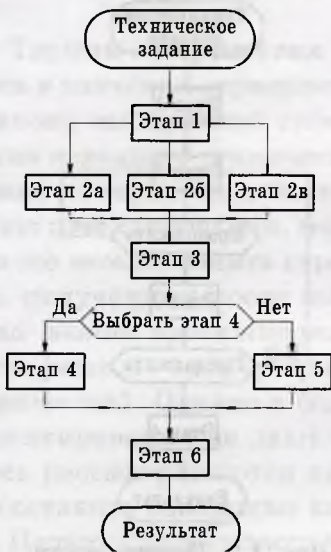


Рис. 1.3. Разветвленная стратегия

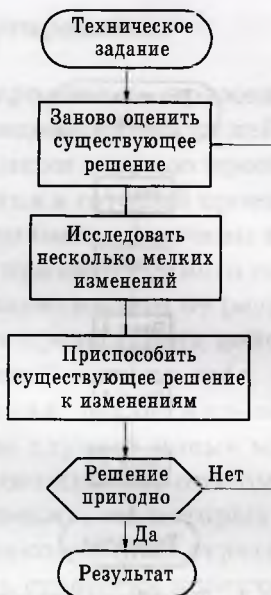


Рис. 1.4. Стратегия приращений

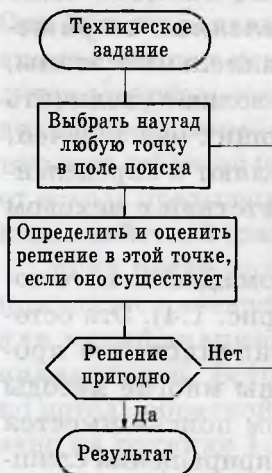


Рис. 1.5. Случайный поиск

*Случайный поиск*, отличающийся абсолютным отсутствием плана (рис. 1.5), в некоторых случаях оказывается наилучшим методом. Эта, на первый взгляд, неразумная стратегия пригодна тогда, когда необходимо найти множество отправных точек для независимого поиска в широком поле неопределенностей. При выборе каждого этапа сознательно не учитываются исходы остальных этапов, что придает поиску предельно непредубежденный характер.

Желательно уменьшение цикличности и увеличение линейности проектирования. Наличие цикличности предполагает, что важные частные задачи

остаются незамеченными до поздних этапов работы, а когда они обнаруживаются, требуется пересмотр решений, положенных в основу проекта. Линейность же предполагает, что все важные проблемы можно обнаружить с самого начала. Полной линеаризации всякой разработки мешает непредсказуемость зависимостей между отдельными частями задачи. Поэтому беспочвенны попытки специалистов по теории проектирования находить решение задач проектирования путем однократного прохода по такой линейной последовательности: 1) *выявление всех существенных переменных*; 2) *определение зависимостей между ними*; 3) *обеспечение оптимальных значений выходных параметров*.

Уже сам процесс выявления переменных (куда входит определение целей и критериев отбора хороших решений), очевидно, представляет собой трудную задачу, так как ее решение возможно только после того, как будут исследованы возможности осуществления многих альтернативных решений. Важнейшим преимуществом методов «прозрачного ящика» является то, что они позволяют автоматизировать детальные и многократно повторяющиеся операции проектирования.

Проектную деятельность можно разделить на следующие три фазы.

1. *Первая фаза — изучение осуществимости* начинается с анализа потребностей (*первый шаг*). Цель этого шага — получить ответ на вопрос: существует ли такая потребность, есть ли возможность ее экономической реализации. Есть ли такая система, которая может удовлетворить потребность.

На *втором шаге* исследуется порожденная потребностью *проектная проблема*. Прежде чем пытаться найти ее возможные решения, проектная проблема должна быть определена и сформулирована на основании информации, полученной на предыдущем шаге. Это информация о желаемых выходах, об окружающей среде, ресурсах и общем инженерном принципе системы. Проектируемая система рассматривается здесь как «черный ящик», содержание которого не-

известно. Но определяются выходные параметры системы, ограничительные условия и главные критерии предпочтения.

*Третий шаг* изучения осуществимости представляет собой синтез возможных решений. Каждое из них является абстракцией, идеализацией, которая учитывает только некоторые главные факторы, но опускаются многие второстепенные. Однако, последние могут иметь решающее значение при выяснении возможности или невозможности рассматриваемого решения.

*Четвертый шаг* заключается в определении *физической реализуемости* решения проблемы.

На *пятом шаге* из реализуемых решений выбираются *экономически рентабельные решения*.

На *шестом шаге* определяется *финансовая осуществимость* даже рентабельных решений.

Таким образом, в результате реализации первой фазы будет получено множество пригодных решений проектной проблемы. Эта фаза соответствует принятым ГОСТ Р 15.301–2016 этапам, которые завершаются разработкой *технического задания* ( $T_z$ ) и *технического предложения* ( $T_n$ ).

*Вторая фаза — предварительное проектирование* имеет целью установить, какая из предложенных на предыдущей фазе альтернатив является наилучшей проектной идеей. Результатом этой фазы является общая идея системы, которая будет служить руководством для детального проектирования.

*Первый шаг* этой фазы заключается в *выборе из проектных идей* наиболее перспективной, как предварительной идеи проекта.

*Второй шаг* состоит в *формулировке математических моделей* как прототипов проектируемой системы.

*Третий шаг* представляет собой *анализ чувствительности системы*. На этом шаге за счет экспериментирования с ее входами и выходами определяются ее критические проектные параметры, точные пределы чувствительности системы на внешние воздействия. Определяется, какие минимальные внешние воздействия на входы ведут к изменению выходов.



*Четвертый шаг — анализ совместимости*, на котором система представляется как объект, сам являющийся комбинацией объектов на нижележащем уровне сложности, которые представляют собой подсистемы. Последние тоже могут являться комбинацией компонентов и т. д. Таким образом, система представляется как иерархическая структура. Точные параметры системы, полученные при анализе чувствительности, должны быть откорректированы с точки зрения приспособления друг к другу подсистем и компонентов, увеличения их совместимости.

*Пятый шаг — анализ стабильности*. Его цель — исследовать поведение системы в необычных обстоятельствах, чтобы была уверенность, что система как целая является стабильной; чтобы определить риск и последствия таких изменений окружающей среды, которые могут стать причиной «катастроф» в системе.

*Шестой шаг — оптимизация проектного решения*. На этом шаге окончательно выбирается наилучшая из альтернатив и все параметры системы фиксируются на определенном уровне.

*Седьмой шаг — «проекция в будущее»*. На этом шаге учитывается, что некоторые компоненты системы устаревают, прежде чем проектирование будет завершено. Поэтому проектировщик должен учитывать общее направление и тенденции технического развития, например новые компоненты, которые могут быть добавлены к системе в будущем. Могут также измениться вкусы потребителей и предложения конкурентов.

*Восьмой шаг — предсказание поведения системы в будущем*.

*Девятый шаг — экспериментальная проверка идеи*. Этот шаг должен не только доказать, что все компоненты работают удовлетворительно, но и оценить возможность физической осуществимости системы.

Наконец, если в результате предыдущих шагов проект получился очень сложным, то на *десятом шаге* устраняется ненужная сложность системы.

Эта фаза соответствует принятому ГОСТ Р 15.301–2016 этапу, который завершается разработкой *эскизного проекта* (Э<sub>п</sub>).

**Третья фаза — детальное проектирование.** Цель ее — довести предварительную идею системы до физической реализации и разработать окончательную конструкцию системы. До этой фазы зафиксирована общая идея системы, точно определены подсистемы и имеется предварительное решение выполнить полный проект. Для этого необходимы специалисты, время и деньги.

**Первый шаг — подготовка к проектированию.** Обосновывается бюджет и осуществляется организация проектирования.

**Второй шаг — общее проектирование подсистем.** Осуществляется по тем же этапам, что и предварительное проектирование системы в целом. Однако требования совместимости и совместного действия подсистем накладывают на них большие ограничения, чем факторы окружающей среды на систему в целом.

**Третий шаг — разработка проектов компонентов системы** в соответствии с предварительными планами подсистем, что является фактическим повторением проектирования подсистем. Однако проектирование на этом шаге становится менее абстрактным.

**Четвертый шаг — детальное проектирование частей,** которые являются элементарными составляющими компонентов.

**Пятый шаг — подготовка сборочных чертежей.** Решается вопрос о физической реализации (форма, материал, показатели качества и т. д.). Этот шаг является итерационным, так как в процессе работы приходится корректировать ранее сделанное.

**Шестой шаг — выполнение экспериментальной конструкции системы.** Выполняется на основе выполненных сборочных и детальных чертежей. В некоторых случаях выполняется материальная модель системы.

*Седьмой шаг — разработка программы проверки экспериментального образца.*

*Восьмой шаг — анализ результатов испытания.* На основании анализа и обнаруженных недостатков разрабатываются рекомендации по доработке проекта.

*Девятый шаг — корректировка чертежей.*

Эта фаза соответствует принятым ГОСТ Р 15.301–2016 этапам, которые завершаются разработкой *технического проекта* ( $T_{пр}$ ) и *рабочей документации*. После пятого шага проводится экспериментальная проверка опытного образца и корректировка чертежей.

Однако при проектировании относительно простых технических систем, особенно для внутреннего пользования в единичных экземплярах (специальные приспособления и инструмент), многие шаги проектной деятельности не выполняются.

Достижение целей проектирования возможно при наличии соответствующего методического и информационного обеспечения.

*Методическое обеспечение процесса проектирования* представляет собой специально подготовленные и организованные композиции из знаний различного типа, предъявляемых в форме нормативных предписаний, алгоритмов, рекомендаций, примеров и т. д. Указанную систему знаний можно разбить на два класса: система понятий и специальные знания. Последние включают: типовые постановки задач проектирования; типовые модели объектов проектирования; типовые модели процесса проектирования; типовые методы и алгоритмы формирования проектных решений.

*Информационное обеспечение* содержит систему данных (знаний) о типовых конструкторских, технологических и материаловедческих проектных решениях, о системах-аналогах и прототипах, о моделях конкретных объектов проектирования (стандартах).



### 1.3. Инженерное прогнозирование

Под *инженерным прогнозированием* понимается научно обоснованная информация, отражающая в вероятностной постановке потенциальные возможности развития техники и технологии. На его основе можно получить ответы на следующие вопросы:

- ✓ какие направления в технике и технологии займут лидирующее положение на ближайшие 10–15 лет;
- ✓ когда можно ожидать внедрения в производство новых технических систем или направлений их развития;
- ✓ какова вероятность использования технических систем;
- ✓ каковы возможные пропорции внедрения в практику конкурирующих направлений.

Инженерное прогнозирование опирается на информацию, которая содержится в законченных инженерных и научно-исследовательских разработках, патентах и авторских свидетельствах.

Ошибки, допущенные при выборе целей проектирования, особо тяжелы по своим последствиям. Выбрать не то проектное решение — значит создать не очень удачную техническую систему, выбрать не те цели — значит создать не то, что нужно.

В зависимости от периода прогнозирования различают:

- 1) краткосрочный прогноз (охватывает период в 2–4 года);
- 2) среднесрочный прогноз (охватывает период в 5–15 лет);
- 3) долгосрочный прогноз (охватывает период в 16–30 лет).

По отношению к способу получения конечного результата прогнозирования различают:

1) *исследовательский прогноз*, который основан на анализе и обработке статистических данных о свойствах объектов прогнозирования, накопленных за определенный ретроспективный период времени и достаточных для оценки перспектив развития эволюционирующей технической системы;

2) *нормативный прогноз*, который основан на всестороннем анализе признаков функционально-морфологического описания объекта прогнозирования и выявлении путей при-

ближения прогнозируемых показателей этого объекта к значениям, установленным на основе прогнозов эволюции окружающей среды за рассматриваемый период.

В исследовательском прогнозе исполнитель прогноза оценивает прогнозную ситуацию «от достигнутого», то есть от настоящего к будущему. А в нормативном прогнозе, напротив, он определяет стратегию развития технической системы и изменения ее показателей, исходя из нормативных значений, принятых на перспективу (ориентация на идеал).

Если при нормативном прогнозе известен ожидаемый конечный результат и требуется определить наиболее целесообразный путь его достижения, то при исследовательском прогнозе неясна степень соответствия ожидаемого результата будущим характеристикам окружающей среды. Хотя общая тенденция изменения показателей технической системы становится ясной в результате обработки данных ретроспективного периода.

Наиболее эффективным является комплексный (*нормативно-исследовательский*) прогноз, основанный на сочетании нормативного и исследовательского прогнозов. Такой прогноз позволяет не только учесть опыт прошлых лет, но и определить наиболее благоприятную по критерию эффективности траекторию изменения главного показателя объекта прогнозирования и нормативные сроки обновления его исполнений в перспективном периоде. Комплексный инженерный прогноз особенно необходим при разработке государственных стандартов на группы однородных технических систем.

Основными целями инженерного прогноза являются:

1) определение показателей исполнений технической системы и динамики обновления технической системы в соответствии с ростом потребности в ней;

2) выявление тенденции развития технологии, реализуемой технической системой, в прогнозируемый период и динамики обновления технической системы в соответствии с динамикой обновления ее продукции;

3) оценка ресурсных ограничений и возможности перехода к последующим этапам подготовки производства.

К объектам инженерного прогнозирования, представляющим непосредственный интерес для последующего проектирования, относятся:

- 1) множество показателей технической системы;
- 2) множество ее исполнений;
- 3) множество компонентов каждого исполнения технической системы;
- 4) множество пространственно-временных отношений между компонентами исполнений технической системы.

Между перечисленными объектами прогнозирования существуют следующие связи:

1) каждый последующий объект прогнозирования является вместе с тем и последующим этапом углубленной, детальной разработки научно-технической идеи по отношению к предыдущему объекту;

2) данные прогноза каждого предыдущего объекта служат прогностическим фоном для последующего объекта прогнозирования, поскольку служат исходной информационной базой для его прогноза.

Для инженерного прогнозирования применяется один из следующих методов:

1) прогнозирование при помощи оценки инженерно-технической значимости новых изобретений (метод патентов);

2) прогнозирование на базе выявления и технических стратегий (метод «целей-стратегий»);

3) прогнозирование путем выявления перспективного уровня и конкурентоспособности новых технических систем (метод обобщенных параметров).

Первые два метода в основном используются для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования, а третий применяется преимущественно для краткосрочного прогнозирования. Метод «целей-стратегий» применяется при отсутствии или малой мощности фондов патентов.

К информационным источникам, которые используются при инженерном прогнозировании, относятся:



1) параметрические источники, содержащие в описании объектов прогнозирования количественные показатели (производительность, КПД, масса, долговечность и т. д.);

2) непараметрические источники, то есть документы, в которых отсутствуют какие-либо количественные показатели, а описание ведется на качественном уровне (научные и технические идеи, программно-директивные документы, социологические требования к объекту прогнозирования и т. п.).

#### 1.4. Варианты постановки задачи и описания результатов проектирования

Возможны следующие варианты постановки задачи проектирования технологических (перерабатывающих) систем (табл. 1.1).

Таблица 1.1

*Варианты постановки задач проектирования*

Вариант	1	2	3	4	5	6
Вход	Н	Д	Н	Д	Н	Д
Система	Н	Н	Д	Н	Д	Д
Выход	Д	Н	Н	Д	Д	Н
Примечание: Д — задано; Н — найти						

*Вариант 1.* В этом случае задан выход (например, продукт производства, которым может быть машина или любая техническая система). Требуется найти (разработать) соответствующие входы. К ним относят заготовки, покупные компоненты и технологическую систему (способ обработки, технологический процесс обработки и сборки, станок, приспособление, инструмент). Этот вариант можно назвать производственной задачей.

*Вариант 2.* Обычно задан нежелательный вход (например, отходы производства или побочный продукт). Нужно найти способ превращения его в пока неизвестный жела-

тельный выход. Этот вариант можно назвать задачей утилизации.

*Вариант 3.* Это задача об использовании бездействующей системы (например, технологического оборудования, приспособлений и инструментов). Характеристики бездействующей системы заданы.

*Вариант 4.* Это задача выбора или разработки производственной системы для превращения заданного входа в заданный выход. Задача несколько проще, чем в первом или втором вариантах.

*Вариант 5.* Задан выход (продукт) и технологическая система для его получения. Необходимо найти совместимый вход (сырье).

*Вариант 6.* В этом случае необходимо найти желательный выход (продукт) для заданного входа и заданной системы.

В четвертом, пятом и шестом вариантах неудачное задание двух из трех факторов может привести к неразрешимой ситуации, которая возникает при несовместимости заданных факторов (например, сырья и технологической машины). Но эта ошибка не всегда очевидна.

*Целью проектирования* в первом, втором и четвертом вариантах постановки задачи является создание проекта (описания) технической системы, способной разрешить выделенную проблему.

*Результат или конечный продукт* проектирования технической системы — это ее окончательная информационная модель, которая содержит сведения о конфигурации и показателях этой системы, необходимые и достаточные для изготовления и (или) использования в производственных условиях спроектированного объекта. Согласно ГОСТ 34.003–90 *результат проектирования получают путем целенаправленного преобразования первичного описания (исходной модели), устранения его некорректности, оптимизации показателей (характеристик) или алгоритма функционирования и представления (при необходимости) на различных языках моделирования.*

Сложность описания технических систем должна быть согласована с возможностями восприятия информации человеком. Однако выполнить это требование в рамках единого описания, не расчленяя его на некоторые части, возможно только для простых систем. Как правило, требуется структурирование описаний и соответствующее расчленение представлений о проектируемой системе на иерархические уровни по степени подробности описания.

Описание технологического процесса изготовления какой-либо детали машины обычно расчленяется на следующие уровни иерархии.

1. *Маршрут обработки*, отражающий последовательность выполнения операций, необходимых для изготовления заданной детали. Например, для детали, изображенной на рисунке 1.6, он имеет вид:

005 Фрезерно-центровальная

010 Токарная

015 Токарная

020 Фрезерная

025 Термическая

030 Круглошлифовальная

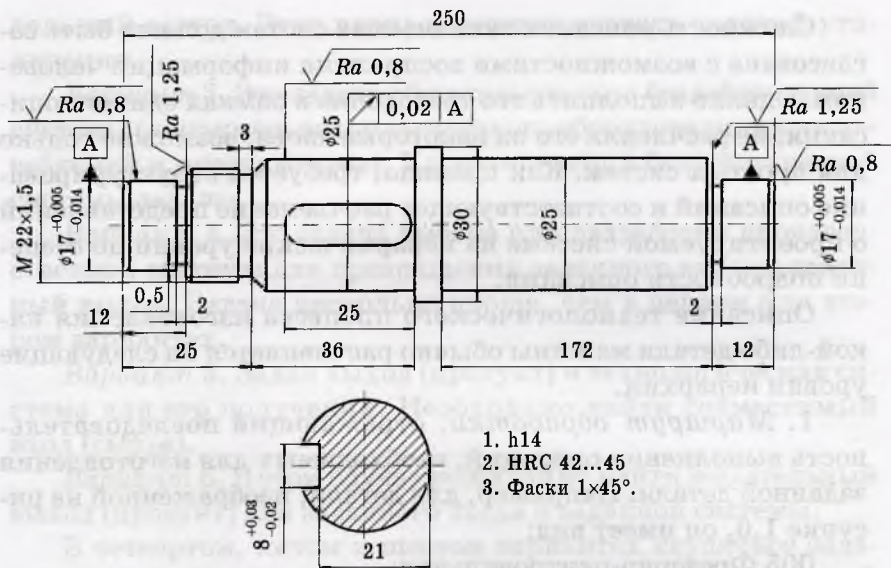
035 Круглошлифовальная

040 Контрольная

Наименование операции указывает только на тип оборудования или рабочего места, на котором она будет выполняться.

2. *Операционная карта* раскрывает содержание и последовательность выполнения переходов (законченных частей операции), характеризующихся единством инструмента, обрабатываемой поверхности и показателей режима резания. В каждой операции может быть один или несколько установов, которые характеризуются постоянством положения обрабатываемой детали относительно станочного приспособления. За каждый установ выполняется один или несколько переходов.





**Рис. 1.6. Чертеж детали к примеру маршрута обработки заготовки**  
**Материал : Сталь 45**

Описание операции может иллюстрироваться операционным эскизом (рис. 1.7). Например, описание операции 015 имеет вид:

015 Токарная

1. Установить и закрепить заготовку.

Поводковый патрон; центр плавающий; центр вращающийся.

2. Точить поверхность, выдерживая размеры 1 и 8+9.

Резец проходной упорный.

3. Точить поверхность, выдерживая размеры 3 и 8.

4. Точить поверхность, выдерживая размеры 5 и 7.

5. Точить канавку, выдерживая размеры 6 и 4.

Резец канавочный.

6. Точить канавку, выдерживая размеры 2 и 10.

7. Точить три фаски, выдерживая размер 11.

Резец фасочный.

8. Точить резьбу, выдерживая размер 3.
  - Резец резбовой.
  9. Снять деталь.
  10. Выборочный контроль на рабочем месте.
- Штангенциркуль; кольцо резьбовое.

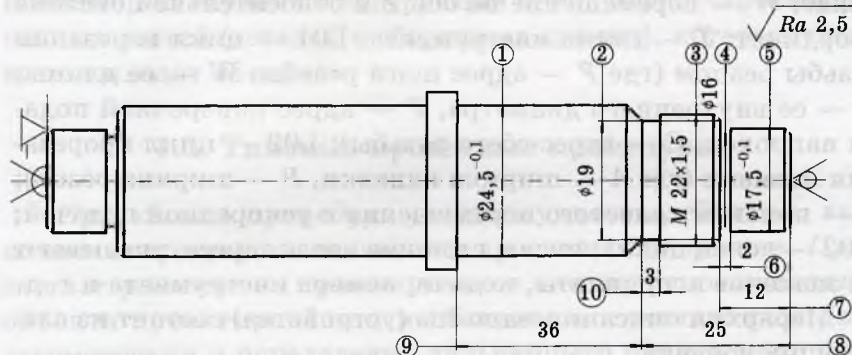


Рис. 1.7. Операционный эскиз к операции 015

В таком описании приводится еще информация о режимах резания, затратах времени на операцию (а иногда и на каждый переход), ГОСТы на инструмент и приспособления, номера инструкций по технике безопасности и т. д.

3. *Управляющая программа* для обработки на станке с ЧПУ представляет собой последовательность кадров, в которых содержатся слова (команды) для управления устройством ЧПУ. Например, если операция 015 производится на станке с ЧПУ модели 16К20 Ф3, то управляющая программа имеет вид:

N001 F0,16 S3 800 T1 *	N002 Z126 X24,5 E *	N003 Z72 *
N004 Z126 E *	N005 X22 E *	N006 Z100 *
N007 Z126 E *	N008 X17,5 E *	N009 Z113 *
N010 F0,1 T2 *	N011 Z113 X22 E *	N012 X16 *
N013 X24 E *	N014 Z100 E *	N015 L02 X19 A3 P2 *
N016 T3 *	N017 Z100 X25 E *	N018 X23 *
N019 W13 E *	N020 X21 *	N021 W12 E *
N022 X16,5 *	N023 S3 450 T4 *	N024 Z114 X22 E *
N025 L01 F1,5 W12 X20,05 P0,2 C0 *		N026 M02 *

где первые три цифры — номер кадра; кадр состоит из слов; слово состоит из буквы и числа. Буква отражает выполнение определенных функций: *S* и *F* — переключение соответственно частоты вращения шпинделя и подачи; *X* и *Z* — перемещение по осям соответственно *X* и *Z* в абсолютной системе координат; *W* — перемещение по оси *Z* в относительной системе координат; *T* — смена инструмента; *L01* — цикл нарезания резьбы резцом (где *F* — адрес шага резьбы, *W* — ее длины, *X* — ее внутреннего диаметра, *P* — адрес поперечной подачи напроход, *C* — адрес сбегая резьбы); *L02* — цикл прорезания канавки (где *A* — ширина канавки, *P* — ширина резца); *E* — признак холостого перемещения с ускоренной подачей; *M02* — конец цикла; числа, стоящие после адреса, указывают на значение координаты, подачи, номера инструмента и т. д.

Иерархия описания машины (устройства) состоит из следующих уровней.

*Спецификация*, дающая иерархическое представление о составе устройства. В ней сначала дается перечень наименований и количество одинаковых сборочных единиц, входящих в устройство (оригинальных, нормализованных, покупных). Затем дается описание состава сборочных единиц, которые в общем случае состоят из деталей и сборочных единиц более низкого уровня иерархии. Детали также делятся на оригинальные, нормализованные и покупные.

*Чертежи общего вида*, дающие представление о форме и относительном расположении частей устройства, о его габаритных размерах и некоторых технических требованиях (к качеству и выполняемым этим устройством функциям).

*Чертежи сборочных единиц*, дающие представление о форме, размерах, относительном расположении и характере соединения входящих в данную сборочную единицу элементов. Указываются также необходимые технические требования.

*Рабочие чертежи* оригинальных деталей. Они дают полную информацию о форме, размерах, относительном расположении и показателях качества (точность, шероховатость,



твердость материала, тип покрытия) их типовых элементов (поверхностей). Указывается также материал, из которого изготовлена деталь.

*Инструкция пользователю*, содержащая информацию о правилах эксплуатации, монтажа и наладки устройства. В некоторых случаях к инструкции прилагаются чертежи запасных частей (деталей и сборочных единиц), которые чаще всего выходят из строя.

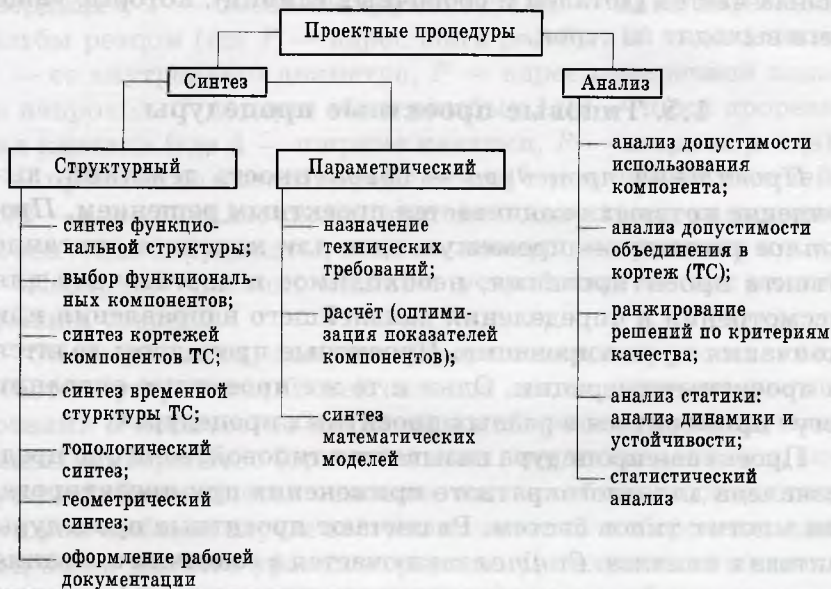
## 1.5. Типовые проектные процедуры

*Проектная процедура* — совокупность действий, выполнение которых оканчивается проектным решением. *Проектное решение* — промежуточное или конечное описание объекта проектирования, необходимое и достаточное для рассмотрения и определения дальнейшего направления или окончания проектирования. Проектные процедуры делятся на проектные операции. Одни и те же проектные операции могут применяться в разных проектных процедурах.

Проектная процедура называется типовой, если она предназначена для многократного применения при проектировании многих типов систем. Различают проектные процедуры синтеза и анализа. *Синтез* заключается в создании описания проектируемой системы (компонента или элемента), а также в определении ее (их) показателей. *Анализ* же — в определении показателей качества и исследовании работоспособности системы по ее описанию. То есть при синтезе создается, а при анализе оценивается проект системы (ее компонентов).

Различают процедуры структурного и параметрического синтеза. Целью *структурного синтеза* является определение конфигурации системы — перечня типов компонентов, составляющих систему, и отношений (связей) между ними в составе проектируемой системы. *Параметрический синтез* заключается в определении числовых значений показателей компонентов системы при заданной ее конфигурации и требованиях к функционированию.

Процедуры анализа представляют собой проверочные расчеты показателей, характеризующих качество функционирования системы, а также проверку пространственной, временной или другой совместимости ее функциональных компонентов. Классификация проектных процедур приведена на рисунке 1.8.



**Рис. 1.8. Классификация типовых проектных процедур**

Результатом синтеза функциональной структуры является дерево функций (см. рис. 1.14 в издании «Моделирование, качество и синтез моделей технических систем») или просто их список с выделением ГПФ, ОФ, ВФ и ДФ. Выбор функциональных компонентов осуществляется из определенным образом организованных массивов (справочников). В них обычно собраны функциональные компоненты разного уровня сложности — от элементарных до сложных подсистем или даже целых технических систем. Подробнее об этих массивах будет сказано ниже (в последующих разделах).

Обычно для выполнения одной и той же функции можно (и нужно) выбрать несколько различных функциональных компонентов. Затем нужно использовать операцию анализа пригодности выбранных компонентов для выполнения данной функции. Проверка производится по определенным ограничениям, которые порождаются соображениями проектировщика и (или) предписаниями извне (заказчика, руководителя).

Ограничения могут быть количественными или качественными. Первые ограничивают выбор компонентов по пороговым значениям анализируемых показателей, которые являются:

- а) из задания на проектирование;
- б) из анализа функциональных требований, предъявляемых к технической системе, когда эти требования можно без изменения перенести на рассматриваемый компонент;
- в) из анализа значений показателей технических решений, которые были получены на предыдущих этапах синтеза технической системы.

Например, при проектировании литьевого автомата сначала были выбраны: подсистема запираания пресс-формы с заданной силой запираания  $P$  и подсистема впрыска с заданным объемом впрыска  $V$ . Тогда число гнезд в пресс-форме  $n$  ограничивается следующими неравенствами:

$$n < \frac{P}{Fkp}; \quad n < \frac{V}{1,1V_{\text{и}}},$$

где  $F$  — площадь проекции отливаемого изделия на плоскость разъема;  $k$  — коэффициент понижения давления в форме;  $p$  — давление впрыска;  $V_{\text{и}}$  — объем изделия. Количественные ограничения позволяют также ранжировать пригодные компоненты по уровню качества.

Для выполнения главной полезной функции из отобранных пригодных компонентов нужно синтезировать варианты кортежей. *Кортеж* — это последовательное перечисление компонентов, объединенных для выполнения ГПФ. Каж-



дый из полученных вариантов кортежей также проверяется на пригодность при помощи соответствующей операции анализа.

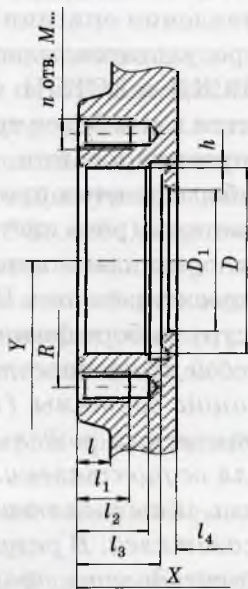
Качественные ограничения предназначены именно для выбора допустимых кортежей, отобранных согласно количественным ограничениям. Происхождение данных ограничений эвристическое. Они порождены: соображениями здравого смысла, условиями совместности компонентов технической системы по значениям их геометрических, мощностных или точностных показателей, видом связи между свойствами компонентов и свойствами технической системы. Качественные ограничения обычно задаются как условия совместной неприменимости хотя бы двух компонентов из вводимых в систему. Например, при синтезе блочного перехода на токарно-револьверном автомате запрещено совмещать сверление и поперечное точение на ширине, большей двух диаметров заготовки.

Часто имеют место ситуации, при которых ни один из выбранных компонентов определенного уровня сложности непригоден для выполнения заданной функции. В таких случаях следует попытаться синтезировать из более простых, предварительно отобранных компонентов, новый, субъективно или объективно неизвестный компонент, пригодный для выполнения заданной функции.

Основными процедурами *топологического синтеза* являются задачи *компоновки*, *размещения* и *трассировки*. Решение задач компоновки компонентов высшего иерархического уровня из элементов и компонентов низшего иерархического уровня в большинстве случаев является наиболее трудоемкой и практически неформализованной частью проектирования. Задача компоновки состоит из двух частей: эскизной и рабочей. Исходной для выполнения первой части задачи является функциональная структура проектируемой системы. На основании эскизной компоновки разрабатывают рабочую компоновку с более подробной проработкой (определением показателей) выбранных функциональных элементов.

К задачам размещения относят, например, такие задачи, как размещение технологического оборудования производственного участка или размещение элементов гидравлической подсистемы станка. К задачам трассировки относят, например, такие задачи, как трассировка потока заготовок в цехе или трассировка отходов производства.

*Геометрический синтез* включает решение задач двух групп. Первая группа — это задачи формирования сложных геометрических объектов из элементарных. Например, деталь машины формируется из элементарных типовых поверхностей (плоскостей, цилиндрических, конических, винтовых и прочих), а также из функциональных модулей (групп взаимосвязанных поверхностей, совместно выполняющих определенную группу функций). Пример функционального модуля корпусной детали, предназначенного для ориентации и закрепления подшипника качения, показан на рисунке 1.9. В данном функциональном модуле существуют не только отношения между взаимным расположением входящих в него элементарных типовых поверхностей,



**Рис. 1.9. Функциональный модуль корпусной детали (функция — ориентация и закрепление подшипника качения)**

но и отношения (взаимосвязь) между их размерными показателями. То есть, все размеры этого модуля зависят от диаметра  $D$ . Этот тип задач почти совпадает с задачами компоновки.

Вторая группа задач геометрического синтеза относится к получению рациональной или оптимальной (наилучшей с какой-то точки зрения) формы компонента проектируемой

системы, которая влияет на качество ее функционирования. Например, форма передней поверхности реза влияет на показатели его работы. А форма (гладкая или ребристая) корпуса редуктора или электродвигателя влияет на их теплоотдачу.

В процедурах *оформления технической и технологической документации* синтезируется не содержание, а форма представления описаний спроектированной системы. Оформление результатов проектирования регламентируется правилами ЕСКД и ЕСТПП. Все процедуры структурного синтеза относятся к наиболее трудноформализуемым элементам процесса проектирования.

Выбор основных принципов функционирования проектируемой системы (речь идет о принципах информационных, физических, организационных и т. д.) выполняется на ранних стадиях проектирования. В этой группе процедур часто выделяют процедуру выбора физических принципов действия (ФПД).

*Любой этап проектирования начинается с синтеза конфигурации системы (компонента). Затем создается математическая модель системы (компонента), необходимая для осуществления параметрического синтеза и (или) анализа, и вычисляются (выбираются) исходные значения ее показателей. В результате выполнения анализа выясняется пригодность полученного решения, то есть его соответствие требуемым показателям качества.*

Если выяснилось, что полученное решение непригодно, то проводится модификация (изменение) полученных ранее показателей системы. Если возможности модификации исчерпаны, а заданное качество решения не получено, то проводят изменение конфигурации проектируемой системы. Если модификация показателей целенаправленна и подчинена стратегии поиска (вычисления) наилучшего значения какого-либо показателя (критерия) качества системы, то процедура параметрического синтеза является процедурой оптимизации.

Выбор технических решений выполняется на последующих стадиях проектирования и относится к задачам конкретизации ранее выбранных принципов построения и функ-



ционирования проектируемой системы. Например, принцип управления с обратными связями можно реализовать с помощью гидравлических, пневмомеханических или электромеханических устройств.

## 1.6. Сложность задач синтеза

В зависимости от возможностей формализации и психологической трудности решения задачи синтеза делятся на несколько уровней сложности. К *первому уровню* сложности относятся задачи, в которых требуется выполнение только лишь параметрического синтеза, а конфигурация системы определена заранее: либо спецификой ТЗ, либо результатами процедур, выполненных на предыдущих этапах проектирования. В некоторых случаях допустима доработка заданной конфигурации, но только путем исключения ненужных элементов или связей. Примерами формулирования задач данного уровня сложности являются:

- ✓ спроектировать калибр для проверки прямолинейности отверстия заданного диаметра и длины;
- ✓ спроектировать круглый фасонный токарный резец для обработки заданного участка вала;
- ✓ спроектировать технологический процесс обработки вала, чертеж которого приведен на рисунке 1.6, на базе типового.

Синтез конфигурации в последнем случае сводится к исключению ненужных переходов и операций из типового технологического процесса, разработанного для типового вала, конфигурация которого характеризуется большим разнообразием элементов, чем у данного, а показатели качества (точности, шероховатости) выше или, по крайней мере, равны показателям данного вала. Отличия в конфигурации, качестве и габаритных размерах не должны превышать некоторых допустимых пределов.

Например, типовой вал для вала, показанного на рисунке 1.6, имеет еще шлицы и, следовательно, в его маршрут об-

работки включена операция 022 Шлицефрезерная. Эта операция исключена из маршрута обработки вала, показанного на рисунке 1.6.

Ко второму уровню сложности относятся задачи, в которых необходим выбор конфигурации проектируемой системы из некоторого, относительно небольшого множества известных технических решений. И в данном случае допустима доработка выбранной конфигурации путем исключения ненужных компонентов. Такое проектирование называют иногда *альтернативным*. Задачи данного уровня сложности обычно формулируются шире по сравнению с задачами первого уровня. Например:

- ✓ спроектировать привод шпинделя токарного станка с заданной на выходе мощностью и диапазоном частот вращения;
- ✓ спроектировать технологию изготовления болтов с заданным диапазоном диаметров и длин.

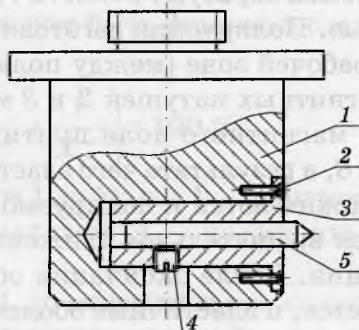
В первом случае на начальном этапе проектирования выбор конфигурации привода возможен из следующих вариантов:

- 1) асинхронный двигатель и шестеренчатая коробка скоростей с ручным переключением;
- 2) асинхронный двигатель и шестеренчатая коробка скоростей с фрикционными муфтами, позволяющими автоматизировать переключение;
- 3) регулируемый электродвигатель и упрощенная шестеренчатая коробка скоростей для переключения диапазонов регулирования;
- 4) асинхронный электродвигатель, насосная станция и гидравлический вариатор.

Во втором случае выбор можно делать, например, между следующими принципиально различными вариантами: 1) обработка резанием (точение, нарезание резьбы и фрезерование); 2) обработка методами холодного пластического деформирования (холодная высадка и накатывание резьбы).

К *третьему уровню* сложности относятся задачи, при решении которых попытки использовать известное множество конфигураций не обеспечивают необходимое качество выполнения заданных функций, и поэтому необходимо добавление или замена элементов и связей в одной из известных систем, принятой за прототип. Добавляемый (заменяемый) элемент или связь выбираются из некоторого множества известных. В некоторых случаях техническим решениям этого уровня может быть присвоен статус изобретения (если получается новая, неизвестная ранее конфигурация или известный элемент, используется для выполнения новой для него функции).

Например, для компенсации линейного расширения резца, согласно авторскому свидетельству СССР № 584979, резец установлен во втулке, выполненной из материала с большим коэффициентом линейного расширения, чем материал резца, причем втулка закреплена в корпусе 1 своим передним концом, а резец во втулке — своим задним концом (рис. 1.10).



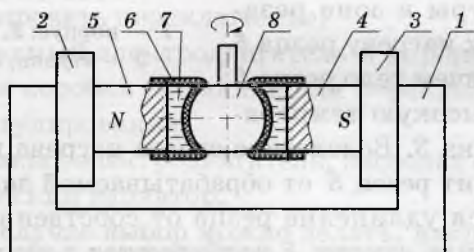
**Рис. 1.10. Оправка по авторскому свидетельству СССР № 584979:**

- 1 — корпус; 2, 4 — винты;  
3 — втулка; 5 — резец

При растачивании повышение температуры в зоне резания приводит к нагреву резца 5 и втулки 3, причем тело резца 5 имеет более высокую температуру, чем втулка 3. Вследствие своего нагрева втулка удлиняется и отводит резец 5 от обрабатываемой заготовки, чем компенсируется удлинение резца от собственного нагрева. Материал и длина втулки 3 подбираются с таким расчетом, чтобы температурное удлинение резца 5 компенсировалось температурным удлинением втулки 3. Предлагаемая конструкция расточной оправки позволяет обрабатывать глубокие отверстия с большой точностью.



К четвертому уровню сложности относятся задачи, для решения которых необходимо создать новые, неизвестные до этих пор, элементы или образовать новые связи. При поиске решения очень часто приходится обращаться к науке или области техники, в которых обычно не ставятся задачи, подобные данной. Например, к четвертому уровню сложности можно отнести разработку устройства для полирования, схема которого показана на рисунке 1.11 (авторское свидетельство СССР № 1000246). Полирование осуществляется эластичной оболочкой 6 с абразивным наполнителем. Поверхности эластичных оболочек вместе с магнитными полюсами образуют полости 7, наполненные магнитной жидкостью. Полируемая заготовка 8 сложной формы размещается в рабочей зоне (между полюсами). При включении электромагнитных катушек 2 и 3 магнитная жидкость под действием магнитного поля притягивается к поверхности заготовки 8, в результате чего эластичные оболочки с заданной силой прижимаются к полируемой поверхности. Детали 8 сообщается вращательное движение и происходит процесс полирования. После окончания обработки магнитное поле отключается, и эластичные оболочки принимают исходную форму. Это устройство позволяет увеличить в несколько раз производительность обработки и легко перестроиться на обработку детали другой формы.



**Рис. 1.11. Схема устройства для полирования поверхностей сложной формы:**

- 1 — корпус; 2, 3 — электромагнитные катушки; 4, 5 — полюса;  
6 — эластичная оболочка; 7 — полость; 8 — заготовка

К пятому уровню сложности относятся задачи, для решения которых необходимо открытие принципиально нового метода решения новых, не решаемых до этих пор инженерных задач. Все технические решения четвертого и пятого уровней сложности можно отнести к изобретениям.

Решение задач третьего, четвертого и пятого уровней сложности называют *поисковым проектированием*.

С увеличением уровня сложности резко возрастает трудоемкость проектирования и снижается вероятность получения наилучших технических решений. Соотношение между количеством решений задач разных уровней сложности остается приблизительно постоянным на разных этапах эволюции техники и технологии. Оно может быть отражено следующей моделью:

$$A \left( \frac{1}{X_1^n} + \frac{1}{X_2^n} + \frac{1}{X_3^n} + \frac{1}{X_4^n} + \frac{1}{X_5^n} \right) = 100 \%,$$

где  $X_i$  — ранг сложности задачи (от 1 до 5);  $n > 1$  — параметр, определяемый статистическим анализом;  $A$  — коэффициент приведения.

Если предположить, что  $n = 3$ , то относительное количество решений для задач разного ранга сложности будет:

ранг сложности	1	2	3	4	5
количество в %	84,14	10,52	3,11	1,55	0,68

Попытки подстегнуть прогресс за счет увеличения доли технических систем, проектируемых путем решения задач высокого ранга сложности, приводят лишь к излишним затратам материальных и интеллектуальных ресурсов.

## 1.7. Классификация компонентов технического объекта (устройства)

Чтобы облегчить операцию выбора компонентов технических объектов (ТО) (а часто и самих ТО), информацию о них

необходимо организовать таким образом, чтобы объекты выбора были иерархически разделены на определенные группы по выбранным признакам. Наиболее удобными для проектировщиков признаны две системы классификации компонентов ТО: *классификация по конструктивно-структурным признакам* и *классификация по функциональному назначению*. В данном случае целесообразно положить в основу классификации компонентов ТО их *функциональное назначение*, но внутри однофункциональной группы следует проводить классификацию по *структурно-конструктивным признакам*.

ТО (как и его часть) является технической системой, которая обычно создается для выполнения заданных полезных функций, то есть имеет определенное служебное назначение. Функциональными компонентами ТО называют сборочные единицы (узлы) различных уровней сложности, детали и части деталей, включая неделимые элементы.

*Функционально-сборочным компонентом* ТО будем называть множество связанных деталей, в совокупности выполняющих хотя бы одну функцию по обеспечению работы других функциональных элементов или всего ТО. Крупные функционально-сборочные компоненты часто можно разделить на более простые.

*Деталью* ТО будем называть отдельное тело, обычно из однородного материала, имеющее определенную геометрическую форму и выполняющее хотя бы одну функцию по обеспечению работы других функциональных компонентов или всего ТО. *Неделимым элементом* детали будем называть ее часть (или одну деталь), выполняющую не менее одной функции по обеспечению работы других элементов детали.

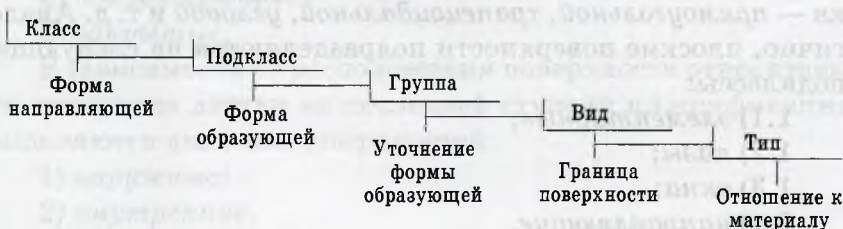
В ТО с разным служебным назначением очень часто входят одинаковые функциональные компоненты. В разные функциональные компоненты часто входят одинаковые детали, а в детали с разным функциональным назначением часто входят одинаковые неделимые элементы. Именно поэтому классификацию компонентов ТО удобнее начинать с классификации форм неделимых элементов — *типовых поверхностей деталей*. Кроме того, мощность их множества су-



щественно ниже мощности множества самих деталей, а тем более множества функциональных сборочных единиц.

*Цель классификации* — свести многообразие форм поверхностей к сочетанию ограниченного числа элементов и признаков. Наиболее экономной является система классификации с иерархическим подчинением признаков, когда каждый признак нижней ступени классификации конкретизирует признак высшей ступени. При этом действует принцип, согласно которому все члены классификационного деления на каждой его ступени взаимно исключают друг друга. Задача классификации существенно упростится, если в ее основу положить закономерности формообразования поверхностей.

Большинство поверхностей в деталях ТО относится к числу *кинематических*, то есть они могут быть получены перемещением некоторой плоской кривой (*образующей*) по другой, неподвижной в пространстве — *направляющей*. При этом направляющая и образующая имеют одну общую точку, в которой угол между касательной к образующей и плоскостью, содержащей направляющую, чаще всего является постоянным. В общем случае размеры и форма образующей в процессе движения могут изменяться. Схема классификационной иерархии поверхностей деталей машин показана на рисунке 1.12.



**Рис. 1.12.** Схема принципа классификации типовых поверхностей деталей ТО по форме

Самой высокой степенью классификации поверхностей является *класс*, *признаком которого является закон движения образующей* (вид направляющей). По этому признаку все поверхности разбиты на пять классов:

1) *поверхности вращения*, у которых направляющей является окружность;

2) *плоские поверхности*, у которых направляющей является прямая;

3) *винтовые поверхности*, у которых направляющей является винтовая линия;

4) *зубчатые поверхности*, у которых направляющей являются периодические кривые разных типов;

5) *фасонные поверхности*, у которых направляющими являются алгебраические или трансцендентные кривые.

*Подкласс* отражает совокупность форм образующих, обладающих некоторым общим признаком, а группа уточняет форму образующей. Так, поверхности вращения делятся на четыре подкласса:

2.1) *элементарные*;

2.2) *канавки продольные*;

2.3) *канавки торцовые*;

2.4) *канавки угловые*.

*Группа* поверхностей вращения зависит от формы образующей и ее расположения относительно оси вращения. Например, элементарная поверхность вращения может быть *торцом, цилиндром, конусом, сферой или тором*, а канавка — *прямоугольной, трапециoidalной, угловой* и т. д. Аналогично, плоские поверхности подразделяются на следующие подклассы:

1.1) *элементарные*;

1.2) *пазы*;

1.3) *окна*;

1.4) *направляющие*.

Подклассы винтовых и зубчатых поверхностей выделяются несколько по другому принципу, так как среди них нет элементарных. Основным подклассом винтовых поверхностей являются резьбы, которые в зависимости от формы образующей делятся на следующие группы:

3.2.1) *треугольные*;

3.2.2) *трапециoidalные*;

- 3.2.3) *упорные*;
- 3.2.4) *прямоугольные*;
- 3.2.5) *специальные* (тороидальные для шарико-винтовых передач).

Треугольные резьбы могут располагаться на цилиндре или на конусе.

Основными подклассами зубчатых поверхностей являются эвольвентные зубчатые венцы:

- 4.1) *цилиндрические*;
- 4.2) *конические*;
- 4.3) *червячные*;
- 4.4) *шлицевые*.

Группы цилиндрических и конических зубчатых поверхностей различаются по форме зуба в продольном направлении. А шлицевые поверхности делятся по форме шлицов в поперечном сечении.

Следующей ступенью классификации является *вид* поверхности, который определяет форму границ поверхности по длине или, другими словами, свободу выхода инструмента. На этой ступени поверхности делятся на:

- 1) *открытые*;
- 2) *полуоткрытые*;
- 3) *закрытые*.

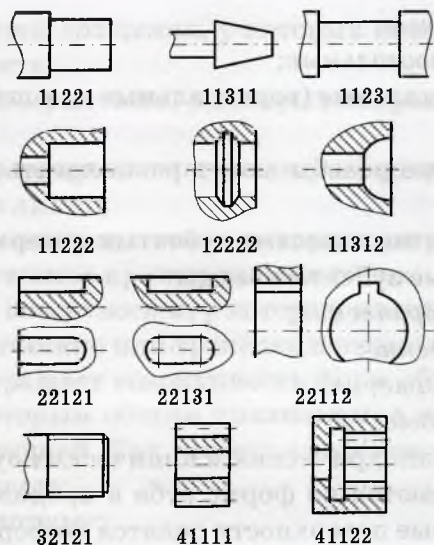
В зависимости от расположения поверхности относительно материала детали на последней ступени классификации выделяются два типа поверхностей:

- 1) *наружные*;
- 2) *внутренние*.

Примеры типовых поверхностей с соответствующими пятизначными кодами приведены на рисунке 1.13.

Для полного описания типовой поверхности необходимо указать еще ее размерные показатели и показатели качества. На чертеже эти показатели задаются размерами с указанием допускаемых отклонений (размеров, взаимного положения и формы), значениями *Ra* (или *Rz*) и твердостью материала.





**Рис. 1.13. Примеры типовых поверхностей**

Размеры многих типовых поверхностей (зубчатых, резьб, Т-образных канавок и т. д.) можно разделить на независимые (или определяющие) и зависимые, значения которых определены значениями независимых размеров. Так, модуль и число зубьев прямозубой шестерни определяют наружный, средний и внутренний диаметры зубчатого венца, высоту и толщину зуба, параметры его эвольвентного профиля. Кроме того, границы типовых поверхностей «снабжаются» вспомогательными поверхностями: фасками, канавками для выхода инструмента и (или) галтелями. Размеры этих поверхностей, которые чаще всего выполняют свою функцию только в процессе изготовления детали или машины, также являются зависимыми.

Несколько типовых поверхностей детали, выполняющих одну общую функцию или некоторый набор однородных функций, назовем функциональным модулем детали. Очень часто в нем можно выделить определяющие и зависимые размеры. Многие нормализованные детали (пальцы, фланцы,

крышки, детали муфт и т. д.) образуют единый функциональный модуль.

Функциональные модули детали выполняют функции ориентации (базирования с лишением 6-ти, 5-ти или 4-х степеней свободы) или самой детали в сборочной единице (основные сборочные базы), или присоединяемой к ней детали (вспомогательные сборочные базы), а также восприятия и передачи движения, сил, моментов и материала (рабочие модули). Кроме функциональных модулей и функциональных типовых поверхностей, деталь имеет *свободные поверхности*, которые выполняют роль объединения функциональных элементов в деталь.

Конструкторско-технологическая классификация деталей ТО является задачей намного более сложной, чем классификация их элементов. Эта задача становится реальной, если проводить классификацию в пределах отрасли машиностроения, а еще лучше в пределах предприятия.

Классификацию деталей проводят по следующим четырем признакам:

- 1) *функционально-геометрическому*;
- 2) *размерному*;
- 3) *точностному*;
- 4) *материальному*.

Геометрическая форма детали предопределяется ее функцией и вместе с габаритными размерами, параметрами точности, материалом и его твердостью предопределяет технологию ее изготовления для конкретного типа производства.

Следует отметить, что в каждой отрасли машиностроения применяется набор деталей оригинальной формы, которые редко или совсем не встречаются в машинах других отраслей. Например: станины и шпиндели металлорежущих станков; цилиндры, ленточные матрицы, шпационные клинья и рамы полиграфических машин; иглы и цилиндры трикотажных машин и т. д. С другой стороны, очень много деталей являются «универсальными», то есть применяются в самых разных машинах.

По второму признаку — габаритным размерам, все детали разделяются на четыре группы: *мелкие, средние, крупные и особо крупные*. Границы между группами условны и нечетки. В некоторых случаях предпочитают относить деталь к той или иной габаритной группе по ее массе.

По третьему признаку — наиболее высокому качеству точности, установленному на какой-либо важный размер детали, все детали также делятся на четыре группы:

- ✓ *высокоточные* (если максимальная точность линейных размеров соответствует 4–5-му качеству),
- ✓ *точные* — (6–7-му качеству),
- ✓ *средней точности* — (8–10-му качеству),
- ✓ *неточные* — (11–14-му качеству).

По четвертому признаку — применяемому материалу — детали разделены на семь групп:

- 1) *стали конструкционные*;
- 2) *стали легированные*;
- 3) *чугуны*;
- 4) *алюминиевые сплавы*;
- 5) *медные сплавы*;
- 6) *пластмассы*;
- 7) *прочие материалы*.

*Множество деталей становится системой* (функциональной единицей и (или) ТО), когда между ними, путем осуществления различных соединений, устанавливаются размерные связи и другие пространственные отношения. В качестве примера классификационной группы функциональных единиц можно привести муфты, которые служат для соединения валов и передачи вращения от одного к другому без изменения его частоты. В некоторых случаях муфты могут служить предохранительным устройством, защищающим механизм от перегрузки, или устройством для включения и выключения ведомого вала. Поэтому конструкции муфт можно разделить на три подгруппы:



1) *глухие муфты, жестко соединяющие концы соосных валов;*

2) *подвижные муфты, допускающие поперечное и угловое смещение осей валов;*

3) *цепные муфты, которые позволяют выключать (по желанию или автоматически) механизм, соединенный с ведомым валом.*

Эта группа представлена разными вариантами конфигураций (конструкций). Там же представлено 57 вариантов тормозных устройств. Всего классификатор содержит 3 169 механизмов и их компонентов, применяющихся в машинах и приборах различных отраслей промышленности, и, конечно, не полностью охватывает всего их многообразия.

## **1.8. Классификация методов обработки заготовок деталей технических объектов**

Технологический процесс изготовления деталей технических объектов (ТО) делится на основные организационно-технологические компоненты первого уровня — *технологические операции*. Каждая операция обычно периодически повторяется на определенной технологической машине (рабочем месте). В некоторых случаях операция выполняется непрерывно (см. рис. 1.4, 1.5). Последовательность операций в порядке их выполнения составляет *технологический маршрут*. Каждая технологическая операция, в свою очередь, состоит из компонентов второго уровня — *основных и вспомогательных технологических переходов*.

В каждом основном технологическом переходе реализуется определенный *технологический метод*, выполняющий преобразование заготовки. *Преобразование заготовки* осуществляется при взаимодействии последней с *инструментом* и *рабочей средой* под действием *процесса управления*. Любой технологический метод характеризуется определенным набором отличительных признаков, которые служат основой клас-

сификации, необходимой для выполнения проектной операции выбора.

Исторически сложилось группирование технологических методов изготовления деталей или их заготовок по следующим классам технологий:

- 1) *литейного производства;*
- 2) *обработки давлением;*
- 3) *сварочного производства;*
- 4) *обработки резанием;*
- 5) *порошковой металлургии;*
- 6) *электрофизической и электрохимической обработки;*
- 7) *термической и химико-термической обработки;*
- 8) *нанесения покрытий;*
- 9) *обработки неметаллических материалов.*

Внутри каждого класса разработана своя система признаков и своя классификация технологических методов, отражающая достигнутый к настоящему моменту уровень развития технологии. Но указанная классификация имеет ряд существенных недостатков:

- 1) нет четкой системы признаков классификации;
- 2) во многих операциях совмещены разные методы;
- 3) практически одинаковые методы, отличающиеся только материалом сырья или его состоянием, отнесены к разным классам;
- 4) классификатор создает систему кодирования порядка 500 технологических операций, но практически малоприменим для проектирования новых технологических методов.

Примером первого недостатка является то, что признаками выделения в одних случаях служат переходы, а в других — операции с довольно сложной временной структурой. Примером второго недостатка являются программно-комбинированная и агрегатная операции, в которых часто используется сочетание сверления, зенкерования, резьбонарезания и фрезерования. Примером третьего недостатка являются: литье под давлением (коды 1163 и 6132), литье центробежное (коды 1162 и 6133) и листовая штамповка (коды 2135 и 6162) (прил. 14).

Функцией любого технологического метода является *изменение состояния* объекта производства. Состояние заготовки (сырья) описывается определенным набором (кортежем) количественных и качественных показателей, отражающих ее форму и размеры, агрегатное состояние и физико-химические свойства ее материала. Аналогично описывается состояние продукта производства (детали или полуфабриката). Разница между соответствующими показателями отражает *глубину преобразования*.

*Инструментом* условимся называть часть технической (технологической) системы, которая непосредственно воздействует на заготовку, вызывая требуемые изменения ее состояния. Инструмент, в указанном выше смысле, может либо активно воздействовать на заготовку, либо создавать условия для протекания естественных процессов (затвердевания, диффузии, перекристаллизации). На заготовку воздействует также оснастка, но при этом не происходит заданного изменения ее состояния, а только накладываются геометрические и силовые (фрикционные) связи, необходимые для реализации метода.

*Рабочая среда* выполняет обычно одну из основных или вспомогательных функций метода, обеспечивая выполнение его ГПФ. Например, смазывающе-охлаждающая жидкость, которая является рабочей средой при механической обработке, уменьшает силу резания, снижает температуру в зоне резания, повышает стойкость инструмента и качество обработанной поверхности. Но в некоторых случаях рабочая среда оказывает вредное влияние на выполнение ГПФ, а иногда выполняет функцию инструмента.

Общим для большинства технологических методов является наличие относительного формообразующего движения инструмента и заготовки, при котором на последней формируется новая поверхность. При этом направляющая и образующая линии этой поверхности могут по-разному возникать во времени.



Предлагается *морфологическая классификация* технологических переходов по группам признаков, относящихся к:

- 1) *заготовке*;
- 2) *инструменту*;
- 3) *рабочей среде*;
- 4) *кинематике движения*;
- 5) *управлению*.

Эта классификация отражает на верхнем иерархическом уровне компоненты признаков, совокупность которых характеризует не только любой из существующих технологических методов, но и позволяет синтезировать совершенно новый. На более низких иерархических уровнях предполагается уточнение каждого из вариантов признаков с добавлением показателей, характеризующих качество технологического метода.

В основу этой классификации предлагается положить двадцать один признак. Соответствующие признаки разбиты на пять указанных групп, и их варианты приведены в таблицах 1.2–1.6.

Возможны следующие варианты преобразования заготовки (сырья):

- 1) *изменение размеров и формы (ИРФ)*;
- 2) *изменение размеров (ИР)*;
- 3) *изменение свойств (ИС)*;
- 4) *изменение размеров и свойств (ИРС)*.

Термин «размер» в данном случае понимается широко — не только как характеристика макро-, но и микрогеометрии детали. При обработке с частичным удалением материала удаляемый слой называется *припуском*, если ее результатом будет только изменение размеров (форма поверхности детали подобна форме поверхности заготовки). Если форма заготовки существенно отличается от формы детали (проще ее), то удаляемый слой называется *напуском*. Напуск снимается при получении: отверстий, пазов, уступов, деталей сложной формы из групповой цилиндрической заготовки на токарном автомате и т. д.

К обработке с частичным удалением материала относятся все методы обработки материалов резанием, многие методы электрофизической и электрохимической обработки, некоторые методы сварки (кислородная и кислородно-флюсовая резка) и обработки давлением (рубка, пробивка). Отделение от материала имеет место при изготовлении детали из групповой заготовки. Добавление материала имеет место при всех методах нанесения покрытий, при сварке или склеивании нескольких заготовок в одну.

Полное перераспределение материала заготовки происходит при многих методах обработки давлением (осадка, вытяжка, объемная штамповка, выдавливание, прокатка и т. д.). Частичное перераспределение материала имеет место также при некоторых методах обработки давлением (высадка, накатка) и обработке на станках без снятия стружки (выглаживание, накатывание резьбы, шлицев и т. д.).

**Таблица 1.2**

***Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к заготовке***

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
01	Способ изменения формы и размеров	01	Частичное удаление материала
		02	Отделение от материала
		03	Частичное добавление материала
		04	Частичное перераспределение материала
		05	Полное перераспределение материала
		06	Заполнение формы материалом
		07	Уплотнение материала
		08	Комбинации способов
02	Вид агрегатного состояния вещества заготовки до начала процесса формообразования	01	Твердое компактное
		02	Твердое порошкообразное
		03	Вязкое
		04	Расплавленное
		05	Комбинация нескольких агрегатных состояний

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
03	Процесс, лежащий в основе преобразования формы и размеров	01	Пластическое деформирование
		02	Хрупкое разрушение
		03	Пластичное (вязкое) разрушение
		04	Гравитационное течение
		05	Центробежное течение
		06	Течение под давлением
		07	Течение всасыванием (вакуумом)
		08	Эрозия
		09	Анодное растворение
		10	Электролиз
		11	Плавление
		12	Испарение
		13	Затвердевание (кристаллизация)
		14	Уплотнение
		15	Полимеризация
		16	Вулканизация
		17	Сваривание
		18	Припаивание
		19	Склеивание
		20	Комбинация нескольких процессов
04	Процесс, лежащий в основе изменения свойства	01	Пластическое деформирование
		02	Нагрев до определенной температуры и охлаждение с заданной скоростью
		03	Затвердевание (кристаллизация)
		04	Диффузия
		05	Спекание
		06	Армирование
		07	Пропитка
		08	Сушка
		09	Комбинация нескольких процессов

Заполнение формы материалом применяется не только в литейном производстве, но и при прессовании деталей из термопластичных пластмасс и резины. Материал уплотняется при прессовании деталей из порошков.



До начала процесса формообразования заготовка может находиться в одном из указанных в таблице 1.2 (02) агрегатных состояний. При реализации большинства методов обработки заготовки представляют собой твердые компактные тела, механические свойства (обрабатываемость) которых задаются температурой предварительного нагрева. При изготовлении деталей из термопластичных пластмасс заготовку в рабочем цилиндре за счет нагрева доводят до вязкотекучего состояния.

Для изготовления деталей из минерало- и металлокерамики, а также из терморезистивных пластмасс сырьем являются порошки различной зернистости. Твердое порошкообразное сырье используется иногда при нанесении покрытий.

Относительно простые и сложные механические, физические и химические процессы, лежащие в основе преобразования формы и размеров, а также изменения свойств материала названы в таблице 1.2 (03 и 04).

Инструмент в широком смысле этого понятия (режущий клин, пуансоны и матрицы штампов и пресс-форм и т. д.) чаще всего изготовлен из твердых прочных материалов. Но во многих методах обработки на заготовку действует инструмент, материал которого находится в других агрегатных и физических состояниях (табл. 1.3 (05 и 06)).

Таблица 1.3

*Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к инструменту*

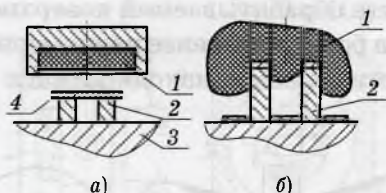
Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
05	Вид физического состояния материала инструмента	01	Вещество
		02	Поле магнитное
		03	Электрический ток
		04	Поле электромагнитное
		05	Дуговой разряд
		06	Искровой разряд
		07	Плазма
		08	Ударная волна

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
06	Вид агрегатного состояния вещества инструмента	01	Твердое
		02	Эластичное
		03	Вязкое
		04	Жидкое
		05	Газообразное
		06	Комбинации состояний
07	Вид связи формообразующего элемента инструмента с «державкой»	01	Жесткая
		02	Эластичная
		03	Жесткая с одной степенью свободы
		04	Жесткая с двумя степенями свободы
		05	Жесткая с тремя степенями свободы
		06	Нет связи
08	Вид воздействия инструмента для преобразования	01	Механическое
		02	Тепловое
		03	Электрохимическое (химическое)
		04	Комбинированное
09	Характер подвода и распределения энергии в процессе преобразования	01	Точечный
		02	Линейный
		03	Поверхностный
		04	В подповерхностный слой
		05	В объем заготовки (сырья)
10	Характер изменения воздействия во времени	01	Непрерывно неизменное
		02	Непрерывно изменяющееся (не периодически)
		03	Гармоническое
		04	Циклически прерывистое
		05	Ударное
		06	Комбинированное

Так, например, при магнитоимпульсном формообразовании инструментом является импульсное магнитное поле, при электровзрывной обработке — ударная волна, при электроэрозионной обработке — искровой разряд, при электросварке — дуговой разряд или плазма, при электрохимической обработке — жид-

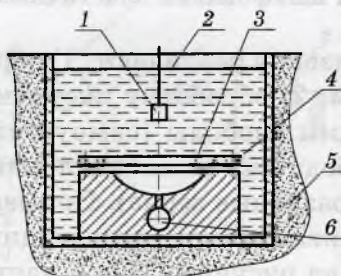
кий электролит, при светолучевой обработке — монокромный луч (электромагнитное поле).

Часто при формообразовании одна часть инструмента (матрица) изготовлена из твердого материала, а другая является эластичным, жидким или газообразным веществом. Например, при вырубке и пробивке листа вместо пуансона иногда применяется резиновая подушка (рис. 1.14), а при импульсном формовании из листовой заготовки может применяться жидкость (рис. 1.15).



**Рис. 1.14. Схема вырубке (а) и пробивки (б) эластичным инструментом:**

- 1 — резиновая подушка; 2 — матрица; 3 — стол прессы;  
4 — заготовка (лист)



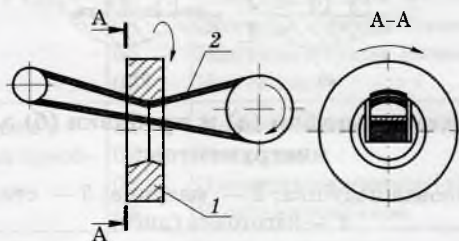
**Рис. 1.15. Схема формования жидким инструментом:**

- 1 — заряд; 2 — уровень воды; 3 — заготовка; 4 — прижим;  
5 — матрица; 6 — вакуумная линия

Характер связи формообразующего элемента инструмента с последним звеном его энергетического комплекса («державкой») характеризуется: 1) жесткостью этой связи вдоль одной



или двух осей координат; 2) количеством степеней свободы, которых лишается формообразующий элемент по отношению к его направляющему комплексу. По первому признаку различают жесткое (обычное) и эластичное (с пониженной жесткостью) крепление формообразующего элемента. Примером метода обработки с эластичным креплением формообразующих элементов является ленточное шлифование, один из способов которого показан на рисунке 1.16. Эластичность ленты 2, покрытой абразивными зёрнами, позволяет ей принимать в зоне контакта форму фрагмента обрабатываемой поверхности заготовки 1. При этом нагрузка более или менее равномерно распределяется между абразивными зёрнами, находящимися в зоне обработки.



**Рис. 1.16.** Схема шлифования эластичным инструментом

По второму признаку различают: 1) обработку закрепленным инструментом; 2) обработку инструментом с 1-й, 2-мя или 3-мя степенями свободы (самоустанавливающимся); 3) обработку «свободным» (незакрепленным) инструментом (чаще всего это абразивные зёрна). Пример обработки отверстия самоустанавливающимся (плавающим) двухлезвийным блоком 1 показан на рисунке 1.17. В данном случае формообразующие элементы 1 инструмента имеют одну степень свободы по отношению к направляющему комплексу оправки 2, что позволяет им самоустанавливаться по предварительно обработанному отверстию. Примеры обработки свободным абразивом показаны на рисунке 1.18. Обработка в струе жидкости применяется для поверхностной особо сложной конфигурации. Поверхность 1 обрабатываемой заготовки подвергается воз-

действию струи жидкости 2, содержащей абразивные частицы. Струя жидкости подается из сопла 3 под углом (чаще всего 40 градусов). При магнитоабразивном полировании (рис. 1.18б) в зазор между полюсами электромагнита 2 подается порошок 3, обладающий магнитными и абразивными свойствами. Магнитное поле удерживает (временно) эти частицы и прижимает их к обрабатываемой поверхности заготовки 1. Любое (механическое, тепловое и электрохимическое) воздействие инструмента на заготовку требует затрат энергии, которая по разному в пространстве и времени подводится к заготовке (табл. 1.3 (09 и 10)).

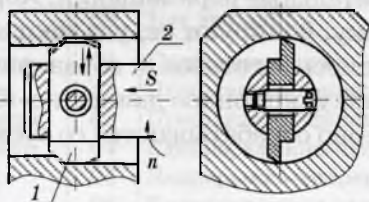


Рис. 1.17. Схема обработки плавающим двухлезвийным блоком:

1 — блок; 2 — оправка

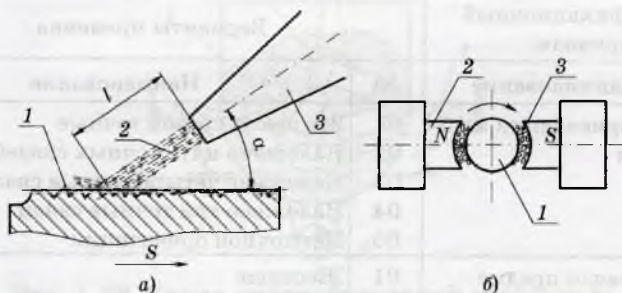


Рис. 1.18. Схема обработки свободным абразивом:

а — абразивной струей: 1 — заготовка; 2 — струя; 3 — сопло;

б — магнитным порошком: 1 — заготовка; 2 — полюс электромагнита; 3 — порошок

Чтобы заготовка могла воспринимать воздействие инструмента, ее необходимо определенным образом *ориентировать* (*базировать*) в рабочем пространстве технологической системы

и *удерживать* в заданном положении при помощи *ориентирующе-удерживающей оснастки*, несмотря на силовое воздействие инструмента. Виды базирования и удержания заготовки приведены в таблице 1.4 (11 и 12). Примером отсутствия точной ориентации заготовки и ее связи с технологической системой является виброабразивная обработка (рис. 1.19). Заготовки 3 и абразивная среда 2 загружаются в контейнер 1, которому сообщаются вибрации ротационным вибратором 5 и пружинными подвесками 4 по двум осям координат. Под действием вибраций абразивная среда и заготовки получают переменные по знаку и величине ускорения и относительные перемещения. Абразивные частицы, ударяясь о заготовку, полируют ее, удаляют заусенцы. Под действием вибраций смесь заготовок и абразивной среды получает еще добавочное циркуляционное движение, благодаря которому заготовки равномерно обрабатываются со всех сторон.

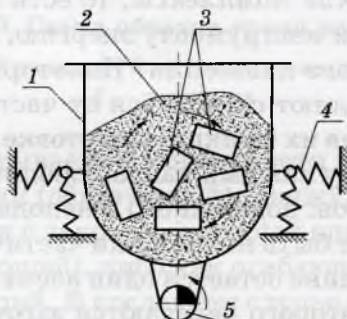
Таблица 1.4

*Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к геометрии и кинематике процесса*

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
11	Вид ориентации заготовки	01	Все шесть связей точные
		02	Наложено пять точных связей
		03	Наложено четыре точные связи
		04	Наложено три точные связи
		05	Нет точной ориентации
12	Вид связи предмета труда (заготовки) с ориентирующе-удерживающей оснасткой	01	Жесткая
		02	Эластичная
		03	Жесткая с одной степенью свободы
		04	Жесткая с двумя степенями свободы
		05	Нет связи
13	Вид главного движения в процессе изменения формы, размеров и свойств	01	Поступательно-прямолинейное
		02	Вращательное вокруг одной оси
		03	Вращательное вокруг нескольких осей
		04	Колебательное
		05	Хаотичное
		06	Нет движения



Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
14	Вид движения подачи в процессе преобразования	01	Поступательно-прямолинейное
		02	Поступательно-криволинейное
		03	Вращательное вокруг одной оси
		04	Вращательное вокруг нескольких осей
		05	Поступательно-вращательное
		06	Программное (комбинация нескольких)
		07	Хаотичное
		08	Нет движения
15	Вид генерирования образующей и направляющих линий поверхности детали во времени	01	Прерывисто-прерывистый
		02	Прерывисто-непрерывный
		03	Прерывисто-единовременный
		04	Единовременно-непрерывный
		05	Непрерывно-непрерывный
		06	Единовременно-единовременный



**Рис. 1.19.** Схема виброабразивной обработки:

1 — бункер; 2 — абразивная среда; 3 — заготовки; 4 — пружинная подвеска; 5 — ротационный вибратор

Несмотря на коренные различия в природе воздействия на заготовку, всем известным методам обработки присущ общий признак — наличие относительного перемещения заготовки и инструмента в процессе формообразования. Это относительное перемещение является результатом сложения

нескольких движений инструмента и заготовок относительно неподвижной системы координат, связанной с рабочей зоной станка. Различают *главное движение* (обычно с относительно большой скоростью) и *движение подачи* (относительно медленное). Эти движения по-разному распределены между инструментом и заготовкой. Например, при точении главное (вращательное) движение совершает заготовка, а движения подачи — инструмент. При фрезеровании плоскостей и пазов — наоборот. При сверлении на сверлильном станке все движения совершает инструмент. Возможные виды главного движения и движения подачи приведены в таблице 1.4 (13 и 14).

На станке каждое движение обеспечивается соответствующей кинематической цепью. Все устройства, выполняющие данную функцию, можно разбить на два класса:

1) *направляющие комплексы*, обеспечивающие заданный вид траектории в неподвижной системе координат станка;

2) *энергетические комплексы*, то есть механизмы, передающие заготовке и инструменту энергию, необходимую для осуществления этого движения. Некоторые схемы формообразования позволяют отказаться от части направляющих комплексов, передав их функцию заготовке или инструменту. При этом, поскольку каждый направляющий комплекс состоит из двух элементов: подвижного и неподвижного, передача его функции может быть полной или частичной. При частичной передаче на станке остается один элемент направляющей пары, а функции второго передаются заготовке или инструменту. При полной передаче из станка изымаются оба элемента направляющей пары, причем функции одного элемента передаются заготовке, а другого — инструменту.

В некоторых случаях функции энергетических комплексов могут частично передаваться заготовке или инструменту. Один из примеров передачи функции направляющего и энергетического комплексов показан на рисунке 1.20, где заготовка 4 обкатывается тремя роликами с целью снижения шероховатости ее поверхности. В данном случае функ-

ция подвижного направляющего элемента передана обрабатываемой поверхности заготовки. Кроме того, отсутствует энергетический комплекс вращения и осевой подачи заготовки. Его функции взял на себя ведущий ролик 1 и поддерживающие ролики 2 и 3. Энергия для вращения и подачи заготовки передается ей через зону обработки (линии контакта с роликами).

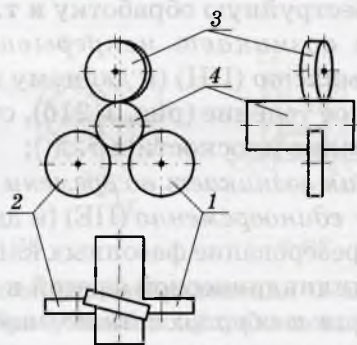


Рис. 1.20. Схема обкатки тремя роликами:

- 1 — ведущий ролик; 2, 3 — поддерживающие ролики;  
4 — заготовка

Форму обрабатываемой поверхности можно рассматривать как след линии (образующей), движущейся в пространстве в соответствии с законом, который определяется другой линией (направляющей), либо как огибающую некоторого семейства поверхностей. В последнем случае образующей является линия соприкосновения огибающей и огибаемой поверхностей. В процессе обработки образующую и направляющую будем различать по следующим признакам:

- 1) образующая подвижна в пространстве, а направляющая неподвижна;
- 2) форма и размеры образующей в общем случае переменны, а направляющей — неизменны;
- 3) скорость образования (генерации) образующей существенно выше, чем у направляющей.



Во времени образующая и направляющая могут возникать *прерывисто* (П), *непрерывно* (Н) или *единовременно* (Е). По этому признаку можно выделить следующие виды схем формообразования:

- ✓ *образующая и направляющая возникают прерывисто* (ПП) (к данному виду можно отнести фрезерование тел вращения (рис. 1.21а), зубофрезерование червячной фрезой, дробеструйную обработку и т. д.);
- ✓ *образующая возникает непрерывно, а направляющая — прерывисто* (ПН) (к данному виду можно отнести продольное точение (рис. 1.21б), строгание и торцевое фрезерование плоскости и т. д.);
- ✓ *направляющая возникает во времени прерывисто, а образующая — единовременно* (ПЕ) (к данному виду можно отнести фрезерование фасонных канавок (рис. 1.21в), плоскостей цилиндрической фрезой и т. д.);
- ✓ *направляющая и образующая возникают непрерывно* (НН) (к данному виду можно отнести поперечное точение с тангенциальной подачей, показанное на рис. 1.21г);
- ✓ *направляющая возникает во времени непрерывно, а образующая — единовременно* (НЕ) (к данному виду можно отнести обработку отверстия однозубой прошивкой (рис. 1.21д);
- ✓ *образующая и направляющая возникают во времени единовременно* (ЕЕ) (к данному виду относятся разные виды получения поковок в штампах и отливок).

Прерывистый характер генерации производящих линий обрабатываемых поверхностей является одной из причин образования погрешностей формы (шероховатости, волнистости, огранки). Пример формирования этих поверхностей приведен на рисунке 1.22а. Частичное уменьшение погрешности формы направляющей возможно за счет увеличения длины ее контакта с формообразующим элементом инструмента (рис. 1.22б). Для повышения устойчивости процесса резания часто уменьшают длину контакта формообразующего элемента с образующей (рис. 1.22в).

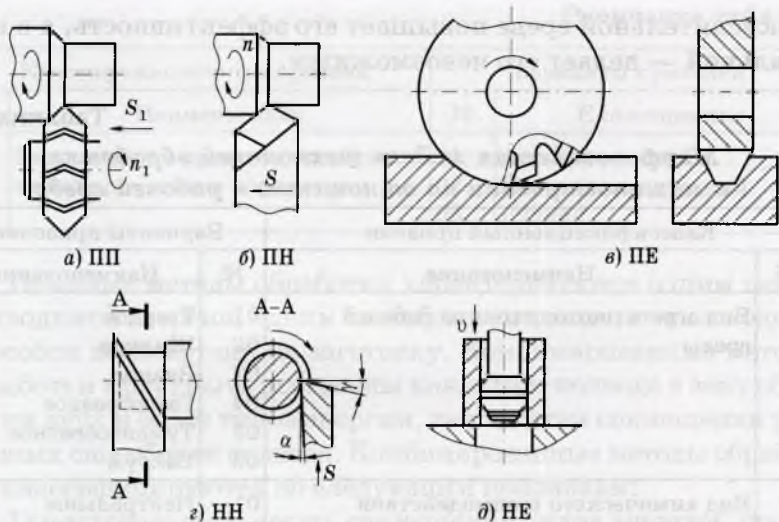


Рис. 1.21. Виды схем формообразования (в зависимости от типа генерации образующей и направляющей во времени)

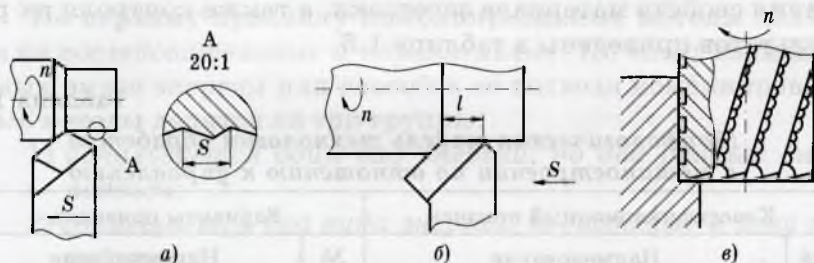


Рис. 1.22. Схема изменения длины контакта режущей кромки с направляющей и образующей

Рабочая среда, которая окружает рабочую зону технологической системы, всегда оказывает существенное влияние на процесс формообразования и изменения свойств материала. Она может быть в разных агрегатных состояниях и по-разному взаимодействовать с материалами заготовки и инструмента (табл. 1.5). Эти взаимодействия могут быть как полезными, так и вредными. Так, например, шлифование

в окислительной среде повышает его эффективность, а в нейтральной — делает его невозможным.

Таблица 1.5

**Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к рабочей среде**

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
16	Вид агрегатного состояния рабочей среды	01	Твердое
		02	Жидкое
		03	Вязкое
		04	Газообразное
		05	Туманообразное
		06	Вакуум
17	Вид химического взаимодействия рабочей среды с заготовкой и инструментом	01	Нейтральное
		02	Окислительное
		03	Восстановительное

Виды управления процессами формообразования и изменения свойств материала заготовки, а также контроля их результатов приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

**Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к управлению**

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
18	Вид управления процессом воздействия	01	Автоматическое
		02	Полуавтоматическое
		03	Ручное
19	Вид автоматического управления процессом воздействия	01	Адаптивное
		02	Программное замкнутое
		03	Программное разомкнутое
		04	Позиционное
		05	Стабилизирующее
20	Время контроля процесса преобразования	01	В процессе преобразования
		02	После окончания процесса преобразования



Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
21	Вид контроля процесса преобразования при ручном управлении	01	Автоматический
		02	Полуавтоматический
		03	Ручной

Обычные методы обработки характеризуются одним типом подводимой энергии, одним способом ее подвода, а также одним способом воздействия на заготовку. Комбинированные методы обработки могут быть построены как путем подвода в зону обработки двух и более типов энергии, так и путем совмещения различных способов ее подвода. Комбинированные методы обработки классифицируются по следующим признакам:

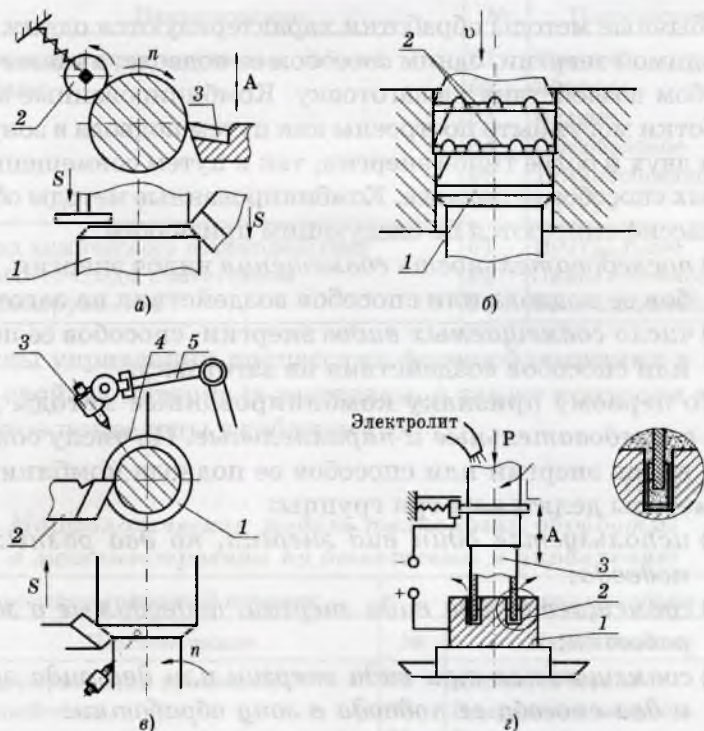
- 1) *последовательность совмещения* видов энергии, способов ее подвода или способов воздействия на заготовку;
- 2) *число совмещаемых видов* энергии, способов ее подвода или способов воздействия на заготовку.

По первому признаку комбинированные методы делятся на *последовательные и параллельные*. По числу совмещаемых видов энергии или способов ее подвода комбинированные методы делятся на три группы:

- 1) *используется один вид энергии, но два разных вида подвода;*
- 2) *совмещается два вида энергии, подводимые в зону обработки;*
- 3) *совмещаются три вида энергии или два вида энергии и два способа ее подвода в зону обработки.*

Примеры комбинированных методов показаны на рисунке 1.23а–г. На рисунке 1.23а приведена схема комбинированного течения заготовки 1 с поверхностным пластическим деформированием обработанной поверхности подпружиненным роликом 2. Таким образом совмещаются два способа воздействия на заготовку. Кроме того, для повышения стойкости реза ему сообщаются ультразвуковые колебания, параллельные скорости резания. Следовательно, в данном случае совмещаются

еще два способа подвода механической энергии к зоне обработки. На рисунке 1.23б приведена схема протягивания отверстия комбинированной протяжкой, у которой каждая секция состоит из деформирующего резца *1* и режущих зубьев *2*. Это один из методов обработки с опережающим пластическим деформированием срезаемого слоя, благодаря чему повышается стойкость инструмента и улучшается качество обработанной поверхности.



**Рис. 1.23. Схемы комбинированных методов обработки:**

- a* — точением и обкатыванием: *1* — заготовка; *2* — ролик; *3* — резец;
- б* — протягивание отверстия комбинированной протяжкой:  
*1* — деформирующий зуб; *2* — режущие зубья;
- в* — плазмомеханическая обработка: *1* — заготовка; *2* — резец;  
*3* — корпус плазмоторна; *4* — пятно разогрева; *5* — манипулятор;
- г* — кольцевое механо-электрохимическое сверление: *1* — заготовка;  
*2* — алмазное кольцо; *3* — сверло кольцевое

На рисунке 1.23в приведена схема одного из способов плазменно-механической обработки (ПМО). В данном случае на заготовку 1 (на поверхность резания впереди резца 2) воздействует дуга плазмы, которая формируется в среде аргона и водорода при проходе через электрическую дугу, горящую между корпусом плазмотрона 3 и вольфрамовым электродом. Манипулятор 5 обеспечивает заданное опережение пятна разогрева 4 срезаемого слоя. При предварительном точении труднообрабатываемых материалов ПМО обеспечивает повышение производительности в 5–12 раз. При ПМО в зону обработки подводится два вида энергии — механическая и тепловая. Срезаемый слой подогревается до 600...900 °С, а в некоторых случаях частично расплавляется.

На рисунке 1.23г приведена схема комбинированного кольцевого механо-электрохимического кольцевого сверления твердосплавной заготовки 1 кольцевым сверлом 3 с алмазносным рабочим кольцом 2. При этом, кроме вращения с частотой « $n$ » и осевого прижима с силой « $P$ », сверлу сообщаются ультразвуковые колебания с амплитудой  $A = 5...15$  мкм. Сверло и заготовка подключены к источнику постоянного тока, а внутрь сверла под давлением подается электролит (3 л/мин), благодаря чему механическая обработка совмещается с электрохимическим растворением. Алмазносный слой инструмента имеет каналы для подвода электролита в торцевой межэлектродный зазор и удаления из него продуктов разрушения. Данный процесс в 13 раз производительнее обычного алмазного сверления.

Любой из обычных методов обработки используется в определенном диапазоне условий, определяемом свойствами материала заготовки и инструмента. *Критическими* называют такие условия данного метода, когда дальнейшее повышение уровня параметров свойств обрабатываемого материала или показателей режима обработки делает его использование невозможным по техническим причинам или нерентабельным по экономическим соображениям. Например, условия обработки инструментом из быстрорежущей стали становятся



ся критическими, когда твердость обрабатываемого материала приближается к HRC 45...50. В подобных ситуациях выходом из положения часто является комбинирование методов обработки.

### ***Контрольные вопросы***

1. Охарактеризуйте варианты целей проектирования технических систем.
2. Дайте краткую характеристику информационно-методического обеспечения процесса проектирования.
3. В чем заключается отличие процедур структурного синтеза, параметрического синтеза и анализа?
4. Опишите последовательность выполнения процедур проектирования на любом его этапе.
5. Охарактеризуйте задачи проектирования при всех уровнях сложности систем.
6. Дайте характеристику классам, видам и типам поверхностей деталей машин.
7. Опишите роль инструмента и рабочей среды в технологическом процессе.
8. Какова роль приспособлений в технологическом процессе?
9. Охарактеризуйте комбинированные методы обработки.
10. Приведите пример тепломеханической комбинированной обработки.
11. Дайте характеристику критическим условиям использования метода обработки.

## Глава 2. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ПОИСКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

### 2.1. Общие положения

*Морфологическое проектирование* — это создание модели технической системы в соответствии с заданными функциями.

*Техническим решением компонента устройства* будем называть описание его конфигурации, особенностей исполнения его элементов, их взаимного расположения и взаимосвязей, геометрической формы элементов и их материала. В некоторых случаях добавляется информация о соотношениях между показателями (размерами, параметрами качества, числом элементов, массой и т. д.). Каждое техническое решение предназначено для выполнения одной или нескольких определенных функций.

*Техническим решением компонента технологического процесса* будем называть описание технологической операции (перехода), которое содержит информацию о состоянии объекта производства после выполнения операции, применяемом технологическом оборудовании, оснастке и инструментах, режимах обработки. Главной функцией технологической операции (перехода) является изменение состояния объекта производства.

Техническое решение считается *допустимым*, если оно удовлетворяет определенному списку требований (ограничений), который сформирован на этапе постановки и уточнения задачи.

Под методом поиска технических решений понимается совокупность приемов мыслительной деятельности и операций по сбору, обработке и хранению информации. При этом *необходимо найти как можно больше решений*:

- 1) для реализации полезных функций технической системы;
- 2) для устранения или ослабления отрицательного эффекта ненужных и излишних функций;
- 3) для эффективного синтеза новых или усовершенствованных технических систем, когда в этом появится потребность.

Чем больше функционально взаимозаменяемых вариантов удастся получить, тем больше возможность реализовать действительно эффективные решения, и, следовательно, приблизиться к минимальным, функционально оправданным затратам на изготовление и эксплуатацию проектируемой системы.

Предположим, что задана некоторая главная полезная функция (ГПФ). Тогда обычно возникает одна из следующих ситуаций:

- 1) у заказчика имеется действующая техническая система, которая в изменившихся условиях неудовлетворительно выполняет заданную функцию;
- 2) у заказчика нет технической системы, необходимой для выполнения заданной функции, но известны описания систем, выполняющих ее;
- 3) неизвестны описания технических систем, выполняющих заданную функцию.

В первой ситуации необходимо составить список недостатков действующей технической системы (ее компонентов), и тогда проблема будет состоять в поиске такого технического решения, которое улучшит действующую техническую систе-



му за счет устранения указанных недостатков. Во второй — необходимо из имеющегося массива описаний технических систем выбрать несколько систем (прототипов), удовлетворяющих качественной формулировке заданной функции. Если при этом будет найдена техническая система, удовлетворяющая и количественной формулировке, то можно считать, что техническое решение найдено. Если такой прототип не будет найден, то после составления списка недостатков наиболее подходящего из отобранных прототипов проблема будет соответствовать первой ситуации. В третьей ситуации проблема будет состоять в том, что необходимо синтезировать техническую систему «с нуля». При этом должен быть задан полный список необходимых функций.

Метод, который лучше всего использовать для поиска технического решения, зависит от вида задачи, то есть от причины, порождающей недостаток. Рассмотрим две основные: *функциональная неполнота* и *техническое или физическое противоречие*. Первое означает, что система не может выполнять одну или несколько функций из-за того, что не имеет соответствующих компонентов и (или) связей. Второе освещено в следующей главе.

Поиск технических решений может быть информационным и эвристическим. Методы эвристического поиска также будут освещены в следующей главе.

## 2.2. Информационный поиск

Техническая система обычно состоит из множества взаимосвязанных компонентов. Часть этих компонентов общеизвестна. Их конфигурация и другие свойства отражены в соответствующих стандартах, типовых проектах, альбомах внедренных изделий и др. Общеизвестные технические решения широко используются при практическом проектировании. Однако общеизвестность — понятие относительное, во многом зависящее от уровня квалификации проектанта.

Но существуют технические решения, которые известны немногим разработчикам. Это, в первую очередь, решения, относящиеся к специфическим техническим системам, информация о которых публикуется в специальной литературе для узкого круга специалистов. Вновь появляющаяся в периодических открытых изданиях информация тоже может быть отнесена к малоизвестной для специалистов, не имеющих привычки систематически изучать техническую информацию.

Роль технической информации в новых разработках огромна. Разработчик творчески перерабатывает имеющиеся в его арсенале или заимствованные из разных источников технические решения, приспособляя их к конкретным условиям. Но если проанализировать конфигурацию вновь спроектированной технической системы, то можно убедиться, что очень часто новых технических решений в ней мало или совсем нет. Это происходит потому, что часто оказывается легче спроектировать заново техническую систему, чем выловить в океане технической литературы информацию о том, что такая система уже кем-то разрабатывалась.

Так как объем технической информации удваивается каждые восемь лет, то поиск и изучение необходимой информации становится все труднее. В то же время изучение положительного опыта ведущих организаций отрасли является жизненной необходимостью. Так как освоить всю предыдущую техническую информацию невозможно, необходимо сосредотачивать свое внимание на актуальных конкретных вопросах, начиная с новейших достижений и кончая ретроспективными данными. Такое изучение обеспечивает *конструктивную* и связанную с ней *технологическую* преемственность и повышает качество разработок. **Преемственность** — это использование в разработках предшествующего опыта данного профиля и смежных отраслей, введение в проектируемую систему всего полезного, что имеется в уже существующих технических системах. Преемственность не ограничивает творческую инициативу разработчика, а помогает находить наилучшее решение.

К источникам *научно-технической информации* возможных технических решений относятся: специальная литература (учебники, монографии); специальные технические журналы; общетехнические и общенаучные журналы; реферативные журналы.

*Производственно-техническая информация* представляет собой сведения о новейших достижениях научной и производственной практики. Она содержится: в обзорах, реферативных изданиях, информационных листках, в авторских свидетельствах и патентах, в каталогах и проспектах, в нормативно-технической документации (ГОСТ, ОСТ, СТП).

*Техническое решение будем называть типовым*, если оно используется в технических системах одного класса (подкласса), выполняя одну и ту же функцию (группу связанных функций).

*Для реализации информационного поиска необходим информационный фонд технических решений, иерархически организованный так, чтобы им было удобно пользоваться.* Простейшей формой такого фонда является картотека идей, которая постоянно пополняется по результатам патентного поиска, анализа научно-технических статей и монографий, справочной и рекламной литературы.

*При построении картотеки вначале составляется классификатор функций*, объединяющий однородные функции в несколько групп. Разработчики формируют фонды технических решений по тем группам функций, с которыми им приходится сталкиваться на практике. В картотеке идей собираются и систематизируются наиболее интересные примеры решения функций — информация о вариантах конструкций, технологических процессов, используемых материалов и пр. Описание типового технического решения должно быть кратким, но достаточно полным, снабжаться эскизами, схемами и графиками. При необходимости дается ссылка на источник получения информации.

Имеющиеся в фондах технических решений наборы вариантов обычно упорядочены по функциональным, конструк-



тивными и технологическим признакам. Они относятся как к сложным техническим системам, так и к их компонентам и элементам. Анализ и сравнение технических решений способствуют развитию творческого воображения у разработчиков. При этом у них вырабатывается навык постоянно следить за новинками техники, технологии и организации, анализировать тенденции развития технических систем. Работа с вариантами технических решений становится более организованной и систематизированной.

Дальнейшее развитие фонды технических решений получают при их переводе на специальные носители, позволяющие автоматизировать процесс поиска и ведения массивов с помощью ЭВМ.

*Существует два подхода при формировании массивов технических решений. В первом случае создается массив типовых технических систем, выполняющих одинаковые функции. А во втором — массив типовых компонентов технических систем. Каждый из компонентов предназначен для выполнения определенных функций.*

Проектирование с использованием массива типовых технических систем сводится к выбору допустимого технического решения и удалению из него компонентов, выполняющих ненужные в данном конкретном случае функции, или добавлению компонентов для выполнения необходимых, но не предусмотренных в типовом техническом решении функций. Желательно, чтобы добавляемые компоненты также выбирались из дополнительного массива типовых решений. После выбора добавляемых компонентов выполняются процедуры топологического (а иногда, и геометрического) синтеза.

Например, проектирование зубофрезерного автомата ведется на базе нескольких типовых моделей универсального зубофрезерного станка. Из выбранной типовой модели удаляются ненужные кинематические цепи и добавляются типовые компоненты для автоматизации загрузки заготовок и осевой коррекции положения фрезы.

Другим примером использования массива типовых технических систем является упомянутая ранее практика проектирования технологического процесса изготовления конкретной детали на базе массива типовых технологических процессов. Процесс проектирования сводится к выполнению следующих процедур:

- 1) выбор из соответствующего массива такой типовой детали, которая соответствует рассматриваемой;
- 2) выбор типового технологического процесса по коду типовой детали;
- 3) удаление из типового решения лишних для конкретного случая переходов;
- 4) для оставшихся переходов (операций) назначаются режимы резания, определяются затраты материальных, временных и финансовых ресурсов.

**Морфологическое проектирование с помощью массива типовых компонентов** сводится к выбору из этого массива набора вариантов компонентов для выполнения всех заданных функций. Выбранные компоненты заносятся в морфологическую таблицу, столбцы которой соответствуют функциям, а строки — вариантам функциональных компонентов (технических решений). Отбирать следует наиболее интересные, перспективные и существенно отличающиеся друг от друга технические решения из рассматриваемой области техники.

### **2.3. Морфологический синтез технических систем при информационном поиске функциональных компонентов**

Источником информации в данном случае является массив типовых компонентов, организованный по функциональному признаку. То есть для выполнения типовой функции предлагается ряд различных функциональных компонентов. *Возможны два варианта постановки задачи:* 1) построить

техническую систему (ТС) для выполнения заданной главной полезной функции (ГПФ); 2) достроить техническую систему (ТС) компонентами для выполнения требуемой добавочной полезной функции (ПФ).

*Морфологический синтез устройства* выполняется в следующем порядке.

Этап 1. *Постановка и уточнение задачи*

1.1. Описать исходную проблемную ситуацию.

1.2. Выполнить предварительный анализ проблемы. Для чего:

1.2.1. Выбрать вариант проблемы из следующих.

1.2.1.1. Нет технической системы (ТС) для выполнения заданной главной полезной функции (ГПФ).

1.2.1.2. Для выполнения некоторых из заданных полезных функций (ПФ) в рассматриваемой ТС нет соответствующих компонентов (функциональная неполнота).

1.2.2. Определить, в какую надсистему входит (должна входить) рассматриваемая ТС. Выделить связи ТС с надсистемой.

1.3. Определить главные ограничения. (Какие средства заведомо нельзя применять? Какие средства нельзя изменять? Какие средства нужно обязательно использовать?)

1.4. Уточнить ограничения. (Какие характеристики заведомо нельзя изменять? Какие «способности», кроме функций, должна иметь искомая ТС? Какова допустимая сложность решения?)

1.5. Записать условие задачи, соответствующее выбранному пути решения, не используя специальных терминов, по одной из следующих форм.

1.5.1. Дана главная полезная функция (ГПФ) (указать), для выполнения которой выбрать (синтезировать) ТС. Перейти к этапу 2.

1.5.2. Дана ТС, состоящая из компонентов (указать). Для выполнения еще одной ПФ не хватает компонентов, которые необходимо выбрать. Перейти к этапу 2.



## Этап 2. Функциональный синтез технической системы

2.1. Составить список ПФ проектируемой ТС. Если выбрана форма 1.5.1, то ГПФ относится ко всей ТС. Если выбрана форма 1.5.2, то ГПФ относится к достраиваемым компонентам. ПФ, относящиеся к прототипу, считаются заданными в ограничениях.

2.2. Разделить ПФ на группы по степени их влияния на выполнение ГПФ. Выделить группу основных ПФ, которые в наибольшей степени определяют выполнение ГПФ. Из числа основных выделить центральную ПФ, которая в наибольшей степени влияет на выполнение ГПФ.

2.3. Наметить возможные варианты компонентов ТС (КТС) для выполнения заданных ПФ, пользуясь массивом типовых технических решений (МТТР), с учетом ограничений. Намечать варианты КТС необходимо поочередно, начиная с обеспечения центральной ПФ и далее по мере уменьшения значимости для выполнения ГПФ. По мере выбора КТС необходимо, учитывая связи между ними, уточнять требования к еще не намеченным связям.

2.4. Выбранные компоненты занести в морфологическую таблицу, столбцы которой соответствуют кодам функций, а строки — кодам вариантов функциональных компонентов (типовых технических решений). Абстрактная морфологическая таблица отражена в таблице 2.1, где  $\Phi_i$  — код  $i$ -й функции,  $TR_{ij}$  — код  $j$ -го технического решения для выполнения  $i$ -й функции.

Если для обеспечения функциональной полноты необходимо иметь или добавить к системе еще  $m$  функций и для каждой из них из морфологической таблицы можно выбрать несколько вариантов решения, то число возможных решений для системы, к которой добавляется  $m$  новых функций, будет равно

$$N = k_1 k_2 \dots k_i \dots k_m,$$

где  $k_i$  — число вариантов технических решений для  $i$ -й функции.

Таблица 2.1

## Абстрактная морфологическая таблица

$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$	...	$\Phi$	...	$\Phi_n$
ТР <sub>11</sub>	ТР <sub>21</sub>	ТР <sub>31</sub>	ТР <sub>41</sub>	...	ТР <sub>i1</sub>	...	ТР <sub>n1</sub>
ТР <sub>12</sub>	ТР <sub>22</sub>	ТР <sub>32</sub>	ТР <sub>42</sub>		ТР <sub>i2</sub>		ТР <sub>n2</sub>
ТР <sub>13</sub>	ТР <sub>23</sub>	ТР <sub>33</sub>	ТР <sub>43</sub>		ТР <sub>i3</sub>		ТР <sub>n3</sub>
ТР <sub>14</sub>	ТР <sub>24</sub>	ТР <sub>34</sub>	ТР <sub>44</sub>		ТР <sub>i4</sub>		ТР <sub>n4</sub>
ТР <sub>15</sub>	ТР <sub>25</sub>	ТР <sub>35</sub>	ТР <sub>45</sub>		ТР <sub>i5</sub>		
ТР <sub>16</sub>		ТР <sub>36</sub>	ТР <sub>46</sub>		ТР <sub>i6</sub>		
ТР <sub>17</sub>		ТР <sub>37</sub>			ТР <sub>i7</sub>		
ТР <sub>18</sub>					ТР <sub>ik</sub>		

## Этап 3. Выбор наилучшего сочетания компонентов

Если число  $N$  относительно невелико (до 20), то выбор наилучшего варианта возможен путем полного перебора сочетаний компонентов. В противном случае число рассматриваемых вариантов уменьшается одним из следующих способов.

1. **Метод проб и ошибок** (случайное комбинирование элементов морфологической таблицы).

Суть этого метода заключается в том, что вначале формулируется исходное предложение (гипотеза) по конфигурации разрабатываемой системы (компонента). Проектировщик лишь интуитивно предполагает, что данный вариант окажется работоспособным (лучшим). Затем проверяется (например, с помощью моделирования или экспериментальных исследований) качество предложенного варианта. Обычно после первой пробы не удается получить удовлетворительное техническое решение. Тогда формулируется второе предложение, которое учитывает ошибки, допущенные в первом, снова выполняется проверка работоспособности и т. д.

Основой для формирования проектных гипотез обычно служит базовая система, то есть действующий образец, который выполнял похожую ГПФ. При разработке новой системы, отвечающей требованиям технического задания (ТЗ), используются данные по результатам эксплуатации и испытания базовой системы.

## 2. Методы выборочной комбинаторики

Первый из них заключается в отбрасывании в каждом столбце наихудших, с точки зрения выбранных критериев качества, неперспективных вариантов технических решений так, чтобы в каждом столбце осталось одно-два решения. При проектировании станочных приспособлений чаще всего используется критерий сложности.

Другой путь заключается в сокращении числа столбцов в морфологической таблице за счет того, что вначале рассматриваются главные или основные функции, которые решающим образом влияют на параметр качества проектируемой системы. Малозначащие и второстепенные функции необходимо на первом этапе синтеза исключить из рассмотрения. Но такими способами можно пропустить эффективный вариант сочетания из, на первый взгляд, неэффективных элементов. Поэтому предлагается третий, более сложный, но и более объективный способ сокращения числа рассматриваемых вариантов путем исключения наихудших комбинаций технических решений. Поясняется он следующим абстрактным примером.

В таблице 2.2 показаны возможные варианты (всего 120) технических решений для добавляемых четырех функций. Выберем два столбца  $\Phi_1$  и  $\Phi_3$  с наименьшим количеством вариантов технических решений и образуем из них все возможные парные комбинации (табл. 2.3). Сравнительный анализ этих комбинаций позволил две из них (подчеркнутые) отнести к наилучшим и включить в дальнейшее рассмотрение, а остальные — исключить.

Таблица 2.2

Исходная морфологическая таблица

$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$
ТР <sub>11</sub>	ТР <sub>21</sub>	ТР <sub>31</sub>	ТР <sub>41</sub>
ТР <sub>12</sub>	ТР <sub>22</sub>	ТР <sub>32</sub>	ТР <sub>42</sub>
ТР <sub>13</sub>	ТР <sub>23</sub>		ТР <sub>43</sub>
	ТР <sub>24</sub>		ТР <sub>44</sub>
			ТР <sub>45</sub>



Таблица 2.3

## Сокращение комбинаций из двух компонентов

	ТР <sub>11</sub>	ТР <sub>12</sub>	ТР <sub>13</sub>
ТР <sub>31</sub> ТР <sub>32</sub>	ТР <sub>11,31</sub> <u>ТР<sub>11,32</sub></u>	ТР <sub>12,31</sub> ТР <sub>12,32</sub>	ТР <sub>13,31</sub> <u>ТР<sub>13,32</sub></u>

Из исходной таблицы выбираем следующий столбец  $\Phi_2$  с наименьшим из оставшихся числом вариантов технических решений и составим из них и отобранных парных комбинаций все возможные тройные комбинации (табл. 2.4). Сравнительный анализ опять позволит выделить и отбросить неэффективные сочетания и оставить те, которые имеют максимальную эффективность (подчеркнутые). Затем аналогично поступаем с последним столбцом  $\Phi_4$ , с максимальным числом вариантов технических решений.

Таблица 2.4

## Сокращение комбинаций из трех компонентов

	ТР <sub>11,32</sub>	ТР <sub>13,32</sub>
ТР <sub>21</sub> ТР <sub>22</sub> ТР <sub>23</sub>	ТР <sub>11,32,21</sub> ТР <sub>11,32,22</sub> <u>ТР<sub>11,32,23</sub></u>	ТР <sub>13,32,21</sub> ТР <sub>13,32,22</sub> <u>ТР<sub>13,32,23</sub></u>
ТР <sub>24</sub>	ТР <sub>11,32,24</sub>	ТР <sub>13,32,24</sub>

В конце концов, остается некоторое множество комбинаций, которое сокращают до одного технического решения по более важным показателям качества. Как видно из приведенного примера, вместо 120-ти было рассмотрено только 22 варианта допустимых технических решений.

При выборе вариантов сочетаний присоединяемых компонентов необходимо оценить:

1) возможность выполнения топологического синтеза, то есть согласования входов и выходов объединяемых компонентов;

2) возможность объединения элементов различных компонентов (использования побочных свойств или действий эле-

ментов одного компонента для работы другого); если такая возможность есть, выполнить объединение;

3) обеспечение работоспособности системы в целом (по требуемым значениям показателей качества и нарушению ограничений).

Если при заданных ограничениях взаимная увязка компонентов не получается, то нужно выявить причины и по возможности их устранить.

Алгоритм *морфологического синтеза компонента технологического процесса* отличается от описанного выше алгоритма морфологического синтеза устройства. Он будет подробно рассмотрен в пункте 2.5.

## 2.4. Пример морфологического синтеза устройства (станочного приспособления)

На рисунке 2.1 показан эскиз валика диаметром  $D$  и длиной  $L$ , в котором необходимо просверлить отверстие диаметром  $d$  на расстоянии  $B$  от торца. Необходимо разработать конструктивную схему приспособления для выполнения указанной операции на вертикально-сверлильном станке при следующих характеристиках заготовки:  $L = 350$  мм,  $D = 25...45$  мм,  $d = 6...12$  мм,  $B = 12...60$  мм, допуск на размер  $B$   $TV = 0,3$  мм, допускаемое отклонение от пересечения осей отверстия и валика равно  $0,15$  мм, размер партии обрабатываемых заготовок  $N = 20...100$  шт.

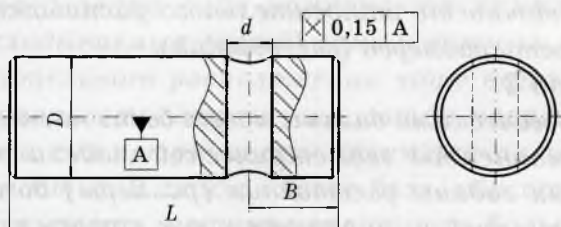


Рис. 2.1. Эскиз валика

В подразделе 2.3 рассмотрен алгоритм морфологического синтеза технических систем. Согласно этому алгоритму для постановки задачи синтеза модели станочного приспособления следует выполнить следующие процедуры.

1.1. Описание проблемы уже сформулировано выше. Главной полезной функцией (ГПФ) приспособления будет обеспечение требуемой точности размера  $B$  и пересечения осей отверстия и валика.

1.2.1. В данном конкретном случае нет технической системы для выполнения указанной ГПФ.

1.2.2. Чтобы выполнить данную ГПФ, необходимо обеспечить заданное положение заготовки относительно оси сверла и предотвращение увода сверла. Для чего заготовку нужно соответствующим образом расположить и закрепить в приспособлении, а приспособление соответствующим образом расположить по отношению к оси шпинделя и закрепить на столе станка. Поэтому «ближайшим окружением» приспособления будет стол вертикально-сверлильного станка, варианты конструкции которого указаны на рисунке 2.2.

Для более точного формулирования полезных функций приспособления необходимо разработать схему базирования и соответствующую схему установки.

Для синтеза схемы базирования следует пользоваться следующими правилами.

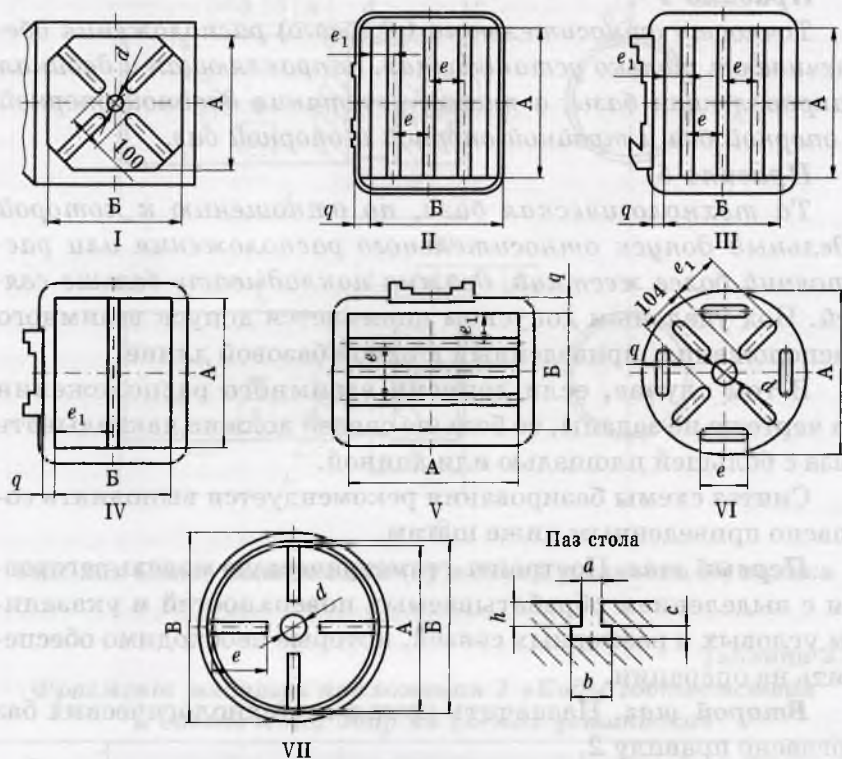
### **Правило 1**

*Схема базирования в первую очередь должна обеспечить заданную точность относительного расположения, а затем точность размеров (расстояний).*

### **Правило 2**

*Технологическими базами могут быть назначены только те компоненты геометрической модели заготовки, от которых заданы расстояния (размеры) до обработанных поверхностей и по отношению к которым заданы показатели расположения (перпендикулярности, параллельности, угла) обработанной поверхности.*





**Рис. 2.2. Варианты конструкции стола сверлильного станка**

### **Правило 3**

При определении вида компонента комплекта баз (числа накладываемых связей) самым важным показателем относительного расположения чаще всего является перпендикулярность, затем угол, затем параллельность (соосность и симметричность являются производными параллельности). В таком случае база, обеспечивающая перпендикулярность, должна накладывать больше связей, чем та, которая для этой же операции обеспечивает угол или параллельность.

#### **Правило 4**

*Точность относительного (углового) расположения обеспечиваются только установочная, направляющая и двойная направляющая базы, а также сочетания двойной опорной и опорной баз и тройной опорной и опорной баз.*

#### **Правило 5**

*Та технологическая база, по отношению к которой удельный допуск относительного расположения или расстояний более жесткий, должна накладываться больше связями. Под удельным допуском понимается допуск взаимного расположения, приведенный к одной базовой длине.*

В том случае, если допуски взаимного расположения на чертеже не заданы, то больше связей должна накладываться база с большей площадью или длиной.

Синтез схемы базирования рекомендуется выполнять согласно приведенным ниже шагам.

**Первый шаг.** Построить геометрическую модель заготовки с выделением обрабатываемых поверхностей и указанием угловых и размерных связей, которые необходимо обеспечить на операции.

**Второй шаг.** Назначить комплект технологических баз согласно правилу 2.

**Третий шаг.** Сформировать базовую систему координат.

**Четвертый шаг.** Определить вид каждого из компонентов назначенного комплекта баз согласно правилам 3, 4 и 5.

Схема базирования, построенная в соответствии с указанным алгоритмом, показана на рисунке 2.3а. Технологическими базами будут ось валика, торцовая плоскость и перпендикулярная ей плоскость, проходящая через ось валика.

Формально задачу синтеза схемы установки предлагает решать с помощью таблицы соответствия вида компонента комплекта технологических баз набору установочных (установочно-зажимных) элементов приспособления (прил. 1). Фрагмент этого приложения приведен в виде таблицы 2.5.

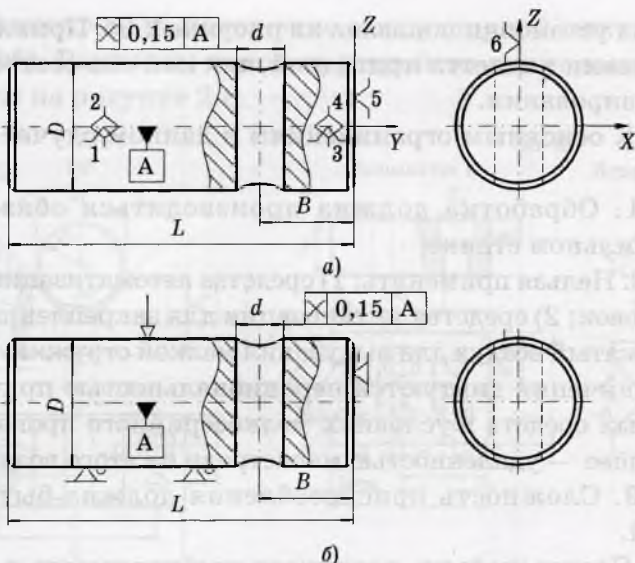


Рис. 2.3. Схема базирования (а) и схема установки (б) валика

Таблица 2.5

Фрагмент таблицы приложения 1 «Коды соответствия и обозначения опор на схемах установки»

Вид базы	Наименование элементов приспособления	Код элемента
Установочная	Две опорные пластины	Тр 1.2
	Три точечные неподвижные опоры с плоской поверхностью	Тр 1.3
	Три точечные неподвижные опоры со сферической поверхностью	Тр 1.4
	Три точечные плавающие опоры с рифленой поверхностью	Тр 1.8
	Опорное кольцо	Тр 1.9
	Магнитная плита	Тр 1.11
...	...	...



Схема установки показана на рисунке 2.3б. Принятая схема установки является пригодной, так как она соответствует схеме базирования.

1.3. К основным ограничениям в данном случае следует отнести:

1.3.1. Обработка должна производиться обязательно на сверлильном станке;

1.3.2. Нельзя применять: 1) средства автоматизации загрузки заготовок; 2) средства механизации для закрепления заготовок; 3) сжатый воздух для выдувания мелкой стружки. (Первые два ограничения диктуются нерациональностью применения указанных средств в условиях мелкосерийного производства. А последнее — удаленностью магистрали сжатого воздуха).

1.3.3. Сложность приспособления должна быть минимальной.

2.1. Следовательно, возникает необходимость в следующих основных функциях (ОФ):

ОФ1 — призма накладывает четыре связи, обеспечивая заданное положение оси валика;

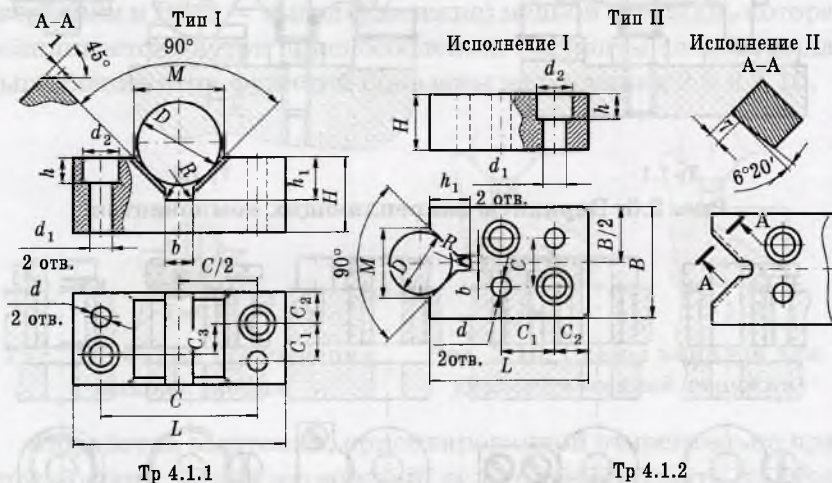
ОФ2 — регулируемая опора накладывает одну регулируемую связь для обеспечения размера  $B$ ;

ОФ3 — зажимной компонент закрепляет заготовку;

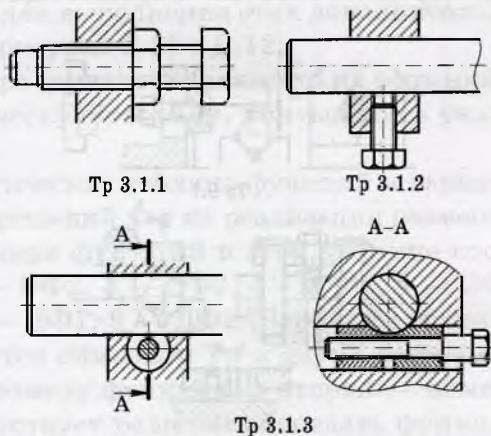
ОФ4 — направляющий компонент предотвращает отклонение оси сверла в начале сверления.

Варианты отобранных (из прил. 2) подходящих установочных компонентов для установки заготовки по цилиндрической поверхности (ОФ1) показаны на рисунке 2.4. А варианты регулируемых упоров (ОФ2) — на рисунке 2.5. На рисунке 2.6 показаны отобранные (из прил. 3) подходящие варианты компонентов для закрепления заготовки (ОФ3). А варианты кондукторных втулок (ОФ4) (из прил. 4) показаны на рисунке 2.7. Поскольку диаметр заготовки не является постоянным, а расстояние от ее поверхности до нижнего торца направляющей втулки должно быть равно  $0,5d$ , то возникает необходимость в еще одной основной функции: регулиро-

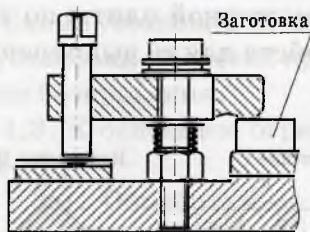
вать и фиксировать положение кондукторной плиты по высоте (ОФ5). Варианты типовых устройств для ее выполнения показаны на рисунке 2.8.



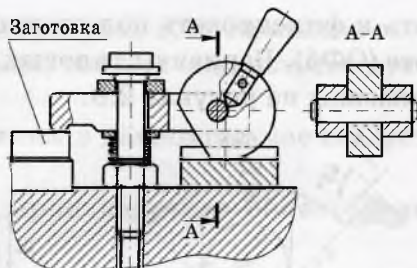
**Рис. 2.4. Варианты установочных компонентов (согласно схеме установки)**



**Рис. 2.5. Варианты упоров**

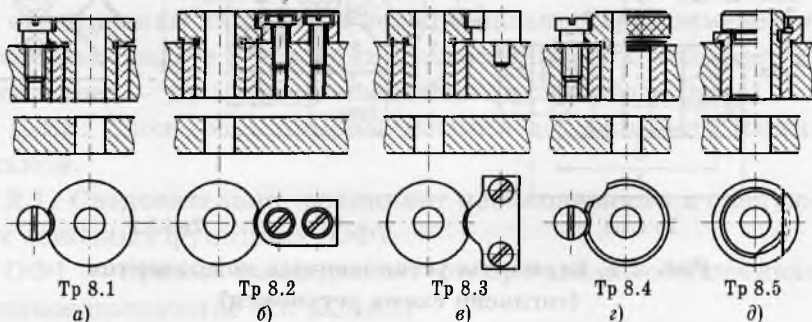


Тр 7.1



Тр 7.2

**Рис. 2.6. Варианты закрепляющих компонентов**



Тр 8.1

а)

Тр 8.2

б)

Тр 8.3

в)

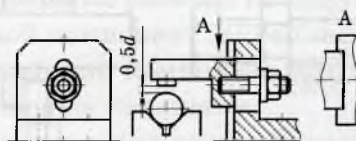
Тр 8.4

г)

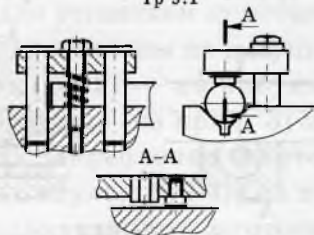
Тр 8.5

д)

**Рис. 2.7. Варианты сменных направляющих втулок**



Тр 9.1



Тр 9.2

**Рис. 2.8. Варианты способов регулирования положения кондукторной плиты**

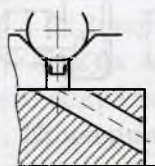


При сверлении любое приспособление должно обеспечивать выполнение следующих вспомогательных функций (ВФ): ВФ1 — обеспечить свободный выход (перебег) сверла в конце сверления и ВФ2 — вывод (удаление) мелкой стружки, которая скапливается внутри приспособления. Варианты элементов для выполнения этих функций показаны на рисунках 2.9 и 2.10.

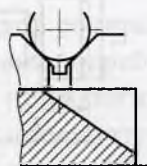


Tr 6.1

Рис. 2.9. Схема обеспечения выхода сверла



Tr 11.1



Tr 11.2

Рис. 2.10. Схемы каналов для удаления мелкой стружки

Обработка заготовки, ориентированной относительно приспособления, будет возможной, если ориентировать на столе само приспособление так, чтобы ось направляющей втулки совпадала с осью шпинделя (ДФ1). Кроме того, необходимо закрепить само приспособление на столе (ДФ2). Варианты компонентов для выполнения этих дополнительных функций показаны на рисунке 2.11 и 2.12.

При выборе вариантов технических решений, занесенных в морфологическую таблицу, учитывались указанные ранее ограничения.

Морфологическая таблица функций и вариантов типовых технических решений для их реализации размещена под номером 2.6. Номера функций в этой таблице соответствуют: 1 — ОФ1, 2 — ОФ2, 3 — ОФ3, 4 — ОФ4, 5 — ОФ5, 6 — ВФ1, 7 — ВФ2, 8 — ДФ1, 9 — ДФ2. Варианты технических решений кодируются символом Tr и двумя цифрами. Первая соответствует номеру функции, а вторая — номеру варианта. Tr 34 соответствует решению передать функции закрепления либо зажимным компонентам, либо сверлу. Аналогично, Tr 83 состоит в предложении ориентировать корпус выверкой путем совмещения сверла с направляющей втулкой, то есть

без специальных компонентов. А Тр 93 также состоит в отказе от закрепления корпуса приспособления на столе. Выполнение этой функции передается сверлу (осевой силе резания).

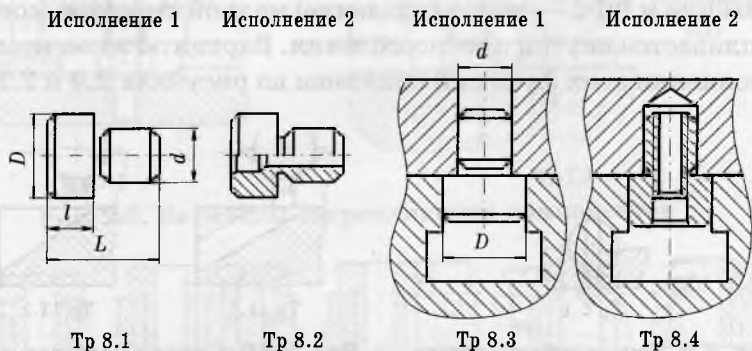


Рис. 2.11. Схемы элементов для базирования приспособления

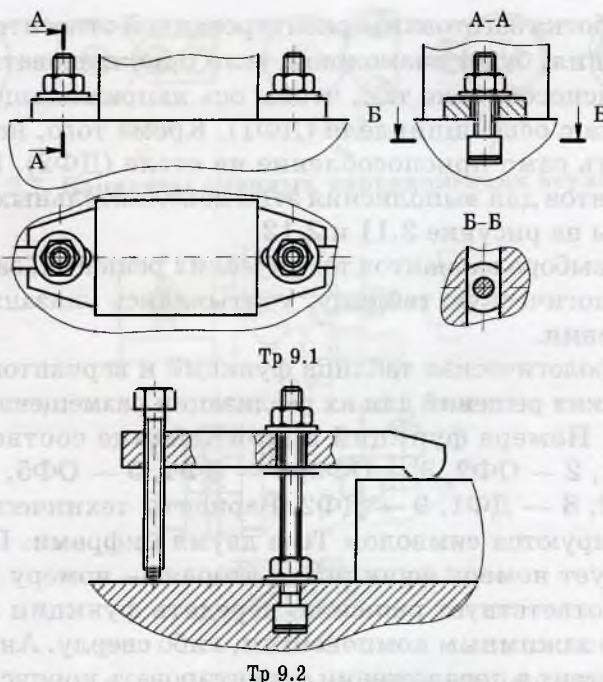


Рис. 2.12. Схемы закрепления приспособлений

Окончательно задача формулируется следующим образом.

*Дано: девять функций, выполнение которых должно обеспечить приспособление для сверления (кондуктор), и варианты компонентов, из которых его можно синтезировать.*

*Требуется: в процессе решения задачи осуществить топологический синтез кондуктора.*

Всего возможно реализовать 4 212 вариантов сочетаний технических решений (табл. 2.6). Для их анализа потребуется очень много времени. Чтобы его сократить, применим метод выборочной комбинаторики. Критериями предпочтения при выборе промежуточных и окончательных решений будут простота конструкции, оцениваемая по количеству компонентов, и удобство обслуживания, оцениваемое необходимым количеством манипуляций оператора.

**Таблица 2.6**

**Морфологическая таблица для сверлильного приспособления**

Номер функции								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тр 11	Тр 21	Тр 31	Тр 41	Тр 51	Тр 61	Тр 71	Тр 81	Тр 91
Тр 12	Тр 22	Тр 32	Тр 42	Тр 52	–	Тр 72	Тр 82	Тр 92
–	Тр 23	Тр 33	Тр 43	Тр 53	–	–	Тр 83	Тр 93
–	–	–	Тр 44	–	–	–	–	–
–	–	–	Тр 45	–	–	–	–	–

Рассмотрим вначале возможные сочетания компонентов для выполнения функций ОФ1 и ОФ2 (табл. 2.7). Примерно одинаково простыми являются технические решения Тр 21 и Тр 22. Но резьбовой упор проще регулировать с заданной точностью, особенно если выбрать шаг резьбы не более 1 мм.



Таблица 2.7

*Промежуточная таблица уменьшения вариантов*

	Тр 11	Тр 12
Тр 21	<u>Тр 11,21</u>	Тр 12,21
Тр 22	Тр 11,22	Тр 12,22
Тр 23	Тр 11,23	Тр 12,23

Самым простым техническим решением для выполнения ОФ1 является Тр 11, так как функциональный компонент состоит только из одной детали (не считая деталей крепления — болтов и штифтов). Поэтому для дальнейшего рассмотрения из шести сочетаний выбрано одно (подчеркнутое в табл. 2.7).

В промежуточной таблице 2.8 приведены возможные сочетания компонентов для выполнения ОФ3 и отобранного варианта сочетаний. Два варианта компонента для закрепления имеют практически одинаковую сложность и одинаково просто обслуживаются. Кроме того, очень привлекателен вариант передачи выполнения ОФ3 инструменту. Таким образом, дальнейшему рассмотрению подлежат два подчеркнутых в таблице 2.8 варианта сочетаний.

Таблица 2.8

*Промежуточная таблица уменьшения вариантов*

	Тр 31	Тр 32	Тр 33
Тр 11,21	Тр 11,21,31	<u>Тр 11,21,33</u>	<u>Тр 11,21,34</u>

Совершенно очевидно, что из пяти возможных технических решений, для выполнения ОФ4, более простым будет Тр 41. Поэтому для дальнейшего рассмотрения можно оставить следующие сочетания: Тр 11,21,33,41 и Тр 11,21,34,41. Для выполнения ОФ5 на рисунке 2.8 предлагается два варианта технических решений. Тр 53 отличается от Тр 52 тем, что в нем отсутствует упор 2, который может взять на себя выполнение ОФ3 (закре-

пление) при дополнительном очень небольшом опускании кондукторной плиты 1. Из этих трех технических решений наилучшим, очевидно, будет Тр 53, как наиболее простое.

Таким образом, для выполнения основных функций можно использовать следующие варианты сочетаний типовых решений: Тр 11, 21, 33, 41, 53; Тр 11, 21, 34, 41, 53. Сравнение этих решений по сложности и удобству обслуживания показывает, что пока ни от одного из вариантов на этом этапе проектирования не нужно отказываться.

В соответствии с ограничением на конструкцию стола возможны только два варианта компонентов для выполнения ВФ2. Выбирается Тр 72, так как паз легче выполнить, чем косое отверстие. А кроме того, в случае применения паза получается больше места для выхода мелкой стружки, меньше вероятность ее застревания, которое легче ликвидировать, чем в отверстии.

Из вариантов компонентов для ориентации приспособления на столе станка самым простым будет тот, где эта дополнительная функция (ДФ1) передана кондукторной втулке полностью. Такой выбор снизит требования к точности расположения оси кондукторной втулки по отношению к корпусу (точнее, к направляющим шпонкам).

И наконец, в таблице 2.9 приведены варианты сочетаний типовых решений для выполнения всех необходимых функций. В этой таблице сочетание Тр 11, 21, 34, 41, 53, 61, 72 обозначено символом Тр А, а второе сочетание Тр 11, 21, 33, 41, 53, 61, 72 — символом Тр Б.

Таблица 2.9

Таблица уменьшения вариантов

	Тр 91	Тр 92	Тр 93
Тр А	Тр А, 91	Тр А, 92	Тр А, 93
Тр Б	Тр Б, 91	Тр Б, 92	<b>[Тр Б, 93]</b>

Варианты Тр А, 91 и Тр Б, 91 можно исключить, так как их использование потребует усложнения конструкции корпуса за счет лапок с пазами для прохода болтов. Если принять

Тр 92, то заготовку можно не закреплять. А если принять Тр 93, то заготовку обязательно нужно закреплять в приспособлении и после каждой замены заготовки проводить ориентацию приспособления относительно оси сверла. Последнее решение потребует больших затрат времени на вспомогательные манипуляции, чем вариант Тр 92. Поэтому для топологического синтеза оставлен только один вариант Тр А,92. Результаты пространственной компоновки выбранного сочетания функциональных компонентов показаны на рисунке 2.13.

Правила топологического синтеза изучаются в соответствующих специальных учебных дисциплинах и в данном курсе не рассматриваются.

В целях практического освоения материала можно, например, разработать пространственную компоновку приспособления для фрезерования плоскости с размером от отверстия  $30 \pm 0,2$  с обеспечением перпендикулярности  $0,01$  от плоскости А детали, эскиз которой показан на рисунке 2.14.

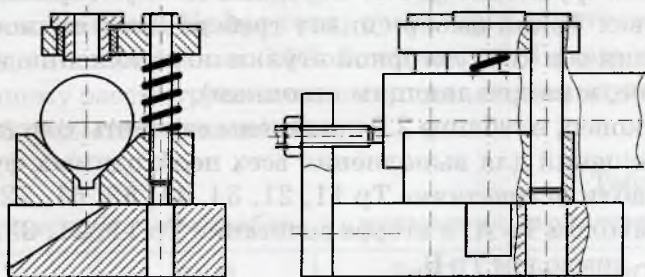


Рис. 2.13. Схема пространственной компоновки приспособления

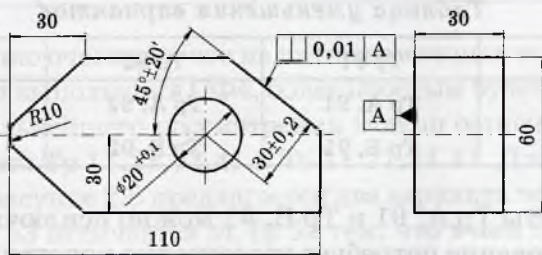


Рис. 2.14. Эскиз детали



## 2.5. Пример синтеза маршрута обработки типовых компонентов заготовки детали

В процессе изготовления поверхности заготовки изменяют свое состояние от исходного  $C_0$  до конечного  $C_{\text{кн}}$ . Состояние типовой поверхности характеризуется следующим символьным равенством:

$$C_i = \langle \text{КФ}_i, \{A_j, \text{ТА}_j\}_i, \text{Ra}_i, H_i \rangle,$$

где  $\text{КФ}_i$  — код формы поверхности в  $i$ -м состоянии;  $A_j$  — элемент множества размеров, характеризующих поверхность и ее относительное расположение;  $\text{ТА}_j$  — параметр точности размера  $A_j$ ;  $\text{Ra}_i$  — параметр шероховатости поверхности в  $i$ -м состоянии;  $H_i$  — характеристика ее твердости.

Промежуточное или окончательное состояние типовой поверхности достигается в результате выполнения технологических переходов. Изменение состояния поверхности от исходного до конечного, как правило, осуществляется за несколько технологических переходов. По мере их выполнения постепенно повышается качество поверхности (точность размера и формы, точность положения, качество поверхностного слоя и т. д.). Каждое изменение состояния поверхности может осуществляться различными способами и на различном оборудовании.

Функция метода обработки  $M$  как преобразование поверхности из состояния  $C_{i-1}$  в более точное состояние  $C_i$ , может быть отражена условно дугой графа  $M_i$  с вершинами  $C_{i-1}$  и  $C_i$ . Если состояние  $C_i$  может быть достигнуто различными методами обработки  $M_1, M_2, \dots, M_b$ , то совокупность их функций образует подграф с вершиной  $C_i$ . Множество состояний поверхности и методов их достижения можно отразить графом возможных вариантов маршрута ее обработки. Пример такого графа показан на рисунке 2.15. Любой путь на графе из  $C_0$  (в данном случае два варианта исходных состояний  $C_{01}$  и  $C_{02}$ ) в  $C_{\text{кн}}$  будет одним из вариантов маршрута обработки типовой поверхности.

Каждый метод (способ, переход) характеризуется не только параметрами состояния поверхности, которые образуются

после его реализации («выходом»), но и параметрами состояния поверхности на «входе», то есть на заготовке (исходной или промежуточной). Кроме того, характеристикой выхода является удельная производительность метода (либо затраты основного времени).

Назначение маршрута обработки типовых поверхностей можно осуществить одним из двух методов, отличающихся объемом используемых локальных типовых решений. В первом методе, условно названном *методом последовательного уточнения*, используют в качестве локального типового решения типовой переход. Во втором, названном *методом типовых маршрутов*, используют в качестве локального типового решения типовые планы (маршруты) обработки типовых компонентов (поверхностей) детали.

Элементами, из которых будут синтезироваться маршруты обработки типовых компонентов детали, являются типовые переходы, выполняемые на различных станках.

Признаками переходов являются: вид инструмента, вид относительного движения, тип обрабатываемой поверхности, уровень параметров режима резания. Различают следующие виды переходов: 1) элементарный; 2) инструментальный; 3) блочный.

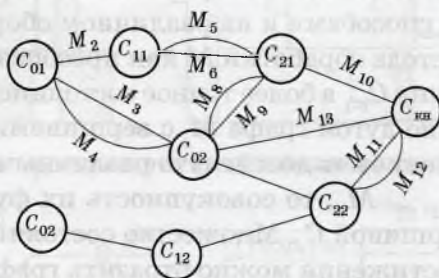


Рис. 2.15. Граф возможных вариантов маршрутов обработки типовой поверхности

*Элементарным переходом* обрабатывается один типовой компонент детали. *Инструментальным переходом* обрабатывается группа либо одинаковых поверхностей (отверстий,

зубьев и т. д.), либо несколько разных поверхностей (обычно на станке с ЧПУ одним инструментом). *Блочный переход* выполняется несколькими одновременно работающими инструментами, которые объединяются в инструментальный блок.

Переходы группируются в следующие классы: 01 — токарные; 02 — расточные; 03 — сверлильные; 04 — фрезерные; 05 — строгально-долбежные; 06 — протяжные; 07 — шлифовальные; 08 — отделочные; 09 — ППД; 10 — резьбобрабатывающие; 11 — зубо- и шлицеобрабатывающие; 12 — контрольные; 13 — прочие. Внутри каждого класса выделяются виды переходов по следующим признакам: 1) вид инструмента; 2) вид обрабатываемой поверхности; 3) характеристика относительного движения. Не в каждом классе выделение видов переходов требует применения всех указанных признаков. В таблице 2.10 показан фрагмент классификатора (прил. 7) элементарных переходов и их трехзначные коды.

Таблица 2.10

*Классификатор переходов механической обработки*

№	Наименование переходов
	<b>токарные</b> (в операциях: токарно-копировальная; токарная с ЧПУ; токарно-винторезная; токарно-автоматная)
001	обтачивание продольное
002	обтачивание поперечное (канавок, уступов, фасонное)
003	расточивание продольное
004	расточивание поперечное (канавок, уступов, фасонное)
005	подрезание торца
006	обтачивание программное
007	расточивание программное

Каждому переходу будет присвоен четырехзначный код. Первые три знака соответствуют предварительному коду перехода. Четвертый знак отражает требуемое качество поверхности, которое достигается: 0) обдирочной; 1) предварительной; 2) чистовой; 3) отделочной; 4) однократной обработкой. Не все переходы имеют полный набор значений последнего компонента кода. Так, сверление не может быть чистовым или отделочным.



Последняя цифра кода перехода определяет также требования к точности размера и значению параметра шероховатости. Так, если при продольном точении она равна 0, то обработка ведется по 14...15 качеству точности и показателю шероховатости  $Ra = 12,5...25$  мкм; а если 1, то обработка ведется по h14, H14 и  $Ra = 6,3$ ; если 2 — то h11, H11 и  $Ra = 3,2$ ; если 3 — то h9, H9 и  $Ra = 1,6$ ; и если 4 — то h7, H7 и  $Ra = 0,8$ . Если данный переход является «закрывающим» при обработке рассматриваемой поверхности, то параметры точности и шероховатости берутся из данных чертежа детали. Код перехода связывается с текстом его описания при помощи таблиц соответствия (прил. 7).

Выбор вариантов последовательности переходов обработки заданной поверхности осуществляется следующим образом:

**Шаг 1.** Согласно классификатору типовых поверхностей (рис. 8.1–8.5, прил. 8) сформируется с учётом класса формы детали шестизначный код поверхности. Выделяются только 3 класса форм детали: 1) тела вращения ( $D = 1$ ); 2) корпусные детали ( $D = 2$ ); 3) рычаги ( $D = 3$ ). Значение  $D$  будет первой цифрой кода. Затем формируется код класса (1 — поверхности вращения; 2 — плоские поверхности; 3 — винтовые поверхности; 4 — зубчатые поверхности). После этого выбираются коды подкласса, группы, вида и типа обрабатываемой поверхности.

Например, требуется обработать отверстие по 7-му качеству точности диаметром  $42^{+0,025}$  мм, длиной 30 мм, с  $Ra = 1,25$  мкм в детали твёрдостью HRC = 28...30, относящейся к классу тел вращения (рис. 2.16). Заготовка получена на горизонтально-ковочной машине. Тогда согласно рисунку 8.1 приложения 8 код обрабатываемой поверхности будет 111212.

**Шаг 2.** С помощью таблицы соответствия (прил. 9, фрагмент которой приведен в табл. 2.11) выбираются коды переходов, соответствующие сформированному коду обрабатываемой поверхности.

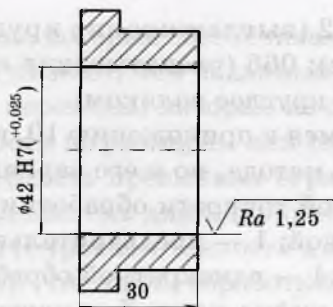


Рис. 2.16. Операционный эскиз

Таблица 2.11

Таблица соответствия кода поверхности коду переходов

№	Код поверхности	Коды (номера) переходов
1	111111	005; 043; 044; 045; 046; 061;
2	111121	005; 039; 040;
3	111122	005; 017;
4	111132	005;
5	111211	001; 002; 039; 040; 041; 042; 049; 051; 053; 054; 057; 061; 064; 065;

Для рассматриваемого примера это будут следующие коды: 003 (расточивание продольное); 013 (сверление, которое отбрасывается, так как у заготовки уже сформировано отверстие); 014 (рассверливание); 015 (зенкерование); 016 (развёртывание); 019 (глубокое сверление, которое сразу отбрасывается, так как длина отверстия меньше его диаметра); 020 (зацентровка, которая отбрасывается, так как отверстие в заготовке уже есть); 034 (круглое протягивание); 037 (круглое прошивание); 043 (круглое внутреннее врезное шлифование); 044 (круглое внутреннее продольное шлифование); 049 (круглое глубинное шлифование); 052 (хонингование); 055 (доводка полноконтактная круглая внутренняя); 058 (полирование эластичным кругом внутреннее); 060 (полирова-

ние шкуркой); 062 (выглаживание круглое внутреннее); 063 (дорнирование); 066 (раскатывание круглое шариком); 067 (раскатывание круглое роликом).

Затем обращаемся к приложению 10, в котором указывается не только код метода, но и его вариации в зависимости от уровня требуемой точности обработки, которая достигается: 0 — обдирочной; 1 — предварительной; 2 — чистовой; 3 — отделочной и 4 — однократной обработкой. На это указывает последняя цифра кода. Для каждого типа перехода (от 1 до 4) указывается квалитет (а для винтовых и зубчатых поверхностей — степень) точности на выходе и на входе в него. Кроме того, указываются: показатель шероховатости, дополнительные условия (по твёрдости, размерам и припускам) осуществления перехода. Фрагмент приложения 10 показан в таблице 2.12.

Таблица 2.12

*Показатели качества, индивидуальные условия выбора*

Код перехода	Размеры	Припуск на сторону	Показатели качества				Условия (HRC)
			Вход		Выход		
			IT	Ra	IT	Ra	
0014	D(10...300) L(30...1000)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 20
0010		2...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 20
0011		1,5...4	17...19	25...60	12...14	6,3...12,5	< 20
0012		1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	28...32
0013		0,3...0,5	8...10	0,8...3,2	6...7	0,2...0,8	28...32
0024	D(10...300) L(2...30)	Напуск	14...17	12,5...25	9...14	3,2...6,3	< 20
0021		Напуск	14...17	12,5...25	12...14	6,3...12,5	< 20
0022		1...3	10...14	6,3...12,5	9...11	2,5...3,2	28...32

Из нее выписываются в промежуточную таблицу для дальнейшего использования только те строки, которые имеют номера, найденные на первом этапе из таблицы соответствия в приложении 9.

**Шаг 3.** Из таблицы приложения 10 в соответствии с отобранными в шаге 2 кодами переходов отбираем те уточнен-



ные коды переходов, которые обеспечивают уровень точности равный или более низкий, чем заданный условиями задачи. Не отбираются те переходы, которые не соответствуют условиям осуществимости по размерам или твердости материала. Если заданная твердость превышает ограничения, накладываемые на этот показатель для однократной или предварительной обработки (с уровнем точности ниже 9-го качества), то перед отделочной (чистовой) обработкой вводятся термическая обработка (ТО), которая доводит уровень твердости от исходного значения до заданного.

Результаты этого шага для заданного примера занесены в промежуточную таблицу (табл. 2.13). В нее не включаются ранее отброшенные переходы, как несоответствующие заданной точности (выше ее) и условиям осуществимости.

В 4-й и 5-й столбцы промежуточной таблицы заносятся выбранные из заданной во втором и третьем столбцах диапазонов качества точности. Это может быть либо большее, либо меньшее, либо среднее значение.

**Таблица 2.13**

*Промежуточная таблица*

Уточненные коды переходов	Характеристики точности из таблицы 8 приложения		Характеристики точности «округленно»	
	На входе	На выходе	На входе	На выходе
0034	20...16	11...9	16	9
0031	20...16	14...12	16	13
0032	14...12	10...8	13	10
0033	10...8	9...6	10	7
0144	16...14	12...9	16	12
0154	20...16	13...10	16	10
0151	18...14	13...12	16	12
0152	13...12	9...8	12	8
0161	12...10	10...9	12	9
0162	10...9	9...8	9	7
0163	8...7	6...5	7	5

Уточненные коды переходов	Характеристики точности из таблицы 8 приложения		Характеристики точности «округленно»	
	На входе	На выходе	На входе	На выходе
0341	16...14	11...10	14	10
0342	11...10	9...7	10	7
0343	9...7	6...5	7	5
0371	14...10	11...10	14	11
0372	11...10	9...8	11	9
0373	9...8	7...6	9	7
0434	14...12	8...7	12	7
0431	14...12	10...8	13	9
0432	10...8	8...6	9	7
0521	9...8	7...6	9	7
0522	7...6	6...5	6	5
0624	8...7	8...7	7	7
0664	8...7	8...7	7	7
0674	8...7	8...7	7	7

Например, в первой и второй строках приняты на входе меньшие значения квалитетов точности, так как они соответствуют точности заготовки. Соответственно, меньшими также выбраны квалитеты точности на выходе.

**Шаг 4.** Квалитет точности конечного состояния (в рассматриваемом примере — 7-й) сравнивается последовательно в каждой строке промежуточной таблицы с «округленным квалитетом точности», записанным в пятом (на выходе) столбце. При этом возможны следующие варианты:

$$1) - JT_{зд} = JT_{таб};$$

$$2) - JT_{зд} < JT_{таб},$$

где  $JT_{зд}$  — заданный квалитет точности конечного состояния;  $JT_{таб}$  — табличное («округленное») значение квалитета точности. В случае 2 осуществляется переход к следующей строке промежуточной таблицы без записи. В случае 1 из заданной строки выписываются: в столбец вход таблицы А (шаг 4)

соответствующее значение качества точности из четвертого (на входе) столбца промежуточной таблицы, а также соответствующий код перехода (из столбца 1). Значение качества точности из столбца «Вход» этой таблицы сравнивается с качеством точности заготовки. При их совпадении данная строка таблицы изымается из дальнейшего рассмотрения. Если в результате выполнения перехода точность не повышается (полирование, выглаживание, другие виды ППД), а только снижается уровень  $Ra$ , то следует рассмотреть дополнительно требования к уровню показателя шероховатости.

Если не оговорена степень точности формы, то принимаем ее нормальной, для которой  $Ra = 0,05T$ , где  $T$  — допуск на размер обрабатываемой поверхности. Если требуемое значение показателя шероховатости  $Ra < 0,4(0,05T)$ , то указанные переходы необходимо использовать либо как отдельные, либо в комбинации с тонким точением. Для рассматриваемого примера  $Ra = 0,05 \cdot 25 = 1,25$  мкм, поэтому переходы 0624, 0664 и 0674 использоваться не будут.

**Шаг 5.** Повторяется шаг 4, только в качестве выходного показателя принимаются значения качества точности из столбца «Вход» таблицы А (шаг 4). Это  $JT = 9; 10; 12$ . В результате получаются три таблицы: А (шаг 5); Б (шаг 5); В (шаг 5).

Таблица А (шаг 4)

Выход	Код перехода	Вход
7	0033	10
7	0162	9
7	0342	10
7	0373	9
7	0432	9
7	0434	12
7	0521	9
7	0624	7
7	0664	7
7	0674	7



Таблица А (шаг 5)

Выход	Код перехода	Вход
9	0034	16
9	0372	11
9	0431	13
9	0161	13

Таблица Б (шаг 5)

Выход	Код перехода	Вход
10	0341	16
10	0154	16
10	0032	13

Таблица В (шаг 5)

Выход	Код перехода	Вход
12	0031	16
12	0144	16

Таблица А (шаг 6)

Выход	Код перехода	Вход
13	0151	16

Таблица А (шаг 5)

Выход	Код перехода	Вход
9	0034	16
9	0372	11
9	0431	13
9	0161	13

Таблица А (шаг 6)

Выход	Код перехода	Вход
13	0151	16

Таблица Б (шаг 6)

Выход	Код перехода	Вход
11	0371	14

**Шаг 6.** Повторяется предыдущий шаг, только в качестве выходного показателя принимают значение качества точ-

ности из столбца «Вход» предыдущих таблиц. Повторение продолжается до тех пор, пока в полученных таблицах либо квалитет точности в столбцах «Вход» будет соответствовать квалитету точности заготовки, либо квалитет точности столбца «Вход» данных таблиц отсутствует в столбце «На входе» промежуточной таблицы.

В таблице  $(i + 1)$ -го шага в столбцы «Вход» не включаются те квалитеты точности столбцов «Вход»  $i$ -го шага, которые есть в столбцах «Вход» этого же шага.

Результаты выполнения шестого шага занесены в таблицы А (шаг 6) и Б (шаг 6).

**Шаг 7.** Построение вариантов маршрута обработки типового компонента заготовки осуществляется путем последовательного объединения одинаковых квалитетов точности «Входа» из таблицы  $i$ -го шага с «Выходом» таблицы  $(i + 1)$ -го шага, при этом образуется цепочки переходов. Если они заканчиваются квалитетом точности меньшим, чем у заготовки, то такие цепочки отбрасываются. В примере это цепочка 0372–0371, которая заканчивается 14-м квалитетом точности.

Результаты выполнения данного шага для рассматриваемого примера показаны в таблице вариантов маршрута обработки (табл. 2.14).

Таблица 2.14

*Таблица вариантов маршрута обработки отверстия*

№	Варианты последовательности кодов	№	Варианты последовательности кодов
1	-0034-0162-	11	-0031-00320033-
2	-0034-0373-	12	-0031-0032-0162-
3	-0034-0432-	13	-0031-0431-0162-
4	-0034-0521-	14	-0031-0431-0373-
5	-0341-0033-	15	-0031-0431-0432-
6	-0341-0342-	16	-0031-0431-0521-

№	Варианты последовательности кодов	№	Варианты последовательности кодов
7	-0154-0033-	17	-0031-0161-0162-
8	-0154-0342-	18	-0031-0161-0373-
9	-0151-0434-	19	-0031-0161-0432-
10	-0144-0434-	20	-0031-0161-0521-

Всего получилось 20 вариантов маршрутов обработки, которые приведены в таблице вариантов.

**Шаг 8.** Сокращение числа вариантов маршрута обработки типового компонента детали осуществляется путем их сравнения по критериям предпочтения. Могут учитываться следующие критерии: 1 — число переходов; 2 — ассортимент станко-переходов; 3 — затраты основного (машинного) времени на цепочку переходов. Необходимо стремиться к минимизации указанных критериев. Если не требуется обеспечить высокую точность взаимного расположения (соосность, перпендикулярность и т. д.), то предпочтительнее переходы, в которых размер получается за счет размера инструмента. В рассматриваемом примере это рассверливание, зенкерование, развертывание, протягивание, прошивание. Следует выбирать переходы с более дешевым инструментом.

Согласно первому критерию отбрасываются все маршруты, состоящие из трех переходов. Согласно второму критерию отбрасываются маршруты, выполняемые на разном оборудовании. Затраты штучного времени для оставленных маршрутов можно оценивать с помощью моделей наиболее вероятного основного времени, которые приведены в приложениях 12 и 13 с учетом применяемого оборудования.

Окончательно рассматриваются следующие варианты:

1) однократное растачивание (0034) — чистовое развертывание (0162)

$$\tau_{\text{шк}} = 1,98 \cdot (0,000134 + 0,000876) \cdot 42 \cdot 30 = 2,52 \text{ мин.}$$



2) зенкерование однократное (0154) — растачивание тонкое (0033)

$$\tau_{\text{шк}} = 1,98 \cdot (0,00021 + 0,00018) \cdot 42 \cdot 30 = 0,97 \text{ мин};$$

3) прошивание предварительное (0371) — прошивание окончательное (0373)

$$\tau_{\text{шк}} = 2 \cdot (0,00033 + 0,0005) \cdot 30 = 0,05 \text{ мин.}$$

Самым производительным будет маршрут 3. Для дальнейшего синтеза (операций) оставляются два-три лучших варианта маршрута обработки каждого типового компонента детали. Для рассмотренного случая это будут маршруты 2 и 3.

При формировании вариантов маршрута обработки следует помнить, что нарушение монотонного повышения точности по мере последовательного выполнения его переходов нарушается термической обработкой, которая проводится в середине маршрута. Это особенно важно для деталей относительно небольшой жесткости. Кроме того, если деталь подвергается частичной цементации, а рассматриваемая поверхность защищается от цементации припуском П, большим, чем глубина цементации, то эта химико-термическая обработка делится на две операции: цементация и закалка, между которыми необходимо предусмотреть переход для удаления этого припуска.

Проще выбирать варианты маршрута обработки типовых поверхностей при помощи таблицы типовых маршрутов (прил. 11), фрагмент которой показан в таблице 2.15. Здесь СН — сталь незакаленная, Ч — чугун, ЦС — цветные сплавы, СУ — сталь улучшенная и т. д. В скобках указан вариант перехода. Недостатком метода является то, что в нем не учитывается состояние заготовки.

Фрагмент приложения 10, соответствующий рассматриваемому примеру, показан в таблице 2.16. Сравнивая ее с таблицей 2.14, видим, что в маршрут включены лишние переходы сверления (0134), рассверливания (0144), программного растачивания (0072).

Таблица 2.15

## Типовые маршруты обработки типовых поверхностей

Коды маршрутов	Квалитет точности	Показатель Ra	Последовательность кодов переходов	Дополнительные условия
<i>Тела вращения</i>				
1.1. Наружные поверхности вращения (цилиндрические и конические)				
СН, Ч, ЦС	12-14	6,3-12,5	0011(0061);	
	10-12	3,2-6,3	0014 (0064);	
	8-10	2,5-3,2	0011 (0061), 0012 (0062);	
	—	—	0014 (0064), 0012 (0062);	
Ч, ЦС	6-7	0,8-1,25	0011 (0061), 0012 (0062), 0013 (0063);	
СУ	8-10	0,8-1,25	0011 (0061), 1084, 0012 (0062);	
	—	—	0011 (0061), 1084, 0394 (0404);	
	6-7	0,2-0,8	0011 (0061), 1084, 0012 (0062), 0013 (0063);	
	—	—	0011 (0061), 1084, 0012 (0062), 0392 (0402);	
	—	0,2-1,25	0011 (0061), 1084, 0012 (0062), 0394 (0404);	
	—	0,03-0,16	0011 (0061), 1084, 0012 (0062), 0392 (0402), 0614;	

Таблица 2.16

## Варианты маршрутов обработки поверхности, заданной в примере

СУ	9-11	3,2-6,3	0134, 0144, 1104, 0152 (0032 или 0072);	$d_0 > 25$
	7-8	1,6-3,2	0134, 0144, 1104, 0152 (0032 или 0072),	
	—	—	0161, 0162;	$d_0 > 25$
	5-6	0,4-0,8	0134, 0144, 1094, 0152 (0032 или 0072),	$d_0 > 25$
	—	—	0161, 0162, 0163;	

В скобках указаны варианты выполнения предыдущего перехода. Для обработки отверстия, указанного в примере, предлагаются следующие варианты маршрутов обработки:

0144 (0151), 1094, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162;

0144 (0151), 1094, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162, 0163.

### **Контрольные вопросы**

1. Приведите пример абстрактной морфологической таблицы.
2. Как уменьшить число вариантов анализируемых технических решений при синтезе системы из компонентов морфологической таблицы?
3. Раскройте суть метода выборочной комбинаторики.
4. Как описывается состояние типового компонента детали?
5. Как осуществляется выбор переходов для обеспечения типовой поверхности детали?
6. Опишите сущность морфологического синтеза технических систем при информационном поиске функциональных компонентов.
7. Приведите пример морфологического синтеза устройства.
8. Приведите пример синтеза маршрута формирования типовых компонентов детали.



## **Глава 3. МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

### **3.1. Индивидуальное техническое творчество**

Если для совершенствования технической системы информационный поиск не позволяет найти удовлетворительное техническое решение, проектировщику необходимо прибегать к техническому творчеству. Особенно это нужно на начальных этапах проектирование технической системы, потому что они являются наиболее сложными, наиболее неопределенными и созидательными. Эти этапы не могут быть чистым копированием решений, принятых когда-то самим проектантом или кем-то другим.

От инженера, особенно инженера-проектанта, в отличие скажем от техника или даже инженера-эксплуатационника, требуется не просто владение некоторыми навыками и знаниями в конкретной узкой области деятельности, например, умение грамотно выполнять графическую документацию (чертежи) с использованием графического редактора («Компас», «Inventor» и т. д.), проводить техническое обслуживание уже существующего оборудования, но и умение созидать новое.

В принципе, все люди обладают творческим потенциалом. У одних талант проявляется в технической области, у других — в области культуры; у одних он обнаруживается в раннем, а у других — в зрелом возрасте. Причем проявление творческих качеств, в том числе и в технике, напрямую не за-

висит от уровня образования. Встречаются самоучки, которые не только без высшего специального, но даже и неполного среднего образования изобретают и изготавливают без использования проектно-конструкторской документации, различных расчетов вполне работоспособные оригинальные (на уровне изобретений) технические устройства или технологии.

Но отсутствие у изобретателей специальных системных знаний негативно отражается на надежности работы и ресурсе созданных ими устройств. В то же время множество людей, получивших высшее техническое образование, за свою жизнь так и не смогли (или не захотели) создать полезные, эффективные технические устройства.

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

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 подойти 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 ниже этапы или протекает в другой, более предпочтительной последовательности. Важно, чтобы будущий проектант сформировал верное представление о творческой стороне умственной деятельности.

### *Этапы творческого процесса*

**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. («Потребность — мать изобретения», но только деятельность рождает изобретателя.)

**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 произвольной мыслительной работы над решением задачи. Проблеме дают возможность дозреть в течение определенного времени, пока мозг подсознательно проверяет различные «забытые» комбинации.

**Этап 4. Озарение.** Озарение имеет место, 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 (часто во время сна или отдыха). Разве не случалось вам, например, напрягать ум, безуспешно пытаться вспомнить какую-нибудь фамилию, название города или вещи, а ответ приходил в голову внезапно, когда вы думали о чем-то другом? Это и есть некоторое подобие озарения.

**Этап 5. Проверка.** Итак, 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 экс-



перимента, а иногда — прибегнуть к мнению признанных авторитетов. Проверка часто требует большого напряжения. Это последний и наиболее важный этап творческого процесса.

### ***Препятствия техническому творчеству***

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 КБ, предприятие, фирма может создать творческую обстановку для своих сотрудников. Некоторые препятствия кратко характеризуются ниже. Приведем и примеры их преодоления.

### ***Препятствия личного порядка***

**1. Отсутствие гибкости.** Знакомство с определенными предметами или концепциями порождает некоторые неизменные представления относительно их функции, чем ограничивается их ценность. (Например, считается, что канцелярская скрепка служит для скрепления бумаг, но ее можно использовать также для прочистки курительной трубки, в качестве пружины, звена цепочки, приспособления для чистки ногтей, дырокола или шила, а, кроме того, это, по-видимому, наилучшая из когда-либо изобретенных отмычек.)

**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. (Пусть вас не беспокоит то, что вы не знаете, как это делалось раньше, не старайтесь подгонять решение к тому, что есть; изобретайте методы, способные обеспечить удовлетворительное решение).

**3. Узкопрактический подход.** Прямолинейный подход характеризуется тем, что вместо всестороннего обдумывания про-

блемы мы сразу же переходим к фактам и тем самым слишком быстро беремся за ее непосредственное решение. Преждевременный упор на детали губит всякую возможность творчества. (Лучше всего приступить к решению новой проблемы или разработке нового изделия, продумав вначале все варианты, какими бы необычными они ни казались, а затем остановиться на наиболее реальных решениях.)

**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 техники и технологии. Воспитывайте в себе любознательность. Не прячьтесь в щель и не идите по проторенной дорожке).

**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 изобретателю. 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 рождают 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 (Не заглядывая далеко, можно «логически» показать, что почти любая предлагаемая идея является невыполнимой, неправильной или несущественной; поэтому многие боятся критики идей. Пусть вас не обескураживают такие слова: «Я где-то уже это видел», «Это не будет работать», «Не может быть, чтобы кто-то не придумал это раньше», «Это нельзя будет продать»).

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».

### *Препятствия организационного порядка*

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. Обычное 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 и разногласия внутри руководства относительно основных целей.

5. Отсутствие эффективной системы контактов между инженерами и руководителями фирмы.

6. Неумение руководства предприятия выявлять и поощрять творческие способности.

7. Отрицательное отношение руководства предприятия ко всем новым идеям (Любой руководитель способен быстрее губить таланты, чем привлекать новые, если он не предоставляет хорошим специалистам возможность проявлять свои способности, приобретать новый опыт, получать сложные задания).

8. Нежелание руководителей предприятия рисковать.

9. Удовлетворенность существующим положением, стремление придерживаться заведенного порядка или следовать установившейся практике.

10. Отказ в приеме на работу творчески мыслящим инженерам по той причине, что их не устраивает «структура организации».



Для преодоления препятствий и активизации творческого процесса хорошо применять метод **контрольных вопросов**. Наводящими вопросами разработчик подводится к решению задачи. Метод может применяться как в индивидуальной работе, так и при коллективном обсуждении проблемы. Для реализации метода разными авторами разработаны вопросники. Например, вопросник А включает 9 групп вопросов:

- 1) Какое новое применение объекту можно предложить?
- 2) На какой другой объект похож рассматриваемый, и что можно с другого объекта скопировать?
- 3) Какие возможны модификации путем вращения, изгиба, скручивания, поворота, изменения функций, цвета, формы?
- 4) Что можно в технической системе увеличить (размеры, прочность, скорость, число элементов и т. д.)?
- 5) Что можно в технической системе уменьшить (размеры системы или ее элементы, плотность, время действия и т. д.)?
- 6) Что можно в технической системе заменить (компонент, материал, привод и т. д.)?
- 7) Что можно в технической системе преобразовать (компоновку, порядок выполнения функций и т. д.)?
- 8) Что можно в технической системе сделать наоборот?
- 9) Какие новые комбинации компонентов технической системы возможны?

Нетрудно заметить, что в данных вопросах содержатся рекомендации опробовать ту или иную идею изменения исходной технической системы для решения поставленной задачи. Эти идеи принято называть **эвристическими приемами**. Они разработаны на основании анализа значительного числа технических решений, при помощи которых были решены задачи усовершенствования технических систем, заслужившие выдачи авторских свидетельств и патентов на изобретение.

### 3.2. Методы группового технического творчества

«**Прямая мозговая атака**» (мозговой штурм) — наиболее известный и широко применяемый метод генерирова-

ния новых идей путем творческого сотрудничества группы специалистов (как правило, не более 10 человек). Руководитель группы ставит задачу, а участники штурма выдвигают собственные идеи, развивают их и идеи своих коллег, используют одни идеи для развития других. Чтобы обеспечить максимальный эффект, мозговая атака должна подчиняться определенным правилам.

На первой стадии атаки идеи технического решения только выдвигаются и развиваются. Обсуждать, а тем более критиковать их строго запрещается, так как критические замечания уводят к частностям и мешают выдвижению идей. На этом этапе задача руководителя группы заключается в активизации творческого мышления участников штурма, в обеспечении выдвижения возможно большего числа вариантов решений. При этом предпочтение отдается количеству, а не качеству выдвигаемых идей.

На втором этапе выдвинутые идеи тщательно анализируются, при этом внимание сначала концентрируется на положительных сторонах идей, на попытках найти в каждой идее рациональное зерно. Большой эффект дает комбинирование идей путем составления перечня всех идей выполнения анализируемой функции с указанием преимуществ и недостатков каждого из вариантов. Тогда при обсуждении часто возникают новые идеи, более оригинальные и плодотворные.

Однако не всякая проблема может быть решена этим методом. Он эффективен главным образом при решении не слишком сложных задач, когда проблема хорошо известна всем участникам заседания. Существует несколько модификаций мозговой атаки. Например, *двойная, обратная, комбинированная и индивидуальная* мозговая атака. Они отличаются количеством участников и этапов, способом организации выдвижения и критики идей.

«*Двойная прямая мозговая атака*». Суть ее заключается в том, что после проведения прямой мозговой атаки делается перерыв от двух часов до двух-трех дней и затем прямая мозговая атака еще раз повторяется.

Практика показала, что при проведении второй мозговой атаки по одной и той же задаче часто выявляются наиболее ценные практически полезные идеи или происходит удачное развитие идей первого совещания, то есть во время перерыва включается в работу мощный аппарат решения творческих задач — подсознание, синтезирующее неожиданные фундаментальные идеи.

«*Обратная мозговая атака*». Ее суть заключается в выявлении максимального числа недостатков технической системы, которую намечено усовершенствовать, и в определении среди них главных.

«*Обратная и прямая мозговые атаки*». Развитие технической системы представляет собой повторяющийся цикл: существующая техническая система, выявление недостатков, устранение недостатков в новом поколении технических систем. Эту закономерность можно использовать для мысленного моделирования и прогнозирования развития интересующего класса объектов. Для этого сначала с помощью обратной мозговой атаки выявляют все недостатки существующей технической системы и выделяют среди них главные. Затем проводят прямую мозговую атаку для устранения выявленных главных недостатков и разрабатывают эскиз нового технического решения, в котором эти недостатки по возможности устранены или учтены. Для увеличения времени прогнозирования этот цикл имеет смысл повторить, чтобы предвидеть развитие объекта на два шага вперед.

«*Прямая и обратная мозговые атаки*». В такой комбинации мозговые атаки можно также использовать для прогнозирования развития интересующей технической системы. Для этого сначала проводят прямую мозговую атаку и делают эскизы наиболее перспективных технических решений, затем обратную мозговую атаку и выявляют возможные недостатки этих технических решений. В целях увеличения времени прогнозирования этот цикл имеет смысл еще раз повторить, то есть опять провести прямую мозговую атаку для устранения выявленных будущих недостатков и разработки соответствующих эскизов



технических решений, по отношению к которым еще раз выполняется обратная мозговая атака.

«*Мозговая атака с оценкой идей*». Подобная мозговая атака предназначена для решения сложных проектных задач и выполняется в три этапа.

На первом этапе (первое совещание) проводят прямую мозговую атаку. Составленный общий список идей передается каждому участнику совещания, и каждый получает задание индивидуально (независимо от других) отобрать из общего списка от трех до пяти лучших идей с указанием их преимуществ. При этом разрешается добавлять свои, новые идеи.

На втором этапе (второе совещание) каждый участник сообщает об отобранных им (или предложенных дополнительно) трех-пяти идеях с указанием их достоинств. По каждой идее проводится короткая (5–10 мин) мозговая атака в целях выдвижения идей по улучшению предложенного варианта; выявления недостатков; выдвижения идей по устранению недостатков. При этом одинаковые идеи повторно не обсуждаются.

В результате обсуждения составляют таблицу положительно-отрицательной оценки идей (табл. 3.1).

Таблица 3.1

*Форма положительно-отрицательной оценки идей*

Описание идей	Достоинства	Недостатки
1. ....	1.1. ....	1.1. ....
	1.2. ....	1.2. ....
	1.3. ....	1.3. ....
2. ....	2.1. ....	2.1. ....
	2.2. ....	

Каждому участнику дается задание — выбрать из таблицы независимо от других один или два наилучших варианта и представить по ним эскизы технического решения.

На третьем этапе (третье совещание) обсуждаются представленные эскизы в целях ранжирования их от лучших к худшим. Составляются предложения с описанием наилучших

технических решений. При этом эскизы могут быть дополнительно проработаны и детализированы. Принимается решение о проведении патентных исследований и составлении заявок на изобретение по патентоспособным техническим решениям, а также рационализаторских предложений.

Наиболее разумный подход к мозговой атаке состоит в том, чтобы рассматривать ее как чрезвычайно быстрый способ генерирования необходимого разнообразия идей, которое может послужить основой для серьезного поиска решения. Самым ценным продуктом мозговой атаки являются не сами идеи, а категории, на которые они разбиваются в процессе классификации. Выявление практически осуществимых идей из большого случайного множества возможно лишь после того, как проектная ситуация будет достаточно подробно исследована.

С помощью мозговой атаки можно рассматривать любую проблему, если она достаточно просто и ясно сформулирована. Этот метод можно использовать на любой стадии проектирования, как в начале, когда проблема еще окончательно не определена, так и позднее, когда уже выделены сложные подпроблемы. Его можно также использовать для генерирования *информации*, а не идей, то есть для выяснения источников информации или формулирования вопросов анкеты.

Люди, никогда ранее не принимавшие участия в мозговой атаке, могут удачно выступить при первой же попытке и хуже при дальнейших подходах к той же проблеме. Мозговая атака требует от каждого ее участника солидного опыта в рассматриваемой области и умения использовать его в нужный момент.

«*Синектика*» (объединение разнородных частей) — комплексный метод стимулирования творческой деятельности. В основе метода лежит поиск нужного решения за счет преодоления психологической инерции, состоящей в стремлении решить проблему традиционным путем. Синектика позволяет выйти за рамки какого-то конкретного образа мыслей (действий) и значительно расширяет диапазон поиска новых идей. Это оказывается возможным за счет представления привычного непривычным и, наоборот, непривычного — привычным.

Синектический подход к генерированию идей напоминает мозговую атаку в том отношении, что он также основан на усилиях группы, направленных на получение возможных решений предложенной задачи.

Синектический метод реализуется следующим образом. Вначале группе, состоящей из руководителя, пяти — десяти членов (специалистов разных профессий) и стенографистки, подробно объясняется проблема или задание, причем объяснение повторяется до тех пор, пока все не поймут задачу до конца. Рекомендуются, чтобы члены синектической группы (кроме ее руководителя) перед началом работы не знали сути рассматриваемой проблемы, что позволяет им абстрагироваться от привычного стереотипа мышления.

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, например, 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 произво-



дит 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 синектический метод опирается на тот факт, что умственная деятельность более продуктивна в новой или незнакомой человеку обстановке. Ситуация, аналогичная заданной, быстро отвлекает человека от конкретных условий исследуемой задачи (с традиционным подходом к решению) и требует от него рассмотрения другой задачи, связанной с данной. Таким образом, знакомая ситуация превращается в незнакомую. Если, например, в группе рассматривается новая система для уборки снега, то полезно параллельно обсудить перемещение грунта и уборку опавшей листвы. Исследуя возможные подходы к проектированию административного здания, полезно обсудить устройство пчелиного улья. Обсуждение новых методов подрезки газонов может принять форму детального анализа косовицы и прополки.

В этом методе основными являются биологические и анатомические аналогии, то есть задействуются те отделы нервной системы, которые управляют движениями тела и, как правило, не контролируются сознанием. Манипулирование образами движений тела составляет основу тех профессиональных навыков, которые связаны с выполнением быстрых движений, и одаренные люди способны использовать эту систему образов в качестве общего языка для всех видов творческой деятельности.

Если это утверждение верно, то перспективы объективирования мышления при проектировании, по-видимому, будут зависеть от того, удастся ли найти групповой язык, на котором можно было бы быстро отображать и изменять общие формы, а не только детали задач и их решений.

Одна из важнейших частей синектической процедуры — выяснение того, как участники представляют себе обсужда-

емую проблему. Для этого они, включая эксперта, предлагают свои варианты ее определения. Руководитель записывает их на доске. В дальнейшем руководитель задает наводящие вопросы, вызывающие ассоциации и аналогии.

### **3.3. Эвристический поиск технических решений**

*Эвристический поиск* базируется на эвристике — науке о творческом мышлении и психологии творчества. Эвристический поиск часто приводит к решениям с элементами абсолютной новизны, то есть к изобретениям. Методы эвристического поиска чрезвычайно разнообразны. В настоящее время отсутствует их строгая классификация. Наиболее отчетливым признаком того или иного метода является наличие или отсутствие алгоритма, организующего мыслительный процесс. По этому признаку можно условно выделить два класса методов: 1) методы *ненаправленного* (малоупорядоченного) *поиска* и 2) методы *направленного* (упорядоченного) *поиска*.

Методы направленного поиска технических решений более эффективны, чем первые. В их основе лежит научно обоснованный алгоритм творческого процесса, включающий этапы, подэтапы, шаги и процедуры. На одних этапах поле поиска расширяется, на других, наоборот, сужается исходя из четко поставленной цели. Алгоритм творческого процесса реализуется путем выполнения следующих друг за другом рекомендаций-предписаний, которые носят не случайный, а намеренный (сообразно ходу решения задачи) характер. Здесь синтезу решения предшествуют операции анализа задачи, позволяющие расчленивть проблему на частные, более простые задачи. Указанный алгоритм не имеет жесткой структуры. На отдельных этапах могут быть возвраты, повторения «мыслительных проб», попытки решить задачу то одним, то другим приемом. Но общую направленность поиску придает четкая постановка задачи и выяснения ее сущности.

*Эвристический прием* представляет собой обобщенное типовое техническое решение, которое не является подробно опи-

санным компонентом технической системы, а содержит только идею изменения прототипа. Впервые эвристические приемы разрабатывались известным изобретателем Г. С. Альтшуллером еще в 50-х годах. В приложении 14 приводится несколько сокращенный общепромышленный фонд эвристических приемов А. И. Половинкина, в который добавлены приемы из фонда Г. С. Альтшуллера. Он содержит 12 групп, объединяющих эвристические приемы по характеру способа решения задачи. Краткая характеристика обобщенного межотраслевого фонда эвристических приемов дана в таблице 3.2.

Таблица 3.2

*Характеристика эвристических приемов*

№ группы	Наименование группы эвристических приемов	Число приемов
1	Количественные изменения	9
2	Преобразование формы системы или ее компонентов	11
3	Преобразования в пространстве	11
4	Преобразования во времени	8
5	Преобразования движения и силы	18
6	Преобразование материала системы или ее компонентов	17
7	Преобразование конфигурации (структуры)	16
8	Приемы дифференциации и интеграции	8
9	Использование профилактических мер	8
10	Использование резервов	9
11	Преобразование по аналогии	8
12	Комбинирование	
Итого		140

Недостатками приведенного фонда эвристических приемов являются его громоздкость (он объединяет сто сорок приемов) и отсутствие связи между требуемой функцией, недостатком или техническим противоречием и приемом, который позволяет решить задачу. Получается слишком широкое поле для выбора. Для устранения этих недостатков Г. С. Альтшуллером разработана таблица выбора приемов



для устранения технических противоречий. Таблица имеет два входа:

- 1) что нужно изменить по условиям задачи;
- 2) что ухудшается при изменении.

На пересечении соответствующих строки и столбца в таблице записаны номера эвристических приемов, с помощью которых можно устранить противоречие.

Например, необходимо повысить скорость резания при точении, чтобы повысить производительность процесса. Но при этом увеличивается скорость изнашивания режущей части резца, то есть потери вещества. Чтобы при увеличении скорости резания скорость изнашивания инструмента оставалась прежней или даже уменьшилась, таблица предлагает применить один из следующих эвристических приемов:

- 1) заранее выполнить требуемое действие;
- 2) вместо действия, диктуемого условиями задачи, выполнить обратное действие;
- 3) сделать неподвижную часть объекта или внешней среды движущейся;
- 4) использовать электрические, магнитные и электромагнитные поля для взаимодействия с объектом;
- 5) перейти от неподвижных полей к движущимся;
- 6) применить сильные окислители (воздух с кислородом или с озонированным кислородом).

Из указанных приемов для разработки изобретений были использованы третий и четвертый. Замена неподвижных относительно корпуса режущих элементов резцов и торцевых фрез вращающимися (самовращающимися) позволила разработать целую гамму инструментов для ротационной обработки резанием. Пример схемы работы такого резца приведен на рисунке 3.1а, б. Чашечная режущая пластина вращается сходящей стружкой и благодаря кратковременности нахождения ее рабочей части в зоне резания не успевает на-

греться до высокой температуры, вызывающей повышенный износ, что позволяет в несколько раз повысить скорость резания и, следовательно, производительность.

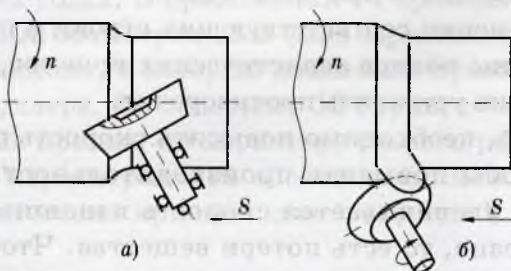


Рис. 3.1. Схемы ротационного точения:

а — прямого; б — обратного

Четвертый прием можно было применить при разработке метода обработки резанием плохо обрабатываемых твердых материалов. Для повышения обрабатываемости разработан комбинированный метод точения, при котором срезаемый слой подогревался электрическим током или плазмой. Экспериментально установлено, что шлифование в среде кислорода существенно повышает обрабатываемость нержавеющей стали, которая в обычных условиях шлифуется очень плохо. Последнее замечание относится к шестому эвристическому приему. Однако часто бывают ситуации, когда попытка использовать подсказки с помощью таблицы Г. С. Альтшуллера не дает результатов.

В. И. Голдовский и М. Н. Вайнерман предлагают набор эвристических приемов, направленных на ликвидацию некоторых обнаруженных нежелательных эффектов (прил. 15), что так же, как и таблица выбора приемов преодоления технических противоречий Г. С. Альтшуллера несколько увеличивает направленность поиска. В таблице 3.3 приведена краткая характеристика фонда эвристических приемов для решения некоторых типовых задач.

Таблица 3.3

**Характеристика фонда эвристических приемов для решения типовых задач**

№ группы	Виды типовых изобретательских задач	Количество приемов
1.....	Устранение (предотвращение) вредных воздействий или вредных последствий воздействия (причем источник вредного воздействия заменить нельзя)	5
2.....	Преодоление ограничений на ресурсы	7
2.1...	Общие принципы	
2.2...	Особенности для ресурсов разного вида:	
2.2.1	для пространства	
2.2.2	для времени	
2.2.3	для вещества	3
2.2.4	для энергии	7
3.....	Преодоление ограничений на управляемость (изменяемость, достижение оптимального режима)	6
4.....	Преодоление ограничений (запретов) на введение добавок в вещество	7
Итого		46

Для сокращения объема перебираемых эвристических приемов лучше сформировать персональный фонд эвристических приемов. В этот фонд из общеотраслевого отбираются наиболее подходящие для проектировщика приемы. Выбор определяется спецификой предполагаемых для решения задач, приверженностью определенным приемам и предыдущей подготовки. Для каждого эвристического приема персонального фонда необходимо подобрать несколько примеров использования из своей области или функционально близких областей. Эти примеры могут использоваться как готовое или полуготовое решение.

### 3.4. Принципы поиска новых технических решений

Основные группы эвристических приемов поиска нового технического решения были систематизированы Р. П. Повилейко. Весь массив эвристических приемов удалось све-



сти к 10 основным принципам: *неология* (перенос), *адаптация*, *мультипликация*, *дифференциация*, *интеграция*, *инверсия*, *импульсация*, *динамизация*, *аналогия*, *идеализация*. Эвристические приемы каждого из принципов предназначены для улучшения следующих показателей: *геометрических*, *физико-механических*, *энергетических*, *конструкционно-технологических*, *художественно-конструкторских*, *надежности*, *эксплуатационных*, *экономических*, *удобства обслуживания*.

**Принцип неологии** (от латинского — знание нового, новизна) — это использование (заимствование) разработчиком процессов, конструкций, форм, материалов и так далее, технических систем, новых для данной отрасли техники или новых вообще. Предполагается, что запланированная вне данной отрасли техническая система уже создана, успешно используется (хотя, может быть, и для совершенно иных целей) и надо только ее разыскать и проверить в данных условиях, не изменяя и не приспособливая ее. Ясно, что принцип неологии требует от проектанта широкой инженерной культуры, незаурядной общетехнической и общенаучной эрудиции, хорошей информированности. Не случайно в ряде отраслей техники, по данным Р. П. Повилейко, до 80 % конструкторских разработок по новой технике невозможно патентовать, так как предмет этих разработок был кем-то когда-то изобретен, спроектирован, создан. Вот почему использование принципа неологии сулит высокий экономический эффект.

Перенос технической системы в новую область использования, как правило, смещает или изменяет первоначально заложенные в техническое решение функции. В одних случаях исходная система оказывается полностью функционально и экономически пригодной к новым условиям работы, в других — лишь частично. Но и в исходном, неизменном виде ее применение оказывается нередко экономически оправданным: не случайно столь широкое распространение во всех отраслях техники получили так называемые комплектующие изделия. Общеизвестно, как много дает самым разным, казалось бы, отраслям техники аппаратура для исследования космоса, авиации и др.

Чаще всего употребляется заимствование, копирование, сохранение чуждых новой функции форм (например, коробка передач старого автомобиля с новым мощным мотором). В основном используются новые материалы и их свойства. Используются также новые виды энергии в традиционных целях и старые источники энергии по-новому (электромобили, паровые автомобили). Для станкостроения, например, это замена механических систем электрическими, оптическими, акустическими, пневматическими, внедрение программного управления.

**Принцип адаптации** (от латинского — прилаживание, приурочивание) заключается в приспособлении разработчиком известных процессов, конструкций, форм, материалов и их свойств для конкретных условий. Например, древним финикийским амфорам, чтобы лучше закрепить их в деревянные стойки на судах, стали придавать заостренную коническую форму. Исходная система, оставаясь в целом прежней, лишь слегка видоизменяется, количественные характеристики изменяются не более чем вдвое.

К принципу адаптации относятся следующие приемы: изменение традиционных параметров системы (конструкции или технологического процесса); модификация, переделка системы с тем, чтобы приспособить ее к иным условиям работы, не затрагивая основной функциональной схемы; защита системы (например, для работы в сложных климатических условиях, с различными химически агрессивными агентами); изменение условий работы, характеристик внешней среды или системы, соприкасающиеся с данной; приспособление технического объекта к человеку.

Для некоторых фирм, трестов, концернов и даже целых стран принципы неологии и адаптации стали основой, на которой быстрыми темпами развивался промышленный потенциал. Используются все дозволенные и недозволенные приемы, включая массовую закупку патентов и промышленный шпионаж, который возник тогда же, когда появилась техника.

**Принцип мультипликации** (от латинского — умножение) заключается в умножении функций и деталей систе-

мы, причем они остаются подобными друг другу, однотипными. К мультипликации относятся не только приемы, связанные с увеличением характеристик (гиперболизация), но и с их уменьшением (миниатюризация); в любом случае мультипликация характеризует изменение параметров систем в два раза и более.

**Принцип дифференциации** (от латинского — различие) заключается в разделении функций и элементов системы: ослабляются функциональные связи между элементами, повышается степень их свободы, этапы производства, конструкции и рабочие процессы разносятся в пространстве и во времени.

Чаще всего производится дробление формы различными приемами. Например, отказываются от замкнутых объемных и переходят к формам открытым, разделяют системы на объемную и необъемную части и выносят одну из частей за пределы ограничивающей зоны (телевизор с дистанционным управлением).

Чаще всего оперируют с массой системы и со свойствами применяемых материалов и рабочих процессов. Например, разделяют систему на две части — «тяжелую» и «легкую», передвигают только часть системы. Или удаляют части, ставшие лишними после разделения (железобетонные шпалы из двух половинок, связанных стальной трубой, двутавр). Или составляют систему из заведомо неравнопрочных элементов, создают «местное качество» (пластмассовые крышки, армированные проволокой). Или дробят технологический процесс на ряд ступеней; выделяют единственно нужное качество.

Принцип может быть проиллюстрирован разделением:

1) движущегося потока на два или несколько потоков (энергии воды, информации и др.);

2) системы на части, соединенными гибкими связями (высокоэффективные на небольших речках гиляндрные продольные и поперечные гидротурбинные установки);

3) системы на части с тем, чтобы приблизить каждый из разделенных элементов к рабочему месту (автомобиль, каждое колесо которого имеет тяговый электродвигатель).



Приемы целиком построены на методах секционирования и агрегатирования. Если при проектировании бытовой аппаратуры, транспорта и другие методы агрегатирования и унификации рассматриваются разработчиком как облегчающие производство самих этих устройств, то при проектировании станков, оборудования те же методы трактуются прежде всего в плане облегчения производства других изделий. Вот почему методы агрегатирования в приложении к технологическому металлообрабатывающему оборудованию следует отнести к принципам интеграции. В приложении ко всем остальным конструкциям, машинам и механизмам (транспорт, радиоаппаратура и пр.) их относят к способам дифференциации.

Возможно также отделение мешающей части, мешающего свойства, локализация «вредного» элемента системы, например защита при облучении рентгеновскими лучами всех частей тела, кроме просвечиваемых; различные мероприятия по звукоизоляции, шумозащите, взрывобезопасности (шахтерская лампа Гемфри Дэви, в которой пламя изолировано от внешней среды сетчатым цилиндром из медной проволоки).

**Принцип интеграции** (от латинского — цельный) заключается в объединении, совмещении, сокращении и упрощении функций и форм элементов и системы в целом. Сближаются элементы производства, конструкции и рабочие процессы в пространстве и времени. Принцип интеграции обычно противопоставляют принципу дифференциации, но они имеют много общего. Например, экранирование, изоляция, локализация части системы относятся к дифференциации. Те же приемы экранирования, изоляции, локализации, отнесенные к системе в целом, характеризуют уже противоположный принцип.

Формы интеграции могут быть различны, диапазон приемов широк — от простейшего механического соединения, сплетения, скрепления, смешивания (А. Нобель изобрел динамит, смешав жидкий нитроглицерин с пористым пироксилином), встраивания, сплавления до высших форм сращения, симбиоза технических систем с живыми организмами. Система может объединять два, три, четыре и более исходных элементов

в различных комбинациях — старое со старым, старое с новым, новое с новым.

**Принцип инверсии** (от латинского — переворачивание, перевертывание, перестановка) состоит в обращении функции, формы и расположения элементов и системы в целом. Принцип этот труден в использовании, он требует от исполнителя незаурядного творческого остроумия, но весьма, эффективен. Этот принцип включает в себя следующие действия и приемы:

- 1) обращение, «выворачивание» формы наизнанку, отказ от традиционной формы (некруглые валы);
- 2) отказ от требуемой, казалось бы, и наращиваемой твердости и жесткости (гибкий тонкий вал паровой турбины взамен утолщенного);
- 3) преобразование одних физических величин в другие (телефон, радио, электроизмерительная аппаратура), выполнение конструкций прозрачными и т. д.;
- 4) поглощение энергии.

Конструкция переворачивается вверх ногами, выворачивается наизнанку (швейцарский токарный станок, в котором направляющие расположены не ниже, а выше обрабатываемой детали, что облегчает отвод стружки). Движущиеся элементы конструкции оказываются неподвижными, и наоборот (аэродинамическая труба, где движется не самолет, а воздух; роликовые стенды для обкатки на месте велосипедов, машин, гусеничных повозок).

Известны случаи, когда «дорогая» долговечность заменяется «дешевой» недолговечностью. Объект изменяется так, чтобы он использовался разово — одноразовые шприцы, посуда, упаковка для молочных продуктов, соков, бумажные салфетки т. д.

Перечислим еще ряд приемов инверсии:

- 5) изменение направления движения на противоположное;
- 6) обращение вреда в пользу (использование вредных факторов, отходов вещества и энергии для получения дополнительного положительного эффекта), обратная связь;

- 7) применение заведомо неудобного инструмента (резиновые шипы на особо ответственных ручках заставят приостановиться и задуматься оператора перед управляющим действием), заведомо неудобной мебели (твердые стулья сокращают время заседаний на 30...40 %);
- 8) «клин клином» (устранение вредного фактора за счет сложения с другим вредным фактором — глушение шума шумом, сдвинутым по фазе);
- 9) «перегибание палки» (усиление вредного фактора до такой степени, чтобы он перестал быть вредным, — шум ультразвука), допущение того, что считается недопустимым.

Последние два приема могут быть эффективно использованы и для инверсии ряда вышеперечисленных групп показателей.

**Принцип импульсации** (от латинского — толчок, побуждение к чему-либо, стремление, возбуждение) охватывает группу конструкторско-изобретательских методов и приемов, связанных с прерывностью протекающих процессов. Импульс может повторяться периодически, аperiodически, но может быть и единичным. Например, импульсно нарастает скорость протекания действия, и в результате вредные силы или опасные стадии процесса преодолеваются на большой скорости (прием проскока). Выявляются во времени с разной периодичностью разные группы показателей.

Исчезает, выпадает из процесса форма, объем, чтобы затем снова восстановиться, как это и бывает, например, с различными надувными конструкциями. Импульсами возникают или изменяются масса, усилия и другие характеристики материалов (ловушки для зверей, срабатывающие под действием массы животных; различные торговые автоматы определяют массу забрасываемых монет; закрепление деталей при шлифовании с помощью электромагнитов или вмораживанием в лед; различные виды дискретного уравнивания и взвешивания тел).



Примеры импульсации:

1) ручной домкрат, шагомер, последовательное включение в работу ступеней ракетносителя, выводящего на орбиту спутник, взрывные работы, стрельба;

2) подъем и опускание кузовов в грузовиках-самосвалах; отброс отработанных ступеней ракеты, различные испытательные вибростенды;

3) использование резиновых матов и пружин для смягчения ударов, различные буферные устройства в поездах и автомобилях, гидродемпфирование колебаний;

4) складная мебель, приспособления для открытия и закрытия дверей железнодорожных и трамвайных вагонов; действие бумеранга, различные виды возвратно-поступательных движений (строгальные и долбежные станки);

5) катапультирование летчика (необходимость в учете человеческого фактора существует не все время, а периодами, когда у системы появляется обслуживающий персонал).

*Принцип динамизации* предполагает, что характеристики, параметры всей системы или ее элементов должны быть изменяющимися и оптимальными на каждом этапе процесса или на новом режиме. Изменения должны происходить постоянно, плавно и не быть ступенчатыми или фиксированными во времени. Меняются длина, высота, площадь, объем, пропорции, форма, и все это обусловлено ростом системы или ее растворением. Меняются масса, агрегатное состояние, температура, цвет основного материала и покрытия (сигнал об изменении температуры детали). Регулируется мощность электроэнергии, подаваемой в зависимости от нужд потребителя.

Наглядно принцип динамизации демонстрируют следующие примеры:

1) функционирование пружинных, водяных и песочных часов;

2) технические системы, работоспособные и устойчивые только в движении (гироскопы, велосипеды);

3) плавающие, качающиеся конструкции переменной жесткости — оболочки, тонкие пленки;

4) «нефтяные червяки» — гибкие эластичные танкеры из синтетических материалов, плавно скользящие по бурному океану за буксиром;

5) отдыхающие, «засыпающие» системы (отключение питания монитора компьютера при ждущем режиме).

*Методы и приемы «непрерывности полезного действия»* требуют, чтобы работа велась непрерывно и все элементы системы находились все время под полной нагрузкой (конвейеры), чтобы устранялись холостые и промежуточные ходы, а прямолинейное возвратно-поступательное движение заменялось более выгодным непрерывным вращательным. К этой группе приемов относится изобретение колеса.

*Принцип аналогии* (от греческого — соответствие) реализуется отысканием и использованием сходства, подобия систем (предметов и явлений), в целом различных. Принцип аналогии может быть представлен следующим образом. Если явления *A* и *B* обладают некоторыми свойствами *a*, *b*, *c*, *d* и известно, что явление *A*, кроме того, обладает еще и свойством *e*, то можно сделать вывод, что и явление *B* может обладать тем же свойством. Основанием для такого вывода является положение о том, что свойства любого материального объекта или явления существуют не изолированно друг от друга, а находятся во взаимосвязи и взаимозависимости. При этом изменение одного признака или свойства обычно сказывается и на других его признаках и свойствах.

*Механизмы и принципы живой природы* копировались и использовались в технике издавна. Например:

1) башни из металлоконструкций, повторяющие структуру волокон берцовой кости;

2) самозатачивающиеся многослойные резцы (прообраз — зубы и когти кошки, в которых твердость слоев возрастает с глубиной);

3) покрытие корпусов подводных лодок, аналогичное структуре кожи дельфина;

4) сотовые сварные панели, в два-три раза снизившие вес несущих конструкций;

5) лепестковые покрытия крупных сооружений (стадионов).

**Идеализация** — это представление идеального решения, от которого следует отталкиваться. Отказ от абсолютно полного решения задачи для данной системы делает ее решение менее трудным (глобус в виде легковыполняемого двадцатигранника, который к тому же может быть развернут в плоскую географическую карту).

Примеры использования принципов идеализации:

1) алмазные фильеры для вытягивания тончайшей проволоки;

2) хирургический инструмент для операций на глазном яблоке и даже для препарирования клеток;

3) сабля, полученная увеличением размеров ножа, вилка — уменьшением хозяйственных вилок и т. д.

Любой переход от модели к реальной конструкции и обратно может быть отнесен к мультипликации. «Возвеличение» технического объекта до предельно возможных размеров (что характеризует приближающееся вырождение конструкции) дало огромное количество новых технических устройств — гигантские экскаваторы, турбины, самосвалы, огромные прессы и станки, прокатные станы, воздушные и морские лайнеры, дирижабли-цеппелины.

### 3.5. Техническое и физическое противоречия

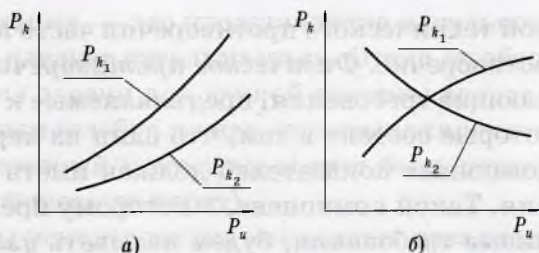
**Техническое противоречие** возникает в тех случаях, когда некоторое улучшение одних показателей качества системы (появление положительного эффекта ПЭ) приводит к ухудшению других (появление нежелательного эффекта НЭ). Оно возникает почти всегда при попытках как-то улучшить систему, но существенно обостряется, когда НЭ приближается к допустимой границе или превышает ее. Например, при попытке увеличить скорость, производительность или степень автоматизации ухудшается точность, удобство эксплуатации и увеличиваются затраты на изготовление технической системы.



Причиной технического противоречия часто является физическое противоречие. *Физическое противоречие* — это взаимоисключающие требования, предъявляемые к компоненту системы, которые состоят в том, что один из характеризующих этот компонент показателей должен иметь два различных значения. Такой компонент, к которому предъявляются противоречивые требования, будем называть *узловым компонентом* ( $Ук$ ), а характеризующий его показатель — *узловым показателем* ( $Пу$ ). Физические противоречия присущи только работоспособным системам.

Например, любой универсальный металлорежущий станок характеризуется такими показателями, как максимальный размер обрабатываемой детали ( $L_m$ ) и стоимость ( $C$ ). Первый из этих показателей является положительным, а второй — отрицательным, причем оба они прямо пропорциональны характерному размеру рабочей зоны станка ( $L_z$ ). Физическое противоречие в данном случае можно сформулировать следующим образом: *«характерный размер рабочей зоны станка должен быть как можно больше, что позволит увеличить максимальный размер обрабатываемой детали; характерный размер рабочей зоны должен быть как можно меньше, что позволит уменьшить стоимость станка»*. Из данного примера следует, что физическое противоречие возникает в том случае, если узловой показатель оказывает влияние, по крайней мере, на два критерия предпочтения (показателя качества  $Пк$ ) системы. При этом возможны следующие отношения:

- 1) оба показателя качества положительны;
- 2) оба показателя качества отрицательны;
- 3) один показатель качества положителен, а второй показатель качества отрицателен;
- 4) оба показателя качества увеличиваются (уменьшаются) при увеличении узлового показателя (рис. 3.2а);
- 5) один показатель качества увеличивается, а другой уменьшается при увеличении узлового показателя (рис. 3.2б).



**Рис. 3.2. Варианты зависимости количественных показателей качества ( $P_k$ ) от узлового показателя ( $P_u$ ):**

- a* — одинаковое реагирование обоих показателей при увеличении  $P_u$ ;  
*б* — противоположное реагирование показателей на увеличение  $P_u$

*Физическое противоречие* (ФП) имеет место, когда:

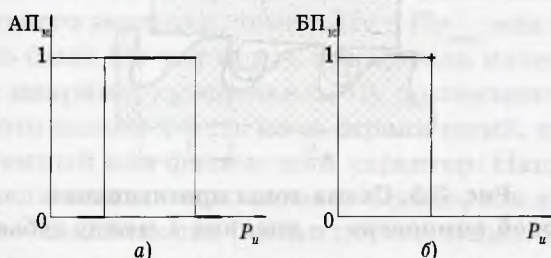
- 1) оба показателя качества имеют одинаковый знак, а характер влияния узлового показателя на каждый из них различен;
- 2) показатели качества имеют разные знаки, а характер влияния узлового показателя на них одинаков.

Критерии предпочтения могут быть качественными и показывать на наличие (критерий приравнивается к 1) или отсутствие (критерий приравнивается к 0) какого либо свойства, компонента или функции. Они также могут быть положительными и их следует обеспечить, добиться, создать и так далее, или отрицательными, которых нужно избежать, от которых отказаться, без которых обойтись. По характеру зависимости от  $P_u$  различают два вида качественных показателей АПК и БПК (рис. 3.3). Узловой показатель может оказывать влияние на один количественный и один качественный критерии предпочтения либо на два качественных.

Физическое противоречие также имеет место, если узловой показатель влияет на:

- 1) количественный (любого знака) и качественный показатель типа БПК;
- 2) количественный показатель и качественный показатель типа АПК противоположных знаков;
- 3) качественные показатели типа АПК разных знаков;

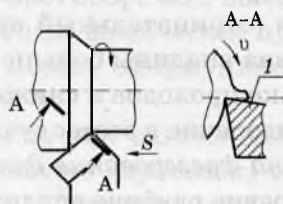
- 4) качественные показатели типа БПК;
- 5) качественные показатели разных типов.



**Рис. 3.3. Варианты зависимости качественных показателей от узлового показателя  $P_u$ :**

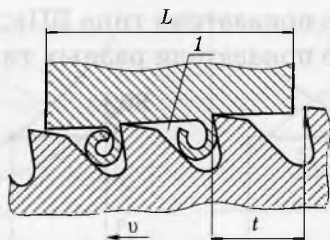
*a* — АПК; *б* — БПК

На рисунке 3.4 показана схема точения, где узловым компонентом является режущий клин. Узловым показателем в этом случае будет скорость резания, а количественными показателями качества технической системы, на которые влияет узловой показатель, — производительность процесса точения (положительный показатель) и затраты на эксплуатацию резца, связанные с его изнашиванием (отрицательный показатель). Оба показателя качества увеличиваются с увеличением скорости резания. Следовательно, в этом случае есть физическое противоречие. Аналогичная ситуация имеет место при протягивании (рис. 3.5), когда узловым компонентом будет впадина между зубьями протяжки, где должна размещаться стружка, а узловым показателем — шаг  $t$ . Этот показатель определяет максимальную длину заготовки, которую можно обработать данной протяжкой, и стоимость протяжки.



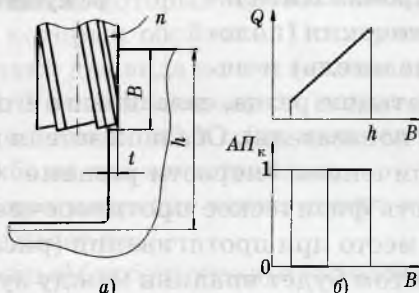
**Рис. 3.4. Схема точения (узловой компонент — режущий клин I)**





**Рис. 3.5. Схема зоны протягиваний**  
(узловой компонент — впадина 1 между зубьями)

На рисунке 3.6а, б показана схема фрезерования впадины на фрезерном станке с ЧПУ. Узловым компонентом Ук в этом случае будет режущая кромка фрезы, а узловым показателем Пу — ширина фрезерования  $B$ . Если  $B$  будет больше некоторого критического значения  $B_k$ , возникают автоколебания (отрицательный качественный показатель типа АПк). Глубина впадины больше чем  $B_k$ , что требует обработки за несколько проходов и снижает производительность. Физическое противоречие в этом случае имеет следующую формулировку: *ширина фрезерования должна быть как можно больше (в пределе равна глубине впадины), что позволит повысить производительность; ширина фрезерования должна быть меньше критической, что позволит предотвратить автоколебания.*



**Рис. 3.6. Многопроходное фрезерование впадины:**

*а — схема обработки; б — зависимости интенсивности удаления материала  $Q$  ( $\text{мм}^3/\text{с}$ ) и качественного показателя АПк от ширины фрезерования  $B$*

В некоторых случаях у узлового компонента системы узловой показатель не может превышать или стать меньше какого либо предельного значения, то есть  $\text{Пу} \leq \text{Пу}_{\max}$  или  $\text{Пу} \geq \text{Пу}_{\min}$ . Хотя можно было бы улучшить показатель качества системы за счет, например, увеличения  $\text{Пу}$  до значений больших  $\text{Пу}_{\max}$ , но этого нельзя делать из-за ограничений, которые носят надсистемный или физический характер. Например, желательнее увеличивать число вагонов поезда, так как это увеличивает его вместимость (число перевозимых за один раз пассажиров) и, следовательно, удешевить перевозки. Однако ограничением для числа вагонов служит длина платформ на станциях. Таким образом, в данной задаче узловой показатель (число вагонов поезда) влияет только на один показатель качества — эффективность перевозок. Чтобы в таких задачах сформулировать техническое противоречие, вводится показатель реализуемости системы. Тогда физическое противоречие для приведенного примера можно сформулировать следующим образом.

*Число вагонов поезда должно быть как можно больше, что позволит повысить эффективность перевозок; число вагонов поезда должно быть не более  $N$  (фиксированное число), что позволит обеспечить его эксплуатацию при существующей длине платформ.*

*Таким образом, для выявления физического противоречия необходимо выявить узловой компонент системы и соответствующий ему узловой показатель, оказывающий влияние, по крайней мере, на два критерия предпочтения, и в соответствии с приведенными ранее условиями наличия физического противоречия определить его наличие или отсутствие. Узловой компонент обычно связан с выявленными недостатками.*

Выявить физическое противоречие можно также путем построения причинно-следственной цепочки, которая начинается с формулировки недостатка (нежелательного эффекта). Каждое из звеньев этой цепочки (начиная со второго и включая последнее) получается как ответ на вопрос «Почему?» ,

адресованный предыдущему звену. Для выявления физического противоречия последнее звено должно отвечать на вопросы «Для чего?», «Зачем?», отражая положительный эффект.

Например, при отрезании детали от групповой заготовки (рис. 3.7) последняя отламывается преимущественно в сечении А-А, что является нежелательным эффектом, так как для удаления остатка необходимо выполнять дополнительную операцию, повышающую трудоемкость изготовления детали. Почему деталь в конце отрезания отламывается именно в сечении А-А? Это происходит под действием моментов сил резания  $P_y$  и  $P_z$ , а также распирающей силы  $P_x$ . А в сечении В-В, где отламывание желательно, действует только момент от распирающей силы  $P_x$ . Так как диаметр остатка в обоих сечениях одинаков, то отламывание происходит в сечении А-А.

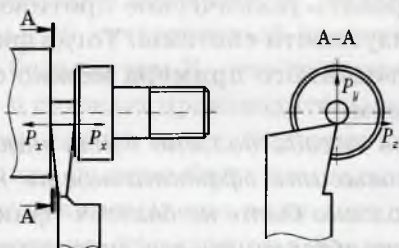


Рис. 3.7. Схема отрезания детали от групповой заготовки

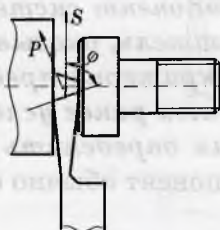


Рис. 3.8. Схема отрезания детали от групповой заготовки резцом с углом в плане  $\varphi < 90^\circ$

Для того, чтобы ослабить остаток в сечении В-В, применяют резец с углом в плане  $\varphi$ , меньшим  $90^\circ$  (рис. 3.8). Кроме того, стружка направляется на торец отрезаемой детали, создавая дополнительный отламывающий момент в нужном сечении. Но изменение направления силы резания повышает вероятность поломки отрезного резца, так как нарушается симметрия его нагружения в опасном направлении.



Таким образом, можно сформулировать следующее физическое противоречие: угол в плане отрезного резца должен быть равен  $90^\circ$ , что позволит обеспечить условие его устойчивости (понижения вероятности поломки); угол в плане отрезного резца должен быть меньше  $90^\circ$ , что позволит устранить дополнительную операцию по удалению остатка.

### 3.6. Методы разрешения физических противоречий

Физическое противоречие можно разрешить путем замены узлового компонента компонентом с парными свойствами или за счет изменения условий, в которых он функционирует. Компонент с парными свойствами обладает хотя бы двумя однотипными свойствами, которые могут проявиться только в определенных условиях. Например, твердое тело, высотой и шириной которого можно пренебречь, характеризуется двумя линейными размерами  $L_1$  и  $L_2$  при условии, что: форма его — спираль (кольцо),

1.  $L_1$  — длина спирали (длина окружности кольца),
2.  $L_2$  — габаритный размер спирали (диаметр кольца).

Или — компонент характеризуется двумя линейными скоростями  $V_1$  и  $V_2$  при условии, что: компонент — пружинный маятник,

1.  $V_1$  — линейная скорость груза маятника,
2.  $V_2$  — линейная скорость элементов крепления пружины.

Массив компонентов с парными свойствами состоит из компонентов шести классов. К первому классу относятся компоненты, состоящие из одного элемента (0), который характеризуется двумя однотипными свойствами ( $C_1, C_2$ ). Ко второму классу относятся компоненты, состоящие из одного элемента, который характеризуется одним свойством, изменяющимся в зависимости от пространственной координаты

$X$  ( $C1 = f(X)$ ). К третьему классу относятся компоненты, состоящие из одного элемента, который характеризуется свойством, изменяющимся во времени  $t$  ( $C1 = f(t)$ ).

К четвертому классу относятся компоненты, состоящие из двух элементов ( $O1, O2$ ), которые характеризуются однотипными свойствами (соответственно  $C1$  и  $C2$ ). К пятому классу относятся компоненты, состоящие из двух, находящихся во временном отношении элементов, которые характеризуются однотипными свойствами. К шестому классу относится любая система, которая характеризуется тем же свойством, что и ее элемент. Некоторые примеры компонентов с парными свойствами приведены в приложении 16.

Для устранения физических противоречий предлагаются 14 эвристических приемов, каждый из которых представляет собой предписание или указание, как преобразовать имеющееся техническое решение или в каком направлении искать, чтобы решить поставленную задачу.

Следует различать *два вида решений: принципиальное и техническое*. Второе получается из первого за счет конкретизации значений ряда показателей компонента с парными свойствами, включенного в состав исходной системы, или за счет уточнения степени изменения условий функционирования узлового компонента.

В каждом эвристическом приеме используется компонент с парными свойствами определенного класса (табл. 3.4).

Приемы устранения физических противоречий в приводимом ниже перечне расположены не случайным образом, а в соответствии со следующим правилом: «чем меньше номер приема, тем выше вероятность с его помощью устранить физическое противоречие. Во-вторых, в тех приемах, которые направлены на замену узлового компонента (1...4; 7...10; 13) или изменение уровня его рассмотрения (14), неявно предполагается, что условия, в которых находятся данный и новый компонент, совпадают.

Таблица 3.4

*Зависимость класса компонента с парными свойствами от номера эвристического приема*

Номер приема	4, 10, 13	2, 5	6, 7	1, 12	8, 11	3, 9, 14
Класс компонента	1	2	3	4	5	6

**Прием 1.** Заменить узловой компонент компонентом четвертого класса, состоящим из двух элементов, каждый из которых характеризуется одним из значений показателя качества, указанного в формуле физического противоречия.

Например, известна силовая конструкция, изготовленная из коррозионно-стойкого материала и работающая в агрессивной среде. Она характеризуется такими показателями, как длительность эксплуатации и стоимость. Если принять в качестве узлового компонента силовую конструкцию, а в качестве узлового показателя — тип материала, из которого она изготовлена, то можно сформулировать следующее физическое противоречие.

*Силовая конструкция должна быть изготовлена из материала типа К (коррозионно-стойкий), что позволит увеличить длительность ее эксплуатации; силовая конструкция должна быть изготовлена из материала типа Д (некоррозионно-стойкий), что позволит уменьшить ее стоимость.*

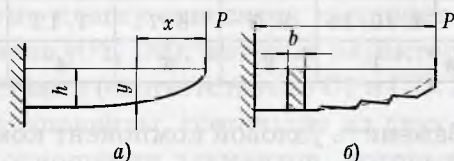
**Принципиальное решение.** Заменить силовую конструкцию, изготовленную из коррозионно-стойкого материала, на конструкцию, изготовленную из «дешевой» стали, но имеющую коррозионно-стойкое покрытие.

**Прием 2.** Заменить узловой компонент компонентом второго класса, различные части которого имеют различные значения показателя качества, указанного в формуле физического противоречия.

В качестве примера можно привести решение, показанное на рисунке 3.9а, б. Это решение позволяет устранить следующее физическое противоречие: «Площадь поперечного сечения



балки должна быть равна  $S$ , что позволит обеспечить передачу нагрузки  $F$ ; площадь поперечного сечения балки должна быть как можно меньше, что позволит уменьшить ее массу».

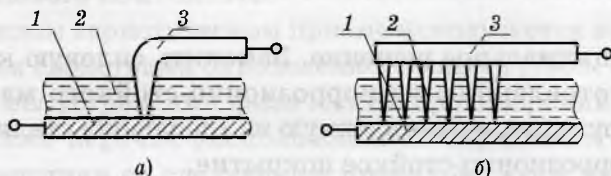


**Рис. 3.9. Схемы балки с оптимальной продольной формой (разрешение физического противоречия):**

*a* — гиперболической; *б* — ступенчатой

**Прием 3.** Заменить узловой компонент компонентом шестого класса, состоящим из множества одинаковых элементов, каждый из которых характеризуется одним значением показателя качества, указанного в формуле физического противоречия, а компонент в целом — другим значением.

Например, для подвода электрического тока к металлической пластине 1 через диэлектрическую среду 2 используется электрошина 3, часть которой выполнена в виде иглы (рис. 3.10а). Эта система характеризуется такими показателями, как сила тока, протекающего по электрошине, и степень повреждения диэлектрической ткани.



**Рис. 3.10. Схемы исходного (а) и производного (б) технических решений, полученных разрешением ФПр при помощи приема 3:**

1 — металлическая пластина; 2 — диэлектрическая среда;  
3 — электрошина

Если взять в качестве узлового компонента электрошину, а в качестве узлового показателя — площадь контакта иглы

электрошины с пластиной, то можно сформулировать следующее техническое противоречие.

*«Площадь контакта должна быть как можно больше, что позволит увеличить силу тока, проходящего по шине; площадь контакта должна быть как можно меньше, что позволит уменьшить степень повреждения диэлектрической ткани».*

**Принципиальное решение.** Заменить электрошину с одной иглой, электрошиной с множеством игл меньшего диаметра (рис. 3.10б).

**Прием 4.** Заменить узловой компонент компонентом с парными свойствами первого класса, который характеризуется двумя показателями, аналогичными узловому показателю, каждый из которых имеет одно из значений, указанных в формуле физического противоречия.

Например, примеры 1–4 из приложения 16.

**Прием 5.** Изменить условия, в которых находится узловой компонент таким образом, чтобы он превратился в компонент второго класса, у которого различные части имеют различные значения показателя, указанного в формуле физического противоречия.

Например, для поверхностной закалки необходимо, чтобы подповерхностный слой закаливаемой детали был нагрет до температуры, достаточной для структурных превращений, а внутренняя часть детали — имела значительно меньшую температуру. Такое противоречие устраняется, если изменить условия нагрева. То есть заменить нагрев в печи нагревом в высокочастотном магнитном поле и соответственно ограничить время нагрева, чтобы температура по сечению детали не успела выравняться за счет теплопроводности.

**Прием 6.** Изменить условия, в которых находится узловой компонент таким образом, чтобы он превратился в компонент с парными свойствами шестого класса; то есть в различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной системы он характеризовался различными значениями показателя, указанного в формуле физического противоречия.

К стадиям жизненного цикла относятся: изготовление, транспортировка, хранение, комплектация, функционирова-

ние, ремонт, утилизация и т. д. Например, при круглом врезном шлифовании показатель шероховатости шлифованной поверхности ( $Ra$ ) возрастает с увеличением скорости поперечной подачи ( $S$ ). Возникает физическое противоречие: «подача  $S$  должна быть достаточно большой, чтобы увеличить производительность процесса шлифования; подача  $S$  должна быть достаточно малой, чтобы обеспечить заданное значение  $Ra$ ». Для его разрешения делят рабочий цикл шлифования на четыре последовательных этапа. На первом назначается достаточно большая «врезная» скорость подачи  $S = S_{11}$ , чтобы быстро обеспечить необходимую для второго этапа шлифования упругую деформацию. На втором — достаточно большая предварительная подача  $S_1$ , чтобы быстро удалить большую часть припуска. На третьем этапе рабочего цикла включается малая чистовая подача  $S = S_2$ , чтобы уменьшить показатель шероховатости и упругую деформацию технологической системы. Четвертый этап рабочего цикла с наименьшим значением подачи  $S = S_3$  предназначен для окончательного (отделочного) шлифования с целью обеспечить заданное значение  $Ra$ .

**Прием 7.** Заменить узловой компонент компонентом третьего класса, который на различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной системы характеризуется различными значениями показателя, указанного в формуле физического противоречия.

Например, известна трансформируемая космическая антенна, состоящая из сферической полимерной оболочки, в материал которой «заделана» металлическая сетка. При выведении данной антенны в космическое пространство она свернута в рулон небольшого размера. На орбите во внутреннюю полость оболочки подается газ, в результате чего она разворачивается и приобретает сферическую форму. Затем газ удаляется и антенна готова к работе. Однако эта простая система имеет один трудно устранимый недостаток — под действием «солнечного ветра» антенна начинает менять свою орбиту.



Если принять в качестве узлового компонента оболочку, а в качестве узлового показателя — ее наличие в системе, то можно сформулировать следующее физическое противоречие: *«Оболочка должна использоваться (быть) в системе, что позволит обеспечить ее развертывание; оболочка не должна использоваться (быть) в системе, что позволит избежать воздействия на антенну «солнечного ветра».*

Принципиальное решение. Заменить оболочку, устойчивую в условиях космического пространства, на оболочку, которая разрушается в этих условиях в течение короткого времени. (Оболочка должна быть сделана из полимерной пленки, которая деполимеризуется под действием ультрафиолетовой части излучения солнца).

**Прием 8.** Заменить узловой компонент компонентом пятого класса, который претерпевает превращение (например, фазовое) в другой компонент; при этом каждый из них характеризуется одним из значений показателя, указанного в формуле физического противоречия.

В качестве конкретного примера применения данного приема можно рассматривать проводник плавкого предохранителя. Он позволяет устранить следующее техническое противоречие. *«Потребитель электрической энергии должен быть соединен с электросетью, что позволит обеспечить его функционирование; потребитель электрической энергии должен быть отсоединен от электросети, что позволит предотвратить его поломку при увеличении протекающего тока сверх норматива».*

**Прием 9.** Включить узловой компонент в состав системы, которая характеризуется одним значением показателя, указанного в формуле физического противоречия, а узловой компонент — другим значением.

**Прием 10.** Заменить узловой компонент компонентом, который характеризуется показателем, аналогичным узловому показателю, с таким значением, что его по отношению к различным внешним объектам можно было бы считать «различным».

В качестве конкретного примера применения данного приема можно рассматривать заглушку, которая является «пористой» для гелия и «сплошной» для паров натрия. Она применяется в тепловых жидкометаллических трубах космической энергетической установки.

**Прием 11.** Изменить условия, в которых находится узловый компонент таким образом, чтобы он превратился (например, за счет фазового перехода) в другой компонент, причем перед превращением он характеризовался бы одним значением показателя, указанного в формуле физического противоречия, а после превращения — другим значением.

Например, данный прием позволяет устранить следующее физическое противоречие: *«Теплоноситель должен быть жидким, что позволит перекачивать его по трубопроводу; теплоноситель должен быть твердым, что позволит предотвратить утечку при ремонте трубопровода»*. Для этого необходимо перед ремонтом соответственно изменить температуру теплоносителя. Или следующее: *«Режущая кромка резца должна быть острой, чтобы им можно было обтачивать. Режущая кромка резца должна быть тупой (скругленной достаточно большим радиусом), чтобы им можно было выглаживать»*. Для этого перед проходом выглаживания резец поворачивается на  $180^\circ$  и рабочей становится его скругленная задняя поверхность.

**Прием 12.** Изменить условия, в которых находится узловый компонент таким образом, чтобы одна из его частей претерпевала превращения (например, за счет фазового перехода) в другой объект, который характеризуется одним значением показателя, указанного в формуле физического противоречия, а оставшаяся часть узлового компонента — другим значением.

Например, для предотвращения кавитационного разрушения подводных крыльев необходимо уменьшить скорость их обтекания водой, но при этом резко падает подъемная сила крыла. Если принять в качестве узлового компонента воду, обтекающую крыло, а в качестве узлового показателя —

ее скорость относительно крыла, то можно сформулировать следующее техническое противоречие: *«Относительная скорость воды должна быть как можно больше, что позволит увеличить подъемную силу; относительная скорость должна быть как можно меньше, что позволит увеличить долговечность крыла»*.

Принципиальное решение. Изменить условия течения воды относительно крыла таким образом, чтобы тот ее слой, который непосредственно взаимодействует с крылом, имел бы низкую скорость, а остальная ее часть — высокую.

Техническое решение. Поверхность крыла охлаждается до температуры ниже 0 °С. В результате этого на поверхности крыла образуется тонкая корка льда («вода с нулевой скоростью»), которая защищает ее от кавитационного разрушения.

**Прием 13.** Изменить условия, в которых находится узловой компонент таким образом, чтобы он превратился в компонент с парными свойствами первого класса, то есть характеризовался двумя различными показателями, аналогичными узловому показателю, каждый из которых имел бы одно из значений, указанных в формуле физического противоречия.

Например, некоторые изотропные оптические тела при одноосном сжатии или растяжении приобретают свойства оптически одноосных кристаллов и в различных направлениях наблюдения имеют в проходящем свете различную окраску. Следовательно, после изменения условий нагружения они превращаются в объекты с парными свойствами.

**Прием 14.** Рассмотреть узловой компонент как систему, которая характеризуется одним значением показателя, указанного в формуле физического противоречия, а один из его элементов — другим значением.

При использовании данных эвристических приемов рекомендуется придерживаться следующих правил.

1. Если указанные в формуле физического противоречия показатели характеризуют исходную систему на различных стадиях и фазах жизненного цикла, то лучшие результаты



дает применение приемов устранения физического противоречия «во времени» — приемы 6, 7, 8, 11.

2. Если указанные в формуле физического противоречия показатели одновременно присущи исходной системе, то лучшие результаты дает применение приемов устранения физического противоречия «в пространстве» — приемы 1, 2, 5, 12.

3. Если по условиям задачи замена узлового компонента недопустима, то лучшие результаты дает применение приемов «изменения условий» — приемы 5, 6, 9, 11, 12, 13.

4. Если требования к узловому компоненту сформулированы с точки зрения различных внешних объектов или исходя из различных систем отсчета, то наилучшие результаты дает применение приемов устранения физических противоречий «в отношениях» — приемы 10, 14.

5. Если требуется получить наиболее простое решение поисковой задачи, то наилучшие результаты дает применение приемов 3, 4 и 10.

### **3.7. Эвристические методы направленного поиска**

К эвристическим методам направленного поиска относятся: алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), обобщенный эвристический метод (ОЭМ), комплексный метод поиска технических решений (КМП) и параметрический метод разрешения противоречий в технике (ПМП). Эвристический алгоритм, как это уже было сказано ранее, представляет собой строго определенную последовательность (систему) предписаний, своего рода алгоритмизированную инструкцию, указывающую, что и как должен делать человек, чтобы решить задачу. При этом, в отличие от алгоритма для ЭВМ, предписания метода являются не строго доказанными, а эвристическими. Следует отметить, что алгоритмическая форма метода не гарантирует его направленности. Так, стратегия семикратного поиска, имеющая вид эвристического алгоритма и предполагающая применение матриц  $7 \times 7$ , по механизму поиска близка к морфологическому, который является мето-

дом ненаправленного, но систематического, перебора вариантов сочетаний частных технических решений.

Заметный скачок в повышении направленности был сделан в модификации АРИЗ-77. Но, справедливо отвергая метод проб и ошибок как средство поиска решений, АРИЗ «предал анафеме» перебор вариантов вообще. АРИЗ-77 построен так, будто всегда должен получиться один вариант технического решения, предпочтительность которого гарантируется правильностью выполнения формальных правил алгоритма, отражающих в основном внутреннее функционирование технической системы. В этом случае степень направленности превысила допустимый уровень, обусловленный достигнутым проникновением в суть процесса поиска новых решений. И поэтому метод стал излишне жестким. Фактически сделана попытка распространить АРИЗ-77, хорошо решающий некоторые типы задач, на решение всех типов проектных задач. Этапы и процедуры АРИЗ-77 приведены в приложении 17.

Версия АРИЗ-85-В отличается более подробной регламентацией перехода от формулировки задачи к физическому противоречию, а также анализом и использованием ресурсов системы и ее окружения. Но логика АРИЗ-85-В предусматривает остановку при получении одного (первого) технического решения и остается излишне жесткой.

*В обобщенном эвристическом методе* выделяются два типа задач:

- 1) устранение недостатков известных ТС;
- 2) поиск принципиально новой ТС.

Но алгоритм поиска для этих типов задач одинаков. Этот метод использует шесть массивов информации, из них три общетехнические (физико-технические эффекты, эвристические приемы, методы оценки и выбора вариантов), остальные должны создаваться для каждого вида технических систем. С некоторыми сокращениями этапы и процедуры обобщенного эвристического метода инженерного творчества приведены в приложении 18.

По степени формализации процедур комплексный метод на сегодня является рациональной серединой между ОЭМ (с его низкой направленностью) и АРИЗ (с его избыточной формализацией). Состав поисковых процедур, составляющих метод, минимально необходим и достаточен для решения задач.

**Комплексный метод** использует три массива:

1) массив типовых форм разрешения противоречий; 2) массив принципов идеальности; 3) массив физических явлений и эффектов. Для его реализации нужно использовать следующие инструкции (операторы):

1) оператор анализа задачи;

2) оператор определения конечной цели решения;

3) оператор ориентирующего поиска направления решения;

4) оператор выявления противоречия в ТС;

5) оператор разрешения противоречия в ТС;

6) оператор структурно-энергетический;

7) оператор функционального синтеза подсистемы;

8) оператор построения модели задачи;

9) оператор построения модели решения;

10) оператор сравнения вариантов;

11) оператор переноса решений.

Этапы и процедуры решения задачи комплексным методом приведены в приложении 19. Из семи этапов обязательны первый, шестой и седьмой. А в зависимости от характера задачи (достройки или противоречия) используются либо этапы с индексом С, либо с индексом У. **Операторы** представляют собой подробные предписания, разъясняющие порядок выполнения отдельных процедур основной последовательности действий. Они могут также служить специальными инструментами для преобразования задачи и синтеза решения.

Комплексный метод в полном объеме предназначен для решения сложных задач и для выработки общих навыков поиска новых технических решений. Ряд несложных задач может быть решен непосредственным использованием массивов информации. Отдельные операторы могут использоваться са-



мостоятельно (например, операторы выбора направления решения и сравнения вариантов).

Рассмотрим более подробно, чем в приложении, некоторые процедуры комплексного метода поиска технических решений.

### ***У.3.2. Построить модель задачи***

Данная процедура предполагает упрощение исходной ТС за счет освобождения от лишней, не связанной с НЭ информации. В общем случае в этой процедуре возможны три типовых модели задачи:

Дано (указать изделие ТС, то есть то, на что она воздействует). Необходимо построить ТС, выполняющую ГПФ (указать).

Даны компоненты ТС (указать их). Необходимо достроить ТС для выполнения требуемой дополнительной функции.

Даны компоненты, связанные с противоречием (указать). Необходимо разрешить противоречие (указать какое).

Не следует считать, что суть процедуры У.3.2 заключается лишь в «механическом» освобождении от лишней информации. Здесь имеется возможность смены типа решаемой задачи (переход от модели задачи 3 к модели 1). Такой переход фактически эквивалентен разрушению имеющейся ТС. Идти на это следует лишь в том случае, если есть убедительные доказательства, что принцип действия улучшаемой системы исчерпал себя. Если их нет, то лучше оставить модели задачи 3 или 2.

### ***У.3.4. Построить оперативную модель решения***

Оперативная модель решения по своему смыслу является прообразом будущего решения задачи, но, с другой стороны, она — предел уточнения задачи, то есть ее окончательная формулировка. Поэтому, как и всякая задача, формулировка модели решения содержит цель и ограничения, а как прообраз решения — должна содержать указание на средство решения. После формулирования цели анализируется область пространства (рабочая зона), в которой она может быть достигнута. Для задачи на построение или достройку ТС выде-

ляется функциональная зона, а для случая разрешения противоречия выделяется конфликтная зона (зона НЭ) и зона положительного эффекта (ПЭ). В некоторых случаях зоны ПЭ и НЭ могут совпадать.

В общем случае в рабочую зону могут входить несколько разных компонентов системы, а также часть окружения ТС. Если какой-либо компонент (часть компонента), как необходимое средство для достижения цели, не оговорен, то выбор компонента модели решения довольно затруднителен. В таком случае следует выбирать компонент рабочей зоны, который легче всего изменить без нарушения ограничений. К таким компонентам вероятнее можно отнести инструменты ТС, чем ее изделия, а также неподвижные компоненты, чем подвижные.

Если выбор компонента как средства достижения цели затруднен, то в качестве компонента модели решения следует принять всю рабочую зону. Ее можно рассматривать как некоторый компонент «X», которому дозволено придать нужные свойства. Последующий анализ позволит конкретизировать средство модели решения.

### **3.8. Синтез технических решений методом разрешения противоречий**

#### **3.8.1. Общий алгоритм синтеза**

Источником информации при синтезе технических решений методом разрешения противоречий является массив эвристических приемов преодоления технических и физических противоречий. Необходимость в преодолении противоречий возникает не только при необходимости устранить недостатки в заданной ТС, но и как дополнительный этап при построении ТС для выполнения заданной ГПФ достройке ТС компонентами для выполнения требуемой добавочной ПФ.

Порядок и содержание процедур постановки задачи синтеза указаны в приложении 19. Но так как содержание задачи ограничено, следует использовать не все процедуры, а только следующие.

## Этап 1. Постановка и уточнение задачи

1.1. Описать исходную проблемную ситуацию.

1.2. Выполнить предварительный анализ проблемы. Для чего.

1.2.1. Выбрать вариант проблемы.

1.2.1.3. ТС выполняет все ПФ, но недостаточно хорошо (есть нежелательный эффект (НЭ)).

1.2.2. Определить, в какую надсистему входит (должна входить) рассматриваемая ТС. Выделить связи ТС с надсистемой.

1.2.3. Если выбран вариант 1.2.1.3, то определить, с какими компонентами имеющейся ТС связан НЭ?

1.3. Определить конечную цель решения задачи.

1.4. Определить главные ограничения.

(Какие средства заведомо нельзя применять? Какие средства нельзя изменять? Какие средства нужно обязательно использовать?)

1.5. Определить возможные пути достижения конечной цели (кроме пути, указанного в проблемной ситуации) и сравнить их с ограничениями.

1.5.1. Если все пути, кроме описанного в проблемной ситуации, запрещены ограничениями, то перейти к задаче «Все, что есть, минус недостатки».

1.5.2. Если ограничения разрешают реализацию нескольких путей, сравнить их между собой и выбрать наиболее предпочтительный.

1.6. Для выбранного пути решения уточнить ограничения. (Какие характеристики заведомо нельзя изменять? Какие «способности», кроме функций, должна иметь искомая ТС? Какова допустимая сложность решения? Какой требуется количественный уровень критериев предпочтения?).

1.7. Записать условие задачи, соответствующее выбранному пути решения, не используя специальных терминов, по одной из следующих форм.

1.7.1. Дана ТС, состоящая из компонентов (указать). При условии (указать) возникает нежелательный эффект (указать недостатки), который необходимо устранить. Перейти к У.3.1.



### Этап У.3. *Преобразование технической системы*

У.3.1. Выявить природу нежелательного эффекта (НЭ), указанного в 1.7.3. Выявить и сформулировать техническое противоречие (ТПр), обострение которого проявилось в виде НЭ.

У.3.2. Построить модель задачи. Уточнить формулировку НЭ, который необходимо устранить (подцель, которую необходимо достигнуть), для решения задачи.

У.3.3. Определить направление разрешения противоречия.

У.3.4. Построить оперативную модель решения. Для чего:  
а) определить цель модели решения с учетом модели задачи и выбранного направления решения; б) определить область пространства (рабочую зону), в которой должна быть реализована модель решения; в) в рабочей зоне выбрать элемент модели решения и уточнить условия, выполнение которых должен обеспечить этот элемент; г) составить формулировку оперативной модели решения.

У.3.5. Отобразить модель решения графически на рисунке, схеме, графике. Показать два состояния: исходное (было) и соответствующее (стало).

У.3.6. Определить физические условия реализации модели решения.

У.3.6.1. Определить, какими физическими свойствами должен обладать элемент модели решения или какие действия он должен осуществлять, чтобы обеспечить реализацию модели решения. Составить полный перечень свойств и действий.

У.3.7. Составить формулировки физических противоречий (ФПр) и выполнить их предварительный анализ.

У.3.7.1. Для каждой пары несовместимых требований составить формулировку ФПр. Если получено одно или несколько ФПр, соответствующих исходному ТПр, заданному в модели задачи, перейти к У.4.1.

### Этап У.4. *Синтез решения*

У.4.1. Разрешить противоречия и сформулировать принципиальное решение. Определить, при каких условиях эле-

мент модели решения будет иметь свойства или совершать действия, составляющие ФПр. При этом:

а) не надо пока думать, осуществимы ли практически желательные условия;

б) принципиальное решение должно отражать новую организацию системы (в том числе во времени и в пространстве), при которой несовместимость свойств или действий, составляющих ФПр, не является абсолютной;

У.4.2. Сформулировать физическое решение, реализующее модель решения.

У.4.2.1. В соответствии с выявленными в У.3.6 свойствами и действиями или полученным в У.4.1 принципиальным решением сформулировать подзадачу синтеза, которая должна быть решена: замена (изменение) элемента ТС, доработка или построение компонента ТС. Если из формулировки подзадачи очевидным образом вытекает физическое решение, перейти к У.4.2.5.

У.4.2.2. Определить, как должен быть изменен (заменен) элемент модели решения, другие элементы, какие воздействия на них необходимо осуществить. Отразить необходимое на рисунке и структурной схеме.

У.4.2.3. Определить, за счет чего можно осуществить необходимые изменения и (или) воздействия. В частности, за счет каких изменений конфигурации ТС: а) какие элементы ТС, их окружения или внешней среды можно привлечь; б) какие элементы нужно ввести; в) как изменить связи между элементами в пространстве и во времени. Отразить необходимые изменения на структурной схеме.

У.4.2.5. Сформулировать физическое решение, уточнив при этом конфигурацию ТС. Перейти к У.4.4.

У.4.4. Сформулировать техническое решение (способ, реализующий физическое решение). Указать конкретные технические средства (конструктивные элементы, узлы, операции, вещества, режимы). Описать полученную ТС (или ее часть), отразив ее конфигурацию (состав и связи).

### 3.8.2. Примеры синтеза

#### Ролик для обкатки на токарно-револьверном автомате

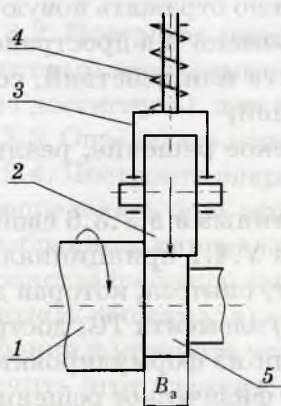


Рис. 3.11. Схема обкатки роликом без продольной подачи:

1 — заготовка; 2 — ролик;  
3 — державка ролика; 4 — пружина;  
5 — обрабатываемая поверхность

требуемая (оптимальная) сила  $P_n$ . Однако, каждому сочетанию размеров заготовки и способа ее закрепления соответствует некоторое предельно допустимое значение  $P_n = P_{n, \text{доп}}$ , ограниченное допустимой упругой деформацией технологической системы.

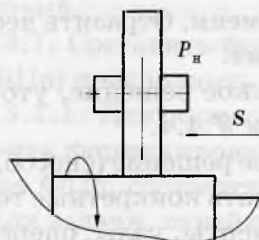


Рис. 3.12. Схема обкатки с продольной подачей

Известен метод выглаживания поверхности заготовки путем ее пластического деформирования (ППД) обкаткой роликом (рис. 3.11), который прижимается к обкатываемой поверхности с силой  $P_n$ . Чтобы процесс обкатывания осуществлялся успешно, в зоне контакта ролика 1 и заготовки 2 должно поддерживаться оптимальное давление (или удельная сила на единицу длины контакта). Следовательно, чем больше длина контакта «В» образующих ролика и обкатываемой поверхности, тем больше

Поэтому на обычных токарных станках ведут обкатывание с продольной подачей (рис. 3.12), что позволяет уменьшить длину контакта «В» до необходимых пределов для обеспечения неравенства  $P_n < P_{n, \text{доп}}$ . Но на токарно-револьверном автомате этот переход выполняется роликом, установленным на одном из бо-



ковых суппортов, который может совершать только радиальную подачу.

Следовательно, длина рабочей части его образующей должна быть больше (или равна) длины обкатываемого участка поверхности (рис. 3.11). Как быть, если требуется обкатать поверхность значительной длины на токарно-револьверном автомате?

В описании исходной проблемной ситуации уже выполнена процедура 1.2. Выполняем остальные процедуры первого этапа.

1.3. Цель решения задачи — обкатывать без продольной подачи поверхности значительной длины при сохранении условия  $P_n < P_{n, \text{доп}}$ .

1.4. На решение накладываются следующие ограничения:  
 а) обкатывать можно только на токарно-револьверном автомате;  
 б) конструкцию автомата менять нельзя (очень дорого);  
 в) для обработки (выглаживания) поверхности можно использовать только метод обкатывания роликом с радиальной подачей;  
 г) необходимо соблюдать условие  $P_n < P_{n, \text{доп}}$ .

1.5. Все пути, кроме описанного в проблемной ситуации, запрещены ограничениями. Следовательно, можно изменять только ролик.

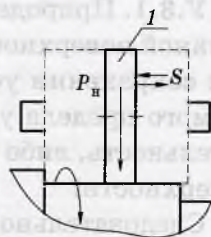


Рис. 3.13. Схема идеального решения:  
 1 — «активный» участок ролика

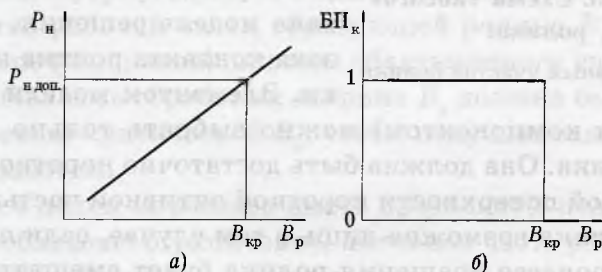


Рис. 3.14. Зависимости показателей качества от ширины ролика  $B_p$ :  
 а — силы поджима ролика  $P_n$ ; б — качественного показателя  $БП_k$

У.3.1. Природа нежелательного эффекта при обкатывании длинной поверхности с радиальной подачей состоит в том, что при сохранении условия  $P_n < P_{n, доп}$  уменьшается ниже допустимого предела удельная сила и либо понижается производительность, либо невозможно достигнуть заданного качества поверхности.

Следовательно, техническое противоречие можно сформулировать следующим образом.

Увеличение длины образующей ролика в соответствии с требуемой длиной обкатываемой поверхности приводит к уменьшению удельной силы и, как следствие, к снижению производительности или к невозможности достичь заданного уровня качества обкатанной поверхности.

У.3.2. Теперь можно записать модель задачи. Дано: необходимо обкатать участок заготовки значительной длины без продольной подачи ролика. Требуется разрешить указанное выше техническое противоречие.

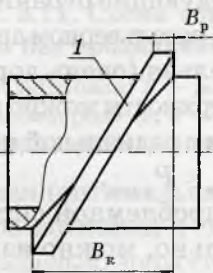


Рис. 3.15. Схема «косого» ролика:

$l$  — активный участок ролика

(узловым компонентом) можно выбрать только образующую ролика. Она должна быть достаточно короткой. Обкатка длинной поверхности короткой активной частью образующей ролика возможна лишь в том случае, если последняя сама в процессе вращения ролика будет смещаться на заданную длину. Тогда оперативная модель решения принимает вид.

У.3.3. Будем считать, что единственным направлением разрешения технического противоречия является изменение конструкции (формы) ролика.

У.3.4. Строим оперативную модель решения. Рабочей зоной, в которой должна быть реализована модель решения, является зона контакта ролика и заготовки. Элементом модели решения

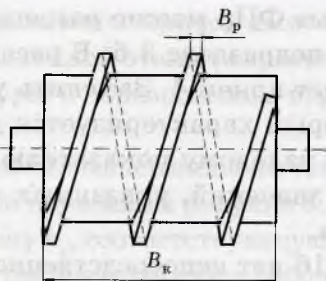


Рис. 3.16. Схема «винтового» ролика

Активный короткий участок контакта ролика при его вращении совершает возвратно-поступательное движение на заданную длину обкатываемого участка заготовки (рис. 3.13).

У.3.6. Модель решения может быть реализована только при изменении формы ролика с простой цилиндрической на какую-то другую.

У.3.7. Чтобы сформулировать физическое противоречие (ФПр), необходимо построить графики влияния узлового показателя (ширина рабочей части ролика  $B_p$ ) на выбранные показатели качества (рис. 3.14). Первым показателем качества следует выбрать силу  $P_n$ . А вторым будет качественный показатель типа АПк, равный 1, если обкатывание дает требуемый результат, и 0, если заданное качество (производительность) не может быть достигнуто. В указанном случае есть ФПр, которое можно сформулировать в одном из следующих видов.

Ширина рабочей части образующей ролика  $B_p$  должна быть больше (или равна) ширины обкатываемого участка  $B_y$ , чтобы он был весь обработан; ширина  $B_p$  должна быть меньше (или равна) критической  $B_k$ , чтобы получить заданное качество обработки.

Ролик в целом не должен иметь продольную подачу, чтобы было соблюдено ограничение; активная часть ролика шириной, меньшей чем  $B_{p.кр}$ , должна иметь продольную подачу, чтобы получить возможность обработать требуемую ширину заготовки.



У.4.1. Указанные ФПр можно разрешить одним из приемов, указанных в подразделе 3.6. В рассматриваемой задаче подходящим будет прием 4. Заменить узловой компонент компонентом, который характеризуется двумя показателями, аналогичными узловому показателю, каждый из которых имеет одно из значений, указанных в формуле физического противоречия.

В приложении 16 нет непосредственно такого компонента, но его легко синтезировать. Так, ролик будет компонентом с указанными свойствами, если он «косой» (рис. 3.15) или на нем нарезана винтовая канавка (рис. 3.16). В первом случае  $B_p$  мало, а  $B_k$  намного больше. Во втором случае  $B_p$  будет равна сумме ширин выступов, а  $B_k$  — всей длине резьбы. Но вторая конструкция предпочтительнее, так как резьбу легко нарезать на токарном станке, а для превращения выточенной заготовки в «косой» диск необходим фрезерно-копировальный станок, или фрезерный станок с ЧПУ. Кроме того, вторая конструкция позволяет сделать ролик для обкатывания любой, достаточно большой ширины. Первое решение соответствует авторскому свидетельству на изобретение № 175367, а второе — № 580102.

### Способ шлифования

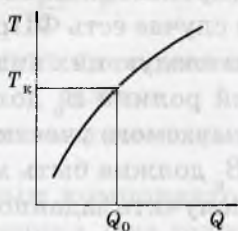
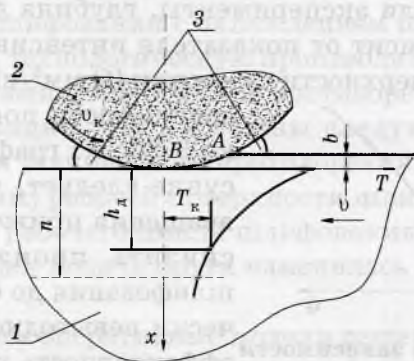


Рис. 3.17. Схема зависимости максимальной температуры  $T$  поверхности шлифования от интенсивности удаления материала  $Q$ , мм<sup>3</sup>/с

Как известно, при шлифовании в рабочей зоне (зона контакта шлифовального круга и заготовки) развиваются высокая температура (рис. 3.17). В зависимости от интенсивности процесса она может достигать значений, больших 1 000 °С. Если температура в подповерхностном слое шлифуемой детали превышает некоторую критическую ( $T_k$ ), то это приводит к дефектам при шлифовании закаленной де-

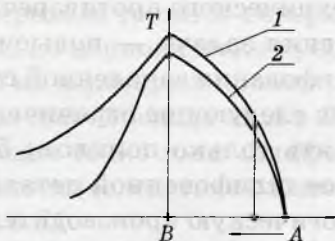
тали, которые называются прижогами. Прижог — это распад структуры закаленной стали (мартенсита) под действием высокой температуры с образованием структур пониженной твердости.

Характер изменения максимальной температуры по глубине под рабочей зоной показан на рисунке 3.18. Дефектный слой образуется на глубину  $h_d$ , соответствующую температуре  $T_k$ . Изменение температуры поверхности в рабочей зоне и вне ее при шлифовании без охлаждения и с охлаждением путем полива показано на рисунке 3.19.



**Рис. 3.18.** Схема зависимости максимальной температуры (под точкой  $B$ ) от расстояния  $X$  от поверхности шлифования:

- 1 — заготовка; 2 — шлифовальный круг;  
3 — зона повышенного давления

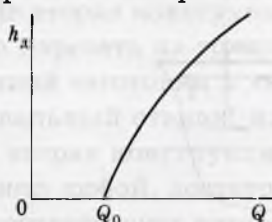


**Рис. 3.19.** Схема изменения температуры поверхности заготовки при шлифовании:

- 1 — без охлаждения; 2 — с охлаждением поливом

Графики на этом рисунке ясно показывают, что обычное охлаждение поливом малоэффективно, так как максимальная температура в рабочей зоне снижается только на 10 %. Полив быстро понижает температуру на поверхности после ее выхода из рабочей зоны, препятствуя накоплению тепла в шлифуемой заготовке. Причиной низкой эффективности охлаждения поливом является зона высокого давления 3 (рис. 3.18), которая образуется из-за того, что пористый шлифовальный круг 2, засасывает с торцов и выбрасывает на периферию потоки воздуха.

Как показали эксперименты, глубина дефектного слоя (прижогов) зависит от показателя интенсивности удаления материала с поверхности заготовки ( $Q$  мм<sup>3</sup>/с). Характер этой зависимости показан на рисунке 3.20. Из графика на этом рисунке следует, что для предотвращения прижогов необходимо снизить производительность шлифования до  $Q_0$ , что экономически невыгодно. Как повысить эффективность процесса шлифования закаленных сталей?



**Рис. 3.20.** Схема зависимости глубины  $h_d$  дефектного слоя от интенсивности шлифования  $Q$

Из описания проблемной ситуации ясно, что задача связана с необходимостью устранения нежелательного эффекта путем разрешения технического противоречия (вариант 1.2.3).

1.3. Цель решения задачи — повысить производительность процесса шлифования закаленной стали. 1.4. На решение накладываются следующие ограничения: а) охлаждение можно осуществлять только поливом; б) прижогов в подповерхностном слое шлифованной детали не должно быть; в) снижать технологическую производительность нельзя.

1.5. Из описания проблемной ситуации следует, что возможным путем решения задачи будет изменение конструкции шлифовального круга. Кроме того, из ограничения 1.4в



не следует, что интенсивность шлифования на каких-то этапах рабочего цикла не может превосходить  $Q_0$ .

У.3.1. Природа нежелательного эффекта при шлифовании закаленной стали связана с высокими температурами в рабочей зоне. При шлифовании возникает следующее техническое противоречие. Попытка повысить технологическую производительность путем интенсификации процесса шлифования приводит к появлению прижогов, проникающих на тем большую глубину, чем больше показатель интенсивности шлифования  $Q$ .

У.3.2. Теперь можно записать модель задачи. Дано: процесс врезного шлифования с охлаждением поливом. Необходимо: повысить технологическую производительность, разрешив указанное выше техническое противоречие.

У.3.3. Очевидно, что возможны следующие направления разрешения технического противоречия: изменение конструкции (формы) рабочей поверхности шлифовального круга и изменение рабочего цикла шлифования таким образом, чтобы радиальная подача круга изменялась во время его реализации.

У.3.4. Строим оперативные модели решения.

а) Рабочей зоной, в которой должна быть реализована модель решения, является слой под рабочей поверхностью шлифовального круга. Элементом модели решения (узловым компонентом) можно выбрать только этот слой. Как видно из рисунка 3.19, температура поверхности растет с увеличением времени воздействия (время перехода точки  $X$  поверхности шлифования из  $A$  в  $B$ ). Желательно периодически прерывать действие теплового источника на некоторый промежуток времени (меньший, чем требуется для перехода из  $A$  в  $B$ ), чтобы за это время в соответствующей точке зоны шлифования температура могла бы уменьшиться (вследствие охлаждения), как это показано на рисунке 3.21.

б) Рабочей зоной, в которой должна быть реализована модель решения, является слой материала, подлежащий удалению — припуск  $\Pi$  (рис. 3.18). Элементом модели решения

(узловым компонентом) в данном случае является система, состоящая из рабочей поверхности шлифовального круга и подповерхностного слоя шлифуемой заготовки. Если в процессе шлифования и появится прижог, то его глубина должна быть меньше (или равна) припуску, который осталось удалить.

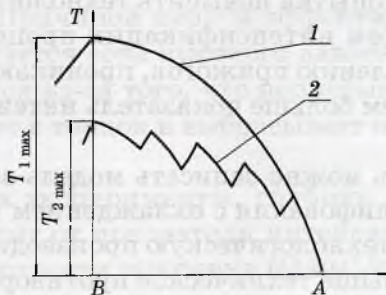


Рис. 3.21. Схема изменения температуры поверхности заготовки при шлифовании:

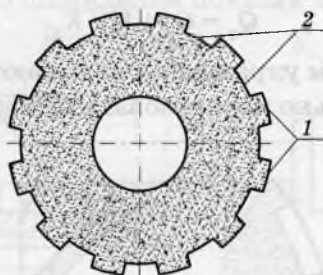
1 — непрерывном; 2 — прерывистом

У.3.6. Модель решения (а) может быть реализована только при изменении формы рабочей поверхности шлифовального круга с простой цилиндрической на какую-то другую. Модель решения (б) может быть реализована только при условии, что с уменьшением припуска  $\Pi$  будет уменьшаться  $Q$  и в конце рабочего цикла она станет равной  $Q_0$ .

У.3.7. Физическое противоречие (ФПр) можно сформулировать следующим образом: «параметр интенсивности шлифования  $Q$  должен быть меньше  $Q_0$ , чтобы не было прижогов; параметр интенсивности шлифования  $Q$  должен быть больше  $Q_0$ , чтобы обеспечить достаточную технологическую производительность». Эта формулировка не дает ничего нового.

У.4.1. Модель решения (а) можно реализовать, если рабочую поверхность шлифовального круга выполнить прерывистой (рис. 3.22). Но если канавки будут параллельны оси вращения круга, то шлифование будет сопровождаться вибрациями, которые существенно увеличат параметр шероховатости  $Ra$  шлифованной поверхности, что недопустимо. По-

этому канавки, прерывающие процесс шлифования, следует делать винтовыми (рис. 3.23). Такая форма канавок имеет еще одно преимущество. Винтовые выступы в зоне шлифования будут работать как лопасти насоса, нагнетая туда охлаждающую жидкость.



**Рис. 3.22. Схема шлифовального круга для прерывистого шлифования:**

1 — рабочие участки; 2 — впадины

Модель решения (б) можно реализовать, если управление интенсивностью шлифования будет осуществляться в соответствии с оставшимся припуском  $\Pi$  и фактическим значением  $Q$ . Согласно графику на рисунке 3.20 можно в первом приближении записать

$$h_d = K_d (Q - Q_0).$$

Чтобы на шлифованной поверхности не было прижогов, необходимо во время всего рабочего цикла шлифования соблюдать условие  $h_d, \Pi$ . Тогда получаем

$$Q \leq Q_0 + \Pi / K_d.$$

Для такого управления круглошлифовальный станок должен быть снабжен прибором активного контроля, счетно-логическим устройством (СЛУ), которое принимает от ИУ сигнал, пропорциональный  $\Pi$ , и дифференцирует его по времени  $\tau$ , получая фактическую производительность

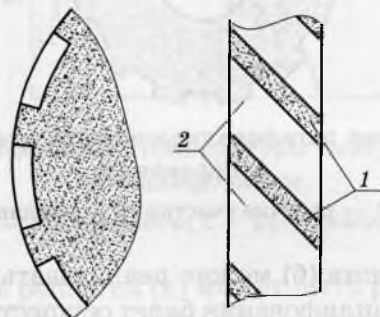
$$Q_\Phi = pDB(d\Pi / d\tau),$$



где  $D$  и  $B$  — диаметр и ширина шлифования соответственно. Экспериментальные значения  $K_d$  и  $Q_0$  вводятся в СЛУ в качестве уставок. Далее в СЛУ значения  $Q_\phi$  и  $Q$  сравниваются и исполнительное устройство изменяет скорость радиальной подачи  $S$ ; так до тех пор, пока не будет соблюдаться равенство

$$Q_\phi = Q_0 + \Pi / K_d.$$

Такой алгоритм управления называют граничным. Он позволяет максимально использовать рабочие свойства шлифовального круга.



**Рис. 3.23.** Схема участка шлифовального круга для безударного прерывистого шлифования:

1 — рабочие участки; 2 — впадины

### **Оправка для растачивания**

Тонкое растачивание отверстия в заготовке корпусной детали осуществляется на специализированном расточном станке (рис. 3.24). Но при обратном (холостом) ходе на расточенной поверхности появляется дефект в виде риски (прямой, если шпиндель остановлен, или спиральной, если он вращается и во время вывода инструмента из расточенного отверстия).

Причиной появления указанного дефекта является упругое восстановление оправки, которая во время рабочего хода была изогнута силой резания. Что нужно сделать, чтобы при холостом выводе оправки 4 с резцом 3 не образовывалась риска. В данном случае подходит следующий вариант проблемы.

1. В технической системе нет компонента для отвода резца во время холостого хода (то есть обнаружена функциональная неполнота).

2. Оправка с резцом входит составным компонентом в шпindelную бабку 5 (рис. 3.24) расточного станка. Характер связи оправки со шпинделем показан на рисунке 3.25.

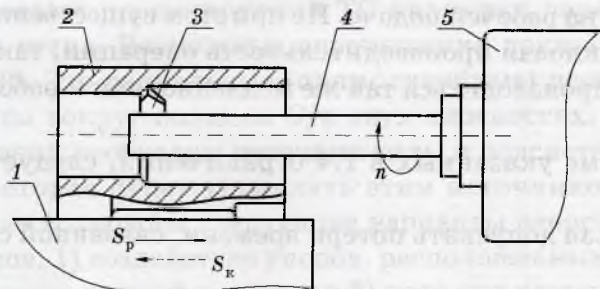


Рис. 3.24. Схема тонкого растачивания:

1 — стол; 2 — заготовка; 3 — резец; 4 — оправка; 5 — бабка шпинделя

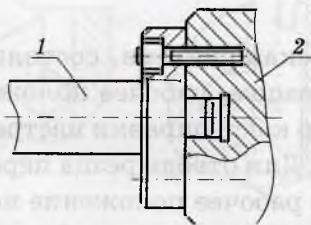


Рис. 3.25. Схема крепления расточной оправки:

1 — оправка; 2 — шпиндель

3. Конечной целью решения задачи является поиск (а если потребуется, то синтез) технического решения, которое будет обеспечивать автоматический отвод резца от обработанной поверхности перед началом обратного (холостого) хода стола и возврат резца в исходное положение во время рабочего хода. Отвод должен немного превышать рабочую упругую деформацию, то есть составлять 0,1...0,15 мм.

4. К главным ограничениям следует отнести: а) растачивание обязательно должно производиться на указанном станке; б) нельзя изменять компоненты станка; в) нельзя применять растачивание резцовым блоком (см. рис. 3.17).

5. Кроме использования компонента для отвода резца, можно получить отверстие без дефектов, если обратный ход проводить на рабочей подаче. Но при этом существенно уменьшается цикловая производительность операции, так как вывод будет производиться так же медленно, как и рабочий проход.

6. Кроме указанных в 1.4 ограничений, следует учитывать, что:

а) нельзя допускать потери времени, связанной с отводом резца;

б) решение должно быть достаточно простым и не связанным с существенными изменениями конструкции шпинделя (изменять только место крепления оправки); в) нет смысла применять устройства для повышения жесткости оправки.

7. Дана техническая система, состоящая из расточного станка, оправки с резцом, рабочее положение вершины которого по отношению к оси оправки настраивается предварительно, и заготовки. Для отвода резца перед холостым ходом и для его возврата в рабочее положение нет компонента, который нужно выбрать (синтезировать).

В массивах типовых технических решений нет соответствующих компонентов, которые могли бы передавать точные перемещения резцу на вращающейся оправке. На универсальном горизонтально-расточном станке имеется дифференциальный привод радиального перемещения резца, размещенного на план-суппорте. Но использовать идею этого решения нерационально, так как получится очень сложная система и придется существенно переделывать шпиндельную бабку. Полезными функциями измененной оправки будут:



а) отвод вершины резца от настроенного относительно оси вращения оправки положения перед началом холостого хода стола;

б) возвращение вершины резца в рабочее положение перед началом рабочего прохода (по крайней мере, одновременно с его началом).

Выходами проектируемой ТС являются перемещения вершины резца. Возможные перемещения показаны на рисунке 3.26. Это радиальные (прямолинейные) перемещения и повороты вокруг полюсов  $O_1$  в двух плоскостях. Для этих перемещений необходим источник силы и подсистема управления, которая будет управлять этим источником. В данном случае возможны следующие варианты энергетических источников: 1) воздействие упоров, расположенных на столе; 2) воздействие сжатой пружины; 3) поле сил инерции во вращающейся оправке; 4) силы резания; 5) электромагнит.

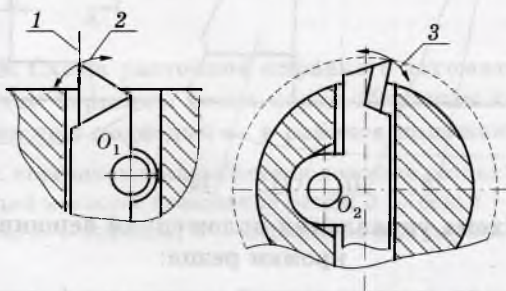
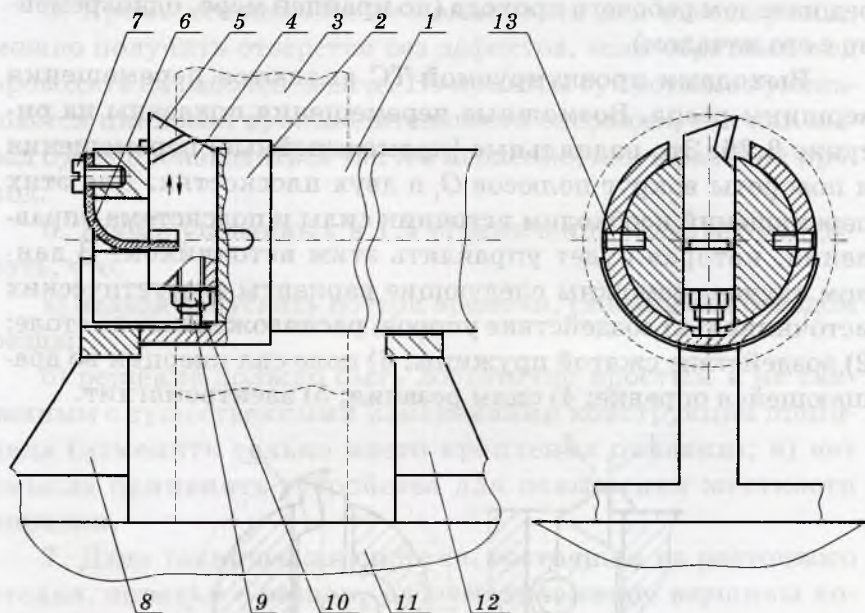


Рис. 3.26. Схемы возможных способов перемещения вершины резца:

1 — радиальное; 2 — поворотом вокруг полюса  $O_1$ ; 3 — поворотом вокруг полюса  $O_2$

На рисунке 3.27 показана схема технического решения, в котором использован первый энергетический источник радиального перемещения резца. При выходе режущей кромки резца 5 за пределы заготовки 3 упор 8 сдвигает втулку 2 и пружина 6 отводит резец. В конце быстрого отвода стола втулка 2 сдвигается задним упором 12 и перемещает резец

в исходное положение. Настройка на размер осуществляется винтом 9 и контргайкой 10. Но устройство получается довольно сложным и, кроме того, сложным является настройка реза на размер.



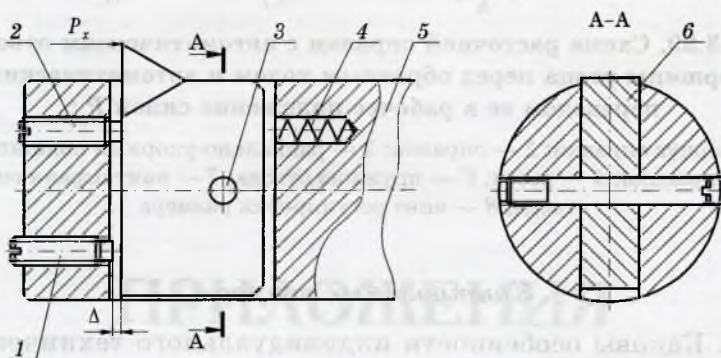
**Рис. 3.27. Схема управления положением вершины режущей кромки реза:**

- 1 — оправка; 2 — втулка-копир; 3 — заготовка; 4 — корпус реза;  
 5 — режущая кромка реза; 6 — плоская пружина; 7 — винт;  
 8 — передний упор; 9 — упор регулируемый; 10 — контргайка;  
 11 — стол; 12 — задний упор; 13 — палец

Поле сил инерции через грузы и рычаги может вывести вершину реза в рабочее положение, но для ее отвода придется останавливать вращение шпинделя, что потребует дополнительных затрат времени. Поэтому остановка вращения запрещена ограничениями.

Сжатой пружиной хорошо отводить вершину реза, но для ее вывода в рабочее положение необходимо пружину

чем-то сжать. Проще всего для этого использовать силу резания (составляющие  $P_x$  или  $P_z$ ), которая, преодолевая сопротивление выводящей пружины, переводит вершину резца в рабочее положение. Схема использования силы  $P_x$  показана на рисунке 3.28. Зазор  $\Delta$  должен обеспечить отвод больший, чем упругая деформация оправки во время растачивания, но меньший, чем половина припуска на сторону.

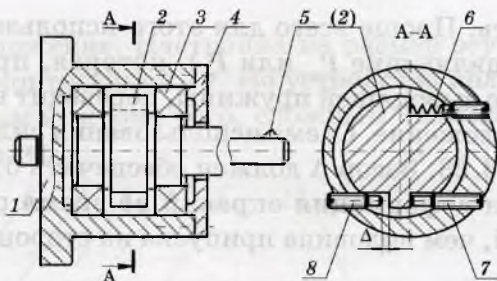


**Рис. 3.28.** Схема расточной оправки с автоматическим отводом вершины резца перед обратным ходом и автоматическим подводом ее в рабочее положение силой  $P_x$ :

1 — винт, определяющий рабочее положение резца; 2 — винт, определяющий холостое положение резца; 3 — ось; 4 — отводящая пружина; 5 — оправка; 6 — держатель режущей пластины

Это техническое решение можно считать приемлемым для оправок диаметром более 35 мм. В нем учтены (не нарушены) все ограничения и требования. Для оправок диаметром меньшим 35 мм можно использовать ту же идею, но вывод в рабочее положение будет осуществляться за счет силы  $P_z$ . Схема такого технического решения приведена на рисунке 3.29. На это техническое решение выдано авторское свидетельство на изобретение 607665. Аналогичная идея была использована в авторском свидетельстве 751510 в техническом решении конструкции резцедержателя для токарно-револьверных станков и автоматов.





**Рис. 3.29. Схема расточной оправки с автоматическим отводом вершины реза перед обратным ходом и автоматическим переводом ее в рабочее положение силой  $P_2$ :**

- 1 — корпус оправки; 2 — оправка; 3 — радиально-упорный подшипник; 4 — крышка; 5 — резец; 6 — пружина отвода; 7 — винт ограничения отвода; 8 — винт регулировки размера

### *Контрольные вопросы*

1. Каковы особенности индивидуального технического творчества?
2. Опишите особенности и методы группового технического творчества.
3. Дайте определения понятиям технического и физического противоречий.
4. В каких случаях вводится показатель реализуемости технической системы?
5. Какое техническое решение можно назвать типовым?
6. Приведите классификацию методов эвристического поиска технических решений.
7. Раскройте суть методов информационного поиска решений.
8. Перечислите методы преодоления физических противоречий.
9. Опишите сущность синтеза технических решений методом разрешения противоречий.
10. Охарактеризуйте принципы поиска новых технических решений.
11. Приведите пример синтеза технического решения.