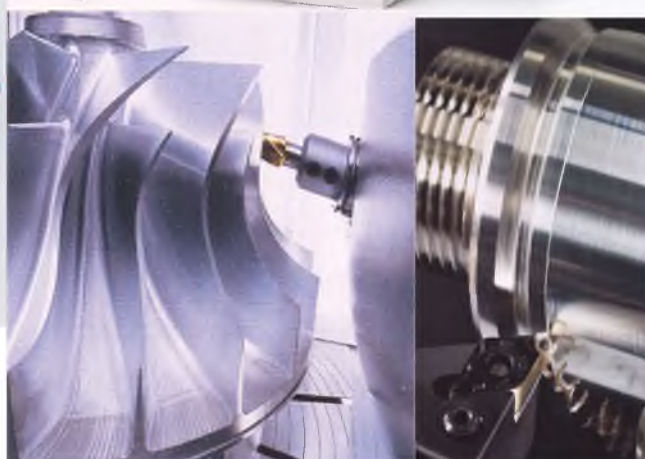
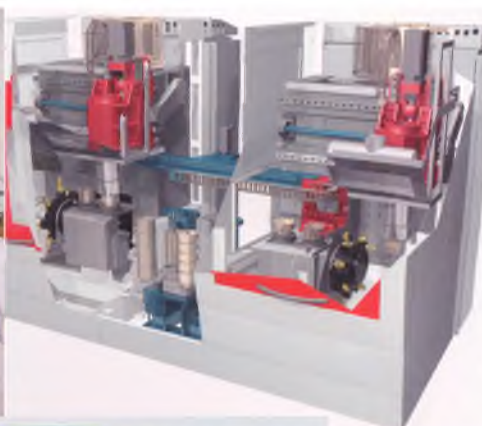




МАХАРИНСКИЙ Е.И.
МАХАРИНСКИЙ Ю.Е.
ОЛЬШАНСКИЙ В.И.
БЕЛЯКОВ Н.В.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Е.И. МАХАРИНСКИЙ

Ю.Е. МАХАРИНСКИЙ

В.И. ОЛЬШАНСКИЙ

Н.В. БЕЛЯКОВ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рекомендовано учебно-методическим объединением высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области машиностроительного оборудования и технологий в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»

Витебск
2009

УДК 658.512.2

ББК 32.81

О 75

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Основы машиностроительного производства и профессионального обучения» Белорусского государственного технического университета, д.т.н., проф. Иванов И.А.

доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусско-Российского университета, к.т.н., доц. Галюжин Д.С.

Основы теории проектирования технических систем : учебное пособие для студентов вузов / Махаринский Е. И. [и др.]; УО «ВГТУ». – Витебск, 2009. – 354 с.

ISBN 978-985-481-156-7

В пособии даны основные понятия теории технических систем (ТС), проблемы их моделирования и управления. Приведены сведения о жизненном цикле и эволюции ТС. Подробно рассмотрены методы и алгоритмы типового проектирования и совершенствования ТС, с учетом теоретических положений функционально-стоимостного анализа и теории решения изобретательских задач. Изложены проблемы и методы параметрического синтеза ТС. Теоретический материал богато иллюстрируется примерами проектирования и совершенствования режущего, мерительного и вспомогательного инструмента, станочных приспособлений и элементов технологических процессов.

Для студентов машиностроительных специальностей вузов. Может использоваться инженерно-техническими работниками предприятий и слушателями системы повышения квалификации машиностроительного профиля.

УДК 658.512.2

ББК 32.81

О

ISBN 978-985-481-156-7

© Коллектив авторов, 2009

© Учреждение образования

«Витебский государственный технологический университет», 2009

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АРИЗ — алгоритм решения изобретательских задач
АРк — качественный показатель вида А
ВРк — качественный показатель вида В
ВФ — вспомогательная функция
ВрФ — вредная функция
ГПФ — главная полезная функция
ДФ — дополнительная функция
ИР — изменение размеров
ИРС — изменение размеров и свойств
ИРФ — изменение размеров и формы
ИС — изменение свойств
ИТР — идеальное техническое решения
ИУ — измерительное устройство
Иэ — индекс эффективности затрат
Кг — коэффициент готовности
КПМ — комплексный метод поиска технических решений
КТС — компоненты технической системы
МТТР — массив типовых технических решений
НФ — ненужная функция
НЭ — нежелательный эффект
ОУ — объект управления
ОФ — основная функция
ОЭМ — обобщенный эвристический метод
ПЭ — положительный эффект
ПМП — параметрический метод разрешения противоречий
ППД — поверхностное пластическое деформирование
ПФ — полезная функция
Рк — количественный показатель качества
Ри — узловый показатель
ПФЭ — полный факторный эксперимент
СЛУ — счетно-логическое устройство
ТС — техническая система
ТП — технологический процесс
ТПр — техническое противоречие
УУ — управляющая подсистема
ФП — факторный план
ФПД — физический принцип действия
ФПр — физическое противоречие

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	12
1.1. Основные понятия.....	12
1.2. Моделирование технических систем.....	26
1.2.1. Модель и информация.....	26
1.2.2. Виды моделирования технических систем.....	30
1.2.3. Виды моделей.....	33
1.2.4. Математические модели.....	46
1.3. Управление техническими системами.....	54
1.4. Жизненный цикл и эволюция технических систем.....	56
2. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	65
2.1. Качество и эффективность технических систем.....	65
2.2. Критерии производительности и точности.....	70
2.3. Критерии универсальности и гибкости.....	72
2.4. Критерии надежности.....	74
2.5. Критерий сложности устройства.....	76
2.6. Экономические критерии.....	78
2.7. Эргономический критерий.....	82
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	83
3.1. Основные понятия.....	83
3.2. Стратегии проектирования.....	85
3.3. Инженерное прогнозирование.....	90
3.4. Варианты постановки задачи и описания результатов проектирования.....	92
3.5. Типовые проектные процедуры.....	97
3.6. Сложность задач синтеза.....	101
3.7. Классификация компонентов технического объекта (устройства).....	104
3.8. Классификация методов обработки деталей технических объектов.....	110
4. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ПОИСКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	126
4.1. Общие положения.....	126
4.2. Информационный поиск.....	127
4.3. Морфологический синтез технических систем при информационном поиске функциональных компонентов.....	130
4.4. Пример морфологического синтеза устройства (станочного приспособления).....	134
4.5. Пример синтеза маршрута обработки типовых компонентов детали.....	146
5. МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	157
5.1. Индивидуальное техническое творчество.....	157

5.2. Методы группового технического творчества	161
5.3. Эвристический поиск технических решений	165
5.4. Принципы поиска новых технических решений	169
5.5. Техническое и физическое противоречия	175
5.6. Методы разрешения (преодоления) физических противоречий	180
5.7 Эвристические методы направленного поиска	186
5.8. Синтез технических решений методом разрешения противоречий	189
5.8.1. Общий алгоритм синтеза.....	189
5.8.2. Примеры синтеза.....	192
6. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	204
6.1. Синтез математических моделей технических систем	204
6.1.1. Общие положения.....	204
6.1.2. Синтез эмпирических моделей.....	206
6.1.2.1. Понятия и определения.....	206
6.1.2.2. Оценка результатов измерения показателя.....	208
6.1.2.3. Статистическая проверка гипотез.....	212
6.1.2.4. Синтез однофакторной модели, линейной по параметрам.....	216
6.1.2.5. Синтез однофакторной модели, нелинейной по параметрам.....	222
6.1.2.6. Синтез многофакторной модели, линейной по параметрам.....	226
6.1.2.7. Синтез двухфакторной модели, нелинейной по параметрам.....	230
6.1.2.8. Сокращение размерности факторного пространства.....	232
6.2. Назначение и расчет показателей компонентов технических систем..	237
6.3. Оптимизация	243
6.3.1. Общие понятия.....	243
6.3.2. Однофакторная однокритериальная оптимизация.....	246
6.3.3. Многофакторная однокритериальная оптимизация.....	253
6.3.4. Многокритериальные задачи принятия решений.....	257
ПРИЛОЖЕНИЯ	262
Приложение 1. Таблица соответствия установочных элементов технологическим базам.....	262
Приложение 2. Установочные элементы приспособлений.....	265
Приложение 3. Зажимные элементы приспособлений.....	271
Приложение 4 Направляющие элементы приспособлений.....	276
Приложение 5 Посадочные места станков.....	279
Приложение 6. Ориентация приспособлений на станке.....	281
Приложение 7. Классификатор переходов механической обработки.....	283
Приложение 8. Классификатор поверхностей.....	287
Приложение 9. Соответствие кодов поверхностей и переходов.....	292
Приложение 10. Показатели качества и индивидуальные условия выбора переходов.....	297
Приложение 11. Типовые маршруты обработки типовых поверхностей.....	304
Приложение 12. Основное время некоторых операций.....	309
Приложение 13. Коэффициенты для определения оперативного и штучно-калькуляционного времени для серийного производства.....	312

Приложение 14. Общеотраслевой фонд эвристических приемов.....	313
Приложение 15. Некоторые типовые решения типовых задач.....	321
Приложение 16. Массив компонентов с парными свойствами.....	324
Приложение 17. АРИЗ-77.....	326
Приложение 18. Обобщенный эвристический метод.....	328
Приложение 19. Комплексный метод поиска технических решений.....	331
Приложение 20. Статистические критерии.....	338
Приложение 21. Графики моделей и спрямляющие подстановки.....	342
ЛИТЕРАТУРА	352

Витебский государственный технологический университет

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей истории человечества определяющим фактором его развития были процессы создания и совершенствования различных технических систем (изделий и технологий) для удовлетворения разнообразных индивидуальных и общественных потребностей. Тысячи известных и безымянных изобретателей и рационализаторов (инженеров, техников, рабочих) породили в настоящий момент необъятный мир технических систем.

В условиях, когда преобразующая сила общественного производства по своим масштабам стала сравнимой с природными процессами, все острее ощущается необходимость в сознательном контроле и управлении формированием новой, технической среды жизни человека – «второй природы», вносящей существенные изменения во взаимоотношения человека с природой естественной.

Современный инженер – это не просто технический специалист, решающий узкие профессиональные задачи. Его деятельность связана с природной средой, основой жизни общества, и самим человеком. Решая свои, казалось бы, узко профессиональные задачи, инженер активно влияет на человека, общество, природу и не всегда наилучшим образом. Действительно, горький опыт лавины аварий и катастроф, обрушившихся на нас в последние годы, подтверждает, что именно в узкопрофессиональном стиле инженерного мышления, лишенного системности, скрыты корни непредсказуемого поведения новой техники, которое угрожает бытию человека. Таким образом, социально-экономическая направленность работы инженера становится совершенно очевидной в рамках рыночной экономики, когда он вынужден приспособливать спроектированные им изделия к рынку и потребителю.

Задача современного инженерного корпуса – это не просто создание технического устройства, механизма, машины и т.п. В его функции входит также обеспечение их нормального функционирования (не только в техническом смысле), удобство обслуживания, бережное отношение к окружающей среде, наконец, благоприятное эстетическое воздействие.

Если инженер-проектировщик не предусмотрел того, что наряду с экономическими требованиями и техническими требованиями эксплуатации должны быть соблюдены также и требования безопасного, бесшумного, удобного и экологичного применения инженерных устройств, то из средства служения людям техника может стать враждебной человеку и даже подвергнуть опасности само его существование на земле.

Процесс создания любой технической системы состоит из двух основных стадий: проектирования и изготовления. По мере усложнения техники именно стадия проектирования начала определять длительность цикла и уровень затрат на создание системы, а также ее качество. Последнее особенно важно, т.к. качество технических систем закладывается при проектировании, а при изготовлении его можно только сохранить, но никак не улучшить.

Для того, чтобы добиться успеха при решении инженерных задач, инженер-механик, который будет заниматься проектированием, наряду со знаниями и умениями, полученными в процессе обучения, должен: компетентно и уве-

ренно разбираться в основных идеях научных дисциплин, лежащих за пределами данной узкой специальности; уметь выдумывать полезные идеи или принципы, лежащие в основе вещей или процессов, предназначенных для достижения поставленных целей; уметь принимать решения в условиях неопределенности и др.

Статистические исследования [19] 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 20-го века производительность труда в производстве выросла 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

$$H = M \cdot E \cdot T / I \cdot D \cdot B,$$

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.

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 т.д. 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, использование и ликвидацию. Рекомендуется использовать в процессе проектирования и планирования имитационные модели, которые с достаточной полнотой отражают поведение проектируемой технической системы в условиях, близких к условиям ее эксплуатации в реальной среде, и предусматривают работу в диалоговом режиме. Такой комплексный подход к задаче проектирования называют системным.

Таблица

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 проч.?	Потребители и торгующие организации
В какой мере объект будет согласован с другими изделиями или конкурировать с ними?	Другие заказчики
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

Необходимость повышения производительности инженерного труда привела к его значительной дифференциации. Сейчас нет просто инженеров, а есть инженеры-конструкторы, инженеры-технологи, инженеры-дизайнеры и т.д. Вместе с тем, все более явственны новые тенденции к интеграции, связанные с изменением технологии инженерного труда и с изменением понимания процесса проектирования.

Но в настоящее время учебный процесс подготовки инженеров в основном построен на упражнениях в решении 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 учебной дисциплины «Основы теории проектирования технических систем» являются:

1) формирование основ профессионального мировоззрения специалиста с системным инженерным мышлением, главной функцией которого будет проек-

тирование технологического оборудования, оснастки или технологических процессов изготовления машин;

2) обучение навыкам постановки и решения нетиповых (поисковых) задач проектирования;

3) выявление и раскрытие творческих наклонностей и способностей, о которых будущий инженер может и не подозревать;

4) повышение творческого потенциала специалиста.

В последние годы вышел в свет ряд книг [1 ... 26], посвященных методике проектирования, однако учебно-методических пособий, отвечающих потребностям обучения инженеров творческому подходу к проектированию, крайне мало [6, 19, 22]. В предлагаемом пособии с системных позиций обобщены работы в области общей методики проектирования с учетом идей функционально-стоимостного анализа (ФСА) и теории решения изобретательских задач (ТРИЗ).

Пособие состоит из шести глав и двадцати приложений. *Первая глава* посвящена анализу основных свойств технических систем, методов их моделирования, управления и эволюции. *Во второй главе* рассматриваются основные критерии качества технических систем. *В третьей* – различные стратегии проектирования и инженерного прогнозирования. Там же рассматриваются типовые проектные процедуры и массивы типовых компонентов машин и методов обработки. *Четвертая глава* посвящена раскрытию методов морфологического проектирования (устройств и процессов) при информационном поиске технических решений. *В пятой главе* рассматриваются методы индивидуального и группового технического творчества. *Шестая глава* посвящена методам параметрического синтеза технических систем, то есть назначению и оптимизации ее показателей.

Пособие адресуется в первую очередь студентам, которые к началу изучения этой дисциплины уже имеют общетехническую подготовку, достаточную, чтобы воспринимать основные положения теории и разбираться в приводимых примерах. Чтобы примеры решения задач проектирования были понятны и обзорны, они должны относиться к относительно несложным объектам из области техники, соответствующей профилю специальности студента. Но, тем не менее, методика проектирования технических систем, в общем, не зависит от объекта проектирования и может быть использована в различных областях техники и технологии.

Для повышения эффективности обучения материал в каждой главе разделен на блоки. Блок представляет собой отрывок информации и умственных действий, вызывающих заранее намеченное развитие познавательного процесса. Используются следующие виды блоков: 1. ВБ – *вводный блок*; 2. ИБ – *информационный блок*; 3. РБ – *расширяющий блок*; 4. КБ – *контрольный блок*; 5. ПБ – *проблемный блок*.

Основные сведения курса изложены в информационных блоках. Их компактность достигается путем структурирования информации, вычленения основных понятий и стержневых идей, использования графических и логических схем, точных и кратких формулировок.

В состав ИБ органично включены расширяющие блоки, дополняющие и конкретизирующие отдельные положения, разъясняющие наиболее трудные для понимания и усвоения сведения. Проблемные блоки призваны будить мысль, подталкивать к собственным выводам, для которых уже накоплены необходимые знания. Ошибки, сделанные в процессе разрешения поставленной в ПБ проблемы, вовремя замеченные, проработанные и самостоятельно исправленные, могут дать для интеллектуального развития гораздо больше, чем чужие готовые, взятые без труда выводы.

Назначение вводного блока – сформулировать цель изучения раздела и указать на информацию, необходимую для понимания и усвоения знаний, излагаемых в ИБ и РБ раздела. Контрольные блоки предназначены для самопроверки правильности понимания главных идей и обеспечения прочности усвоения. Ни в коем случае не следует переходить к изучению следующего материала, пропустив контрольный блок.

Обычно работа над пособием должна строиться по схеме последовательных переходов от одних блоков к другим:

$$ВБ \rightarrow ИБ \rightarrow КБ \rightarrow РБ \rightarrow КБ \rightarrow ПБ \rightarrow КБ.$$

Однако блоки не всегда имеют постоянное место в структуре изложения. При самостоятельном изучении каждый студент может выбрать для себя наиболее подходящую схему обучения в соответствии с поставленной целью и имеющимися возможностями.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

1.1. Основные понятия

ВБ

В основе любой научной или учебной дисциплины лежит относительно небольшой набор четко определенных понятий. Система таких понятий должна позволить на одном языке судить о разных объектах техники и технологии и достаточно четко сопоставлять их свойства. При формировании основных понятий авторы руководствовались следующими принципами:

- 1) каждое понятие должно иметь отношение ко всем известным техническим объектам и процессам;
- 2) понятия должны отражать основные свойства технических систем, с которыми приходится иметь дело при их проектировании и изучении;
- 3) вводимые понятия должны в наибольшей мере использовать и учитывать сложившуюся в технических науках терминологию.

ИБ1

Существует множество определений понятия "система". Самым общим и широким является следующее. Система – это объективное единство закономерно связанных друг с другом объектов, явлений, а также знаний о природе и обществе. В зависимости от поставленной задачи, в различных конкретных ситуациях можно (и нужно) пользоваться другими, более полными определениями, включающими такие понятия, как: компоненты, отношения, цель, связи, структура, а иногда и субъект, решающий задачу. "Рабочее" определение системы может уточняться, расширяться или сужаться в зависимости от хода решения задачи. Оно помогает исследователю (разработчику) начать описание системы.

В курсе ОТПТС рассматриваются только технические, то есть искусственные материальные и абстрактные (идеальные) системы, создаваемые или созданные человеком для определенного (полезного) назначения. Поэтому в дальнейшем будем пользоваться следующими понятиями и определениями.

***Техническая система** – целостная совокупность составляющих ее частей (подсистем, компонентов, элементов), между которыми имеются существенные устойчивые отношения, закономерно обуславливающие свойства системы как целого и позволяющие выделить её из окружающей среды. Система как целое обладает особым, системным свойством (свойствами), которого нет у ее компонентов при любом способе декомпозиции.*

Этому понятию соответствуют с одной стороны различные приспособления, механизмы, приборы, машины и сооружения, а с другой – процессы преобразования материала, энергии и/или информации (сигналов), которые осуществляются при их эксплуатации. Это преобразование производится с помощью технической системы в четко определенной последовательности и удовлетворяет определенную потребность.

Таким образом, можно все технические системы условно разделить на два класса: устройства или **технические объекты** (ТО) и **технологические** (технические) **процессы** (ТП).

Элементом системы будем называть ее часть, которая является пределом ее членения на части с точки зрения конкретной решаемой задачи. Термин "**подсистема**" подчеркивает, что такая часть рассматриваемой системы должна обладать всеми указанными выше признаками системы. **Компонент** – термин, объединяющий понятия подсистема и элемент.

РБ1

Любая система обладает рядом диалектически взаимоисключающих признаков:

- 1) **целостность** и **делимость**;
- 2) **изолируемость** и **коммуникативность**;
- 3) **наблюдаемость** и **неопределенность**;
- 4) **отображаемость** и **нетождественность**.

Целостность обозначает, что совокупность взаимосвязанных частей, рассматриваемых в качестве системы, какова бы ни была их природа, представляет собой некоторое единство, обладающее общими (системными) свойствами и поведением, которые не свойственны ее составляющим. **Делимость** обозначает, что целостный объект всегда рассматривается как состоящий из частей (компонентов).

Изолированность обозначает, что комплекс взаимосвязанных компонентов, образующих систему, можно ограничить от его окружения и рассматривать изолированно. А **коммуникативность** обозначает, что система не изолирована от других систем, а связана множеством коммуникаций со средой (окружением), из которой она выделена. Эти коммуникации называются входами, если через них среда оказывает воздействие на систему, и выходами, если через их посредство система оказывает воздействие на среду.

Наблюдаемость обозначает, что все без исключения свойства системы могут быть либо контролируемы, либо, в крайнем случае, наблюдаемы. А **неопределенность** обозначает, что невозможно одновременно фиксировать все свойства системы.

Отображаемость обозначает, что система любой сложности может быть отображена конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определенную грань ее сущности и может быть использована для решения определенной задачи. **Нетождественность** отображения обозначает, что отображение свойств системы при помощи моделей является приближенным, относительным.

Кроме того, все системы обладают еще одним признаком – **иерархичностью**, которая означает, что компонент системы также является системой, но более низкого уровня; а рассматриваемая система, в свою очередь, является компонентом более широкой системы.

КБ1

Попытайтесь приложить определение понятия «техническая система» и взаимоисключающие признаки системы к известному Вам из курса «Детали машин» устройству (например, редуктор или муфта) и к известному Вам из курса «Технология конструкционных материалов» технологическому процессу (например, получения отливки или поковки).

Ответьте на следующие вопросы:

1. Какими взаимоисключающими признаками обладает любая техническая система?
2. От чего зависит и что включает "рабочее" определение понятия техническая система?
3. Как связаны следующие признаки системы: целостность, изолируемость и наблюдаемость?
4. Как связаны следующие признаки системы: наблюдаемость и отображаемость?
5. В чем, по Вашему, принципиальная разница между ТО и ТП?
6. Как связаны свойства технической системы и ее компонентов?

ИБ2

Окружающая среда – реально существующее (ближайшее) окружение (другие системы), которое имеет с рассматриваемой системой определенные отношения. *Свойства системы проявляются через ее отношения с окружающей средой и характеризуют ее как нечто целое, нерасчлененное на части.*

Отношения – отражают характер упорядочения, расположения и взаимозависимости компонентов системы. Компоненты системы, вступая в определенные отношения, утрачивают часть своих свойств, которыми они потенциально обладали в "свободном" состоянии.

Основными видами отношений являются: *пространственные, временные, логические, причинные и иерархические.*

Пространственные отношения характеризуют взаимное расположение компонентов системы в пространстве (расстояния, относительные повороты), т. е. компоновку системы. **Временные отношения** описывают упорядочение событий (поведения компонентов системы) во времени. **Логические отношения** (типа ЕСЛИ-ТО, И-ИЛИ и т. д.) определяют поведение компонентов системы в зависимости от изменений в окружающей среде или внутри системы.

Связи (причинные отношения) отражают процессы обмена между компонентами системы (системой и окружающей средой) веществом, энергией и (или) информацией. Связи, через которые воздействие окружающей среды передается системе, называются **входами**. А связи, через которые система воздействует (материально, энергетически и/или информационно) на окружающую среду, называются **выходами**. Выход одного из компонентов системы является одновременно входом какого-либо другого компонента.

Иерархические отношения – характеризуют принадлежность компонента В системе А, соподчиненность, опосредованность связей компонентов системы.

Свойства любой технической системы можно разбить на две независимые группы. Первую из них образуют свойства, которые определяют "границу" системы, отделяющую ее от других систем. Главное, что отличает одну техническую систему от другой, это то, какую потребность она позволяет удовлетворять. Свойства, различимые по этому признаку, в технике принято называть **функциями**. Все остальные свойства технических систем относятся ко второй группе и называются (оцениваются) **показателями**.

Функция системы – это ее свойство, определяемое через *действие (Д)*, которое в фиксированных *условиях (У)* данная система оказывает на "внешний"

по отношению к ней объект (систему). Действие системы описывается следующими словами: сохранение, изменение, накопление, измерение и т.д. Условия реализации действия определяются через совокупность отношений системы и окружающей среды, в том числе и *объектом* (O), на который направлено действие. Для полного описания функции (Φ) необходимо указывать *начальное* (H) и *конечное* (P) состояния объекта воздействия. Понятие "внешний" по отношению к объекту, на который направлено действие, является относительным. Можно, а в некоторых случаях и нужно, считать такой объект временным компонентом системы.

Функцию системы можно отразить следующим символьным выражением:

$$\Phi = \langle D \rightarrow O; H \rightarrow P; Y \rangle$$

Примеры описания функций технической системы приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Примеры описания функций технической системы

Техническая система	Компоненты описания		
	D	O	Y
Ключ	Открывает	замок	при его повороте
Ленточный транспортер	Транспортирует между двумя точками в пространстве	сыпучие грузы	при угле наклона не более 20 градусов
Шариковый подшипник	Снижает момент сопротивления вращению	вала вокруг своей оси	если он собран с валом и корпусом
Процесс закалки	Повышает твердость	детали	если она нагревается до определенной температуры и быстро охлаждается

Можно еще сказать, что функция технической системы описывает ее способность преобразовывать входные объекты (материальной, энергетической и (или) информационной природы) в требуемые выходные объекты путем упорядоченного использования природных явлений и законов.

Функционированием системы будем называть процесс преобразования ресурсов в результат, соответствующий ее назначению.

Определение функции приложимо и к компонентам системы. Для реализации функции системы необходимо функционирование всех ее компонентов. При этом результат функционирования одних компонентов системы обеспечивает необходимые условия для функционирования других ее компонентов. Следовательно, функция системы представляет собой упорядоченное множество компонентов (подфункций), между которыми обязательно существуют определенные отношения. Кроме того, каждая техническая функция характеризуется определенной степенью сложности. Самую нижнюю ступень в иерархии сложности занимают элементарные функции. Сложную функцию (систему) можно разделить на компоненты, между которыми имеются определенные от-

ношения. Поэтому *функция системы в свою очередь может рассматриваться как система.*

РБ2.1

Функции технических систем (и их компонентов) можно разделить на следующие группы:

- *по области проявления* – общесистемные (внешние) и внутрисистемные (внутренние);
- *по роли в удовлетворении потребностей*: среди внешних – главные (эксплуатационные), дополнительные и второстепенные, а среди внутренних – основные (рабочие) и вспомогательные;
- *по степени необходимости* – необходимые (полезные) и излишние (бесполезные и вредные);
- *по характеру проявления* – номинальные (требуемые), действительные (реализуемые) и потенциальные (проявляются при изменении условий функционирования технической системы).

Внешняя функция выполняется системой в условиях взаимодействия с внешней средой, а **внутренняя функция** отражает действия и взаимосвязи внутри системы, принцип ее построения и особенности исполнения.

Техническая система создается для выполнения **главной полезной** (внешней) **функции** (ГПФ).

Основная функция (ОФ) – внутренняя функция, которая обеспечивает принцип работы технической системы, создает условия, необходимые для осуществления внешних функций. Она непосредственно не связана с назначением технической системы и является в большинстве случаев результатом тех конструкторских, технологических или организационных решений, которые используются для реализации ГПФ. Без строго заданной, установленной совокупности (набора) основных функций не может быть осуществлена главная полезная функция. По содержанию различают основные функции: *приема* (ввода), *передачи*, *преобразования*, *хранения* (вещества, энергии, информации), *выдачи* (отдачи) результатов.

Так, например, ГПФ токарного станка "осуществлять формообразование поверхностей вращения" нельзя будет реализовать без некоторого набора основных функций. Например, таких как: "вращать заготовку", "перемещать инструмент (резец)", "связывать скорости вращения и подачи резца", "изменять частоту вращения заготовки", "потреблять электроэнергию" и т. д.

Вспомогательная функция (ВФ) – внутренняя функция, которая способствует выполнению нескольких основных либо обусловлена этими функциями, их взаимодействием между собой. Различают: *соединительные*, *изолирующие* (прокладки), *фиксирующие* (шпильки), *направляющие*, *гарантирующие* (предохранители) и другие ВФ. Вспомогательные функции приспособляют средства реализации ГПФ или ОФ к реальным условиям функционирования, делают их более удобными для пользователя, повышают эффективность проявления ГПФ и ОФ.

Дополнительная функция (ДФ) направлена не на объект ГПФ, а на какие-то компоненты надсистемы либо на саму техническую систему в целом (ориентация и закрепление станочных приспособлений на столе станка).

Ненужная (излишняя) **функция** (НФ) не оказывает влияния на ГПФ или ОФ. Такие функции чаще всего появляются в результате ошибок проектирования (т. е. такого видоизменения технической системы, при котором оставлены функции, не нужные в новых условиях потребления). **Вредные функции** (ВрФ) вызывают нежелательные эффекты в технической системе или в окружающей среде (нагрев, выделение вредных веществ).

КБ2.1

Ответьте на следующие вопросы:

1. Как проявляются свойства технической системы?
2. Что характеризуют (отражают) пространственные отношения?
3. Что характеризуют (отражают) временные отношения?
4. Что характеризуют (отражают) логические отношения?
5. Что характеризуют (отражают) иерархические отношения?
6. Что характеризуют (отражают) связи?
7. Запишите символическое выражение функции технической системы и объясните значения символов.
8. Приведите естественное описание функций подъемного крана и автобуса.
9. Почему функцию системы можно рассматривать как систему?
10. Чем внешняя функция отличается от внутренней?
11. Назовите основные функции стиральной машины.
12. Назовите вспомогательные функции стиральной машины.

РБ2.2

Любая сформулированная функция соответствует некоторому классу технических систем, реализующих и (или) могущих ее реализовать. С другой стороны, одна и та же техническая система может выполнять различные функции. Наиболее распространенными функциональными компонентами технических систем являются:

1) **Исходные** (исполнительные) **компоненты** – непосредственно взаимодействующие с объектом, на который направлено действие. Их функция совпадает с функцией системы. Эти компоненты расположены на "границе" системы.

2) **Несущие компоненты** – обеспечивают определенную форму технической системы, определенное взаимное расположение и / или движение других ее компонентов в пространстве.

3) **Компоненты связи** – обеспечивают определенную степень свободы движения одних компонентов системы по отношению к другим. Число степеней свободы может изменяться от 0 до 6 и быть переменным во времени.

4) **Компоненты передачи** – обеспечивают передачу на расстояние движения (энергии) с одновременным преобразованием скорости, моментов и сил, а также законов движения.

5) **Компоненты управления** – обеспечивают сбор, хранение и обработку информации для выработки информации об управляющем воздействии и передачу соответствующего сигнала исполнительным органам (двигателям, рулям, регуляторам и т.д.).

6) **Движители** – преобразуют работу двигателя или другого источника энергии в работу по преодолению сопротивления движению технической системы или другого объекта (транспортные средства, насосы, вибропитатели, толкатели и т.д.).

7) **Компоненты формирования объемов и потоков** – обеспечивают хранение и (или) перемещение необходимых по величине и форме объемов жидких или сыпучих веществ.

Например, на рис.1.1 показана сборочная единица, главной полезной функцией которой является передача и изменение направления (на 90°) движения и крутящего момента от вала-шестерни 9 к шестерне 21. Эти детали являются исходными компонентами данного устройства. Корпус 1 является несущим компонентом этой системы. А подшипники (11, 18), распорные втулки (2, 3, 20), резьбовое кольцо (6), гайка (8) и болт (23) являются компонентами связи. Компонентами передачи этой системы являются конические шестерни (15).

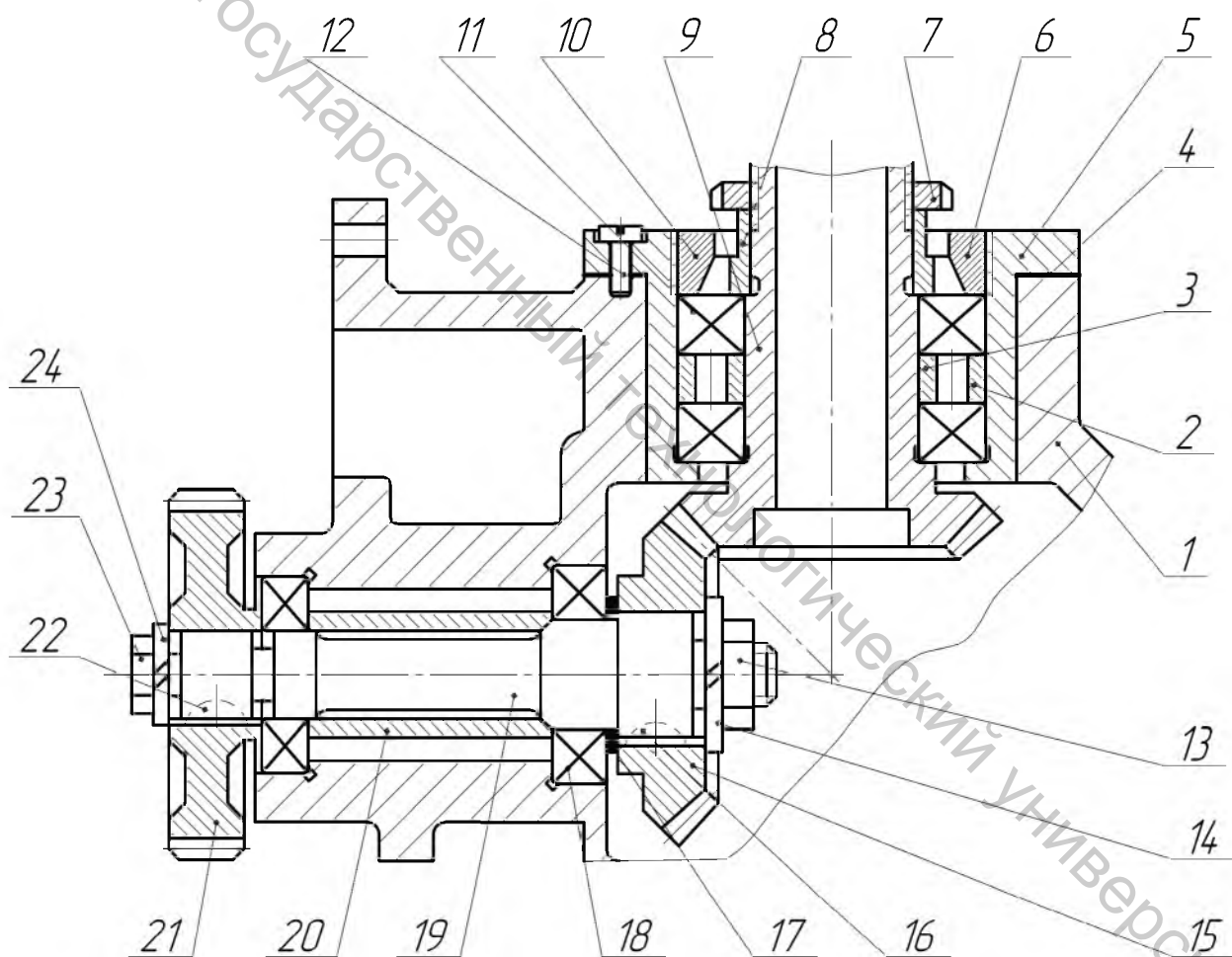


Рис. 1.1. Сборочная единица:

1- корпус; 2- втулка; 3- втулка; 4- прокладка; 5- обойма; 6- кольцо 7- шайба стопорная; 8- гайка; 9- вал-шестерня; 10- втулка; 11- подшипник (2 шт.); 12- винт (6 шт.); 13- гайка; 14- шайба пружинная; 15- колесо зубчатое; 16- шпонка; 17- прокладка; 18- подшипник (2 шт.); 19- вал; 20- втулка; 21- колесо зубчатое; 22- шпонка; 23- болт; 24- шайба пружинная.

Отдельная деталь устройства также является технической системой. Компонентами таких систем являются отдельные поверхности или группы поверхностей, выполняющие хотя бы одну функцию. По выполняемым функциям компоненты детали делятся на: 1) *основные сборочные базы*, 2) *вспомогательные сборочные базы*, 3) *рабочие поверхности*, 4) *крепежные поверхности*, 5) *поверхности коммуникации* (для организации потоков, объемов и зазоров), 6) *объединяющие поверхности*, 7) *технологические поверхности*.

Основные сборочные базы выполняют функцию ориентации детали в сборочной единице. Так шейки вала 19 (см. рис.1.1), которые опираются на подшипники 18, являются основными сборочными базами.

Вспомогательные сборочные базы выполняют функцию ориентации деталей, которые присоединяются к рассматриваемой. Так шейки вала 19 (совместно со шпоночными пазами, имеющимися на них), на которые монтируются шестерни 15 и 23 совместно со шпонками, являются вспомогательными сборочными базами.

Рабочими компонентами детали передается движение (и соответственно сила) через соответствующие компоненты другой детали. В деталях рассматриваемой сборочной единице рабочими компонентами являются зубчатые венцы шестерен 21, 15 и вал-шестерни 9.

Крепежными обычно являются резьбовые отверстия или наружные резьбы, например, на болтах. К ним относят также отверстия под болт или винт (см. рис.1.1 отверстия под винты 12). Через **поверхность коммуникации** проходят, не соприкасаясь, другие детали сборочной единицы. Например, через отверстие корпуса 1 проходит, не соприкасаясь, втулка 20. Поверхности коммуникации (отверстия и канавки) служат также для подвода смазки, охлаждения и т.д.

Функцией **объединяющих поверхностей** является объединение детали в единое целое. **Технологические поверхности** (фаски и канавки) служат для облегчения взаимной ориентации или сопряжения соединяемых деталей при сборке или для выхода инструмента при отделочной обработке.

В технической системе иногда трудно выделить функциональные компоненты. *Нередко один компонент выполняет несколько функций.* В таких случаях можно в зависимости от обстоятельств присваивать ему все его функции или одну, важнейшую.

На выполнение (реализацию) функции обычно требуются затраты ресурсов (времени, материала, энергии, информации и финансов). Минимальный их уровень называют функционально необходимым. Затраты, необходимые на создание носителя функции, называют производственными затратами на функцию. Затраты на использование (эксплуатацию) носителя функции называют эксплуатационными затратами на функцию.

КБ2.2

Ответьте на следующие вопросы:

1. Могут ли совпадать несущие компоненты технической системы с компонентами формирования объемов и потоков? Если да, то приведите примеры.
2. Укажите исходные компоненты автомобиля.

3. Назовите компоненты связи токарного станка.
4. Назовите компоненты управления автомобиля.
5. Приведите конкретный пример двигателя.
6. Укажите основную сборочную базу детали 15 (рис. 1.1).
7. Укажите вспомогательную сборочную базу детали 1 (рис. 1.1).
8. Укажите на рис. 1.1 компоненты, которые выполняют несколько функций.

ИБЗ

Показатели можно разбить на два класса: **количественные** и **качественные**. К первому относят те показатели, которые имеют определенную интенсивность (количественную характеристику) и могут изменяться лишь в сторону увеличения или уменьшения этой интенсивности. Например: *масса, габарит, КПД, мощность, производительность, стоимость* и т.д. Количественные показатели описываются следующими видами величин: *размерными* или *безразмерными*, *абсолютными* или *относительными*, *дискретными* или *непрерывными*, *детерминированными* или *случайными*.

Количественный показатель является положительным, если его значение желательно (исходя из надсистемных, очевидных соображений) **увеличивать**, и **отрицательным** – если его значение желательно уменьшать (вплоть до нуля). Многие количественные показатели характеризуют интенсивность и качество выполнения функций технической системы.

Ко второму классу относят показатели, которые невозможно охарактеризовать числом. Это: принцип действия, тип привода, тип компоновки, цвет, химический состав и т.д. Однако качественные показатели различных систем часто бывает возможно расположить в некотором порядке, так, чтобы их множество напоминало градацию одного свойства.

РБЗ

Показатели можно также классифицировать и по другим признакам:

- а) *по значимости для выполнения функции* (важные, неважные и несущественные, а также ненужные, вредные);
- б) *по связи с другими показателями* (независимые и зависимые);
- в) *по физической природе* (геометрические, механические, тепловые, оптические и т.д.);
- г) *по воздействию на человека* (удобство обслуживания, физическая и психологическая утомляемость, эстетическое воздействие);
- д) *по качеству функционирования* (надежность, безопасность и т.д.).

Совокупность значений показателей системы в определенный момент времени называется **состоянием** системы. Например, состояние поверхности детали описывается значениями следующих показателей: размеров и допусков на них, показателя шероховатости *Ra* и твердости.

Поведение системы описывается множеством последовательных во времени состояний. Эти изменения состояний могут быть вызваны намеренно (например, при обработке объекта производства) или самопроизвольно (например, под действием релаксации внутренних остаточных напряжений).

Совокупность устойчивых отношений между компонентами системы образует ее **структуру**. А совокупность компонентов системы и устойчивых отношений между ними характеризует **конфигурацию** системы. Например, для описания структуры системы, показанной на рис 1.1, достаточно дать характеристику связей между ее компонентами, при этом каждый компонент обозначается только соответствующим номером. А для описания ее конфигурации необходимо кроме связей приводить характеристики каждого компонента.

КБЗ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Каким показателем является размер детали?
2. Каким показателем является производительность насоса?
3. Каким показателем является себестоимость продукции станка?
4. Каким показателем является амплитуда колебаний шпинделя работающего станка?

При ответах учтите все классификационные признаки.

5. Чем отличается структура технической системы от ее конфигурации?

ИБ4

Процесс преобразования (ТП) представляет собой совокупность упорядоченных **технологических операций** – компонентов системы преобразования. Различают **рабочие** и **вспомогательные технологические операции**. К рабочим относятся операции: 1) формообразования (изменения формы и размеров); 2) изменения физико-механических свойств (твердости); 3) сборки (образования соединений, регулировки, балансировки, совместной притирки); 4) отделки (удаления заусенцев, нанесения покрытий, полирования, окраски, маркировки); 5) упаковки.

Вспомогательные операции обеспечивают условия для выполнения рабочих операций. Например, прежде чем обрабатывать заготовку на станке, ее нужно соответствующим образом сориентировать относительно системы координат станка и закрепить так, чтобы эта ориентация не изменялась под действием сил резания.

С другой стороны, технологические операции подразделяются на три вида: 1) **внутрицикловые** рабочие 2) **внутрицикловые** вспомогательные; 3) **внецикловые** вспомогательные. Внутрицикловые технологические операции осуществляются во время функционирования технической системы.

Внутрицикловые вспомогательные операции могут быть **информационными** и **неинформационными**. В первом случае обеспечивается условное или безусловное управление работой технической системы. А во втором – изменяется положение объектов обработки в пространстве и во времени и (или) взаимное расположение рабочих органов.

Внецикловые вспомогательные операции осуществляют техническое обслуживание технической системы, поддерживают или восстанавливают ее работоспособное состояние.

Технологический (технический) процесс как система всегда имеет побочные (нежелательные) входы (помехи) и выходы (отходы). Их необходимо учи-

тивать и анализировать. Например, нежелательными входами при механической обработке являются непредсказуемое изменение (в пределах допуска) размеров и твердости заготовки, а также затупление инструмента. А отходами при механической обработке являются стружка и отработанная охлаждающая жидкость. Эти отходы необходимо как-то транспортировать и утилизировать.

РБ4

Временная структура технической системы (технологической машины или операции) характеризует ее с одной стороны количественно, указывая сколько (один или несколько) одинаковых компонентов содержит система. А с другой стороны, характеризует способ совмещения функций и компонентов системы во времени и пространстве.

Рассмотрим понятие *временная структура технической системы* на примере *технологической операции механической обработки*, которая состоит из *элементарных, инструментальных и вспомогательных* переходов, выполняемых на одном рабочем месте с помощью определенного оборудования и оснастки.

Элементарным переходом будем называть законченный процесс образования одной типовой поверхности детали при ее обработке одним инструментом с конкретными режимами резания. **Инструментальным** переходом называется законченный процесс образования нескольких типовых поверхностей детали одним инструментом с конкретными режимами резания. **Блочным** называют переход, при котором выполняется законченный процесс образования нескольких поверхностей с помощью всех инструментов, закрепленных в блоке (суппорте, многошпиндельной головке и т. д.).

Вспомогательным переходом называют часть процесса, связанного со вспомогательными движениями рабочего и (или) механизмов станка, которые циклично повторяются и необходимы для выполнения процесса обработки детали на станке.

Количество рабочих позиций станка, инструментов и заготовок в каждой рабочей позиции, характер совмещения переходов и заготовок в рабочей позиции, характер совмещения вспомогательных и инструментальных переходов, способ получения размера и смены инструмента определяют **временную структуру операции**. Классификация структур операций по указанным признакам осуществляется следующим образом. По количеству рабочих позиций P на станке операции делятся на: **однопозиционные** (P_1) и **многопозиционные** (P_n). В зависимости от количества инструментов I (переходов) в каждой рабочей позиции различают: **одноинструментальные** (I_1) и **многоинструментальные** (I_m) операции. В зависимости от количества заготовок D , обрабатываемых в каждой позиции, различают: **однодетальные** (D_1) и **многодетальные** (D_k) операции.

По способу совмещения переходов и заготовок в рабочих позициях различают: **несовмещенные** (0) операции, операции с **последовательным** (1) или **параллельным** (2) совмещением переходов и (или) заготовок, а также операции с **последовательно-параллельным** совмещением (3). Обычно обработка в раз-

ных рабочих позициях станка проводится одновременно (параллельно), но бывают станки, где обработка в разных рабочих позициях проводится последовательно, то есть пока идет обработка в одной из позиций, инструменты в других простаивают. Способ совмещения кодируется соответствующим символом (0, 1, 2 или 3), который записывается как показатель степени над символами качественных признаков (П, И и D).

По характеру совмещения вспомогательных и инструментальных переходов различают: *однозонные периодические* (3_1^n), *двухзонные периодические* (3_2^n) и *двухзонные непрерывные* (3_2^n) операции. В первом случае на станке рабочая зона совпадает пространственно с зоной загрузки заготовки. Следовательно, совмещение во времени вспомогательных и инструментальных переходов невозможно. В двухзонных операциях зона загрузки выделена пространственно и поэтому вспомогательные переходы могут полностью или частично совмещаться во времени с инструментальными.

В периодических операциях после выполнения рабочих движений инструмент и (или) заготовка возвращаются в исходное положение. То есть, выполняется вспомогательный переход, не совмещенный с инструментальным. А в непрерывных операциях вектор подачи заготовки в рабочую зону совпадает с вектором рабочей подачи, обработка ведется "на проход", поэтому нет необходимости в выполнении вспомогательного перехода возврата в исходное положение.

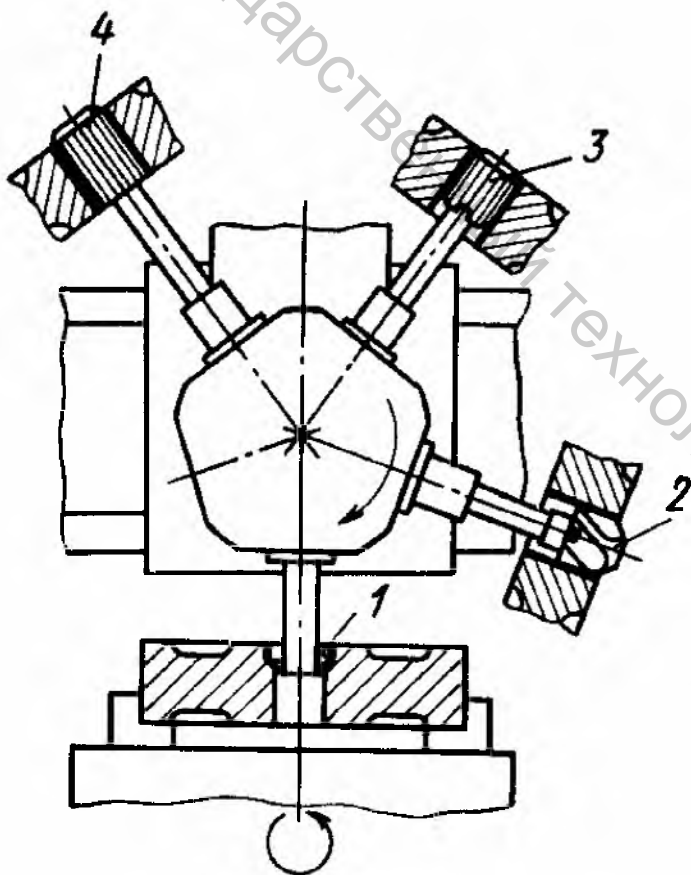


Рис. 1.2. Схема операции обработки отверстия на токарно-карусельном станке

Операции, выполняемые на универсальных станках (токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных), обычно являются однопозиционными и однозонными периодическими. Если обработка одной заготовки ведется одним инструментом, то код временной структуры такой операции имеет вид $P_1^0 I_1^0 D_1^0 Z_1^n$.

На рис. 1.2 ... 1.5 показаны некоторые примеры структур операций. В операции, показанной на рис. 1.2, отверстие обрабатывается последовательно раз-

ными инструментами. Поэтому код временной структуры такой операции имеет вид $P_1^0 I_m^1 D_1^0 Z_1^n$.

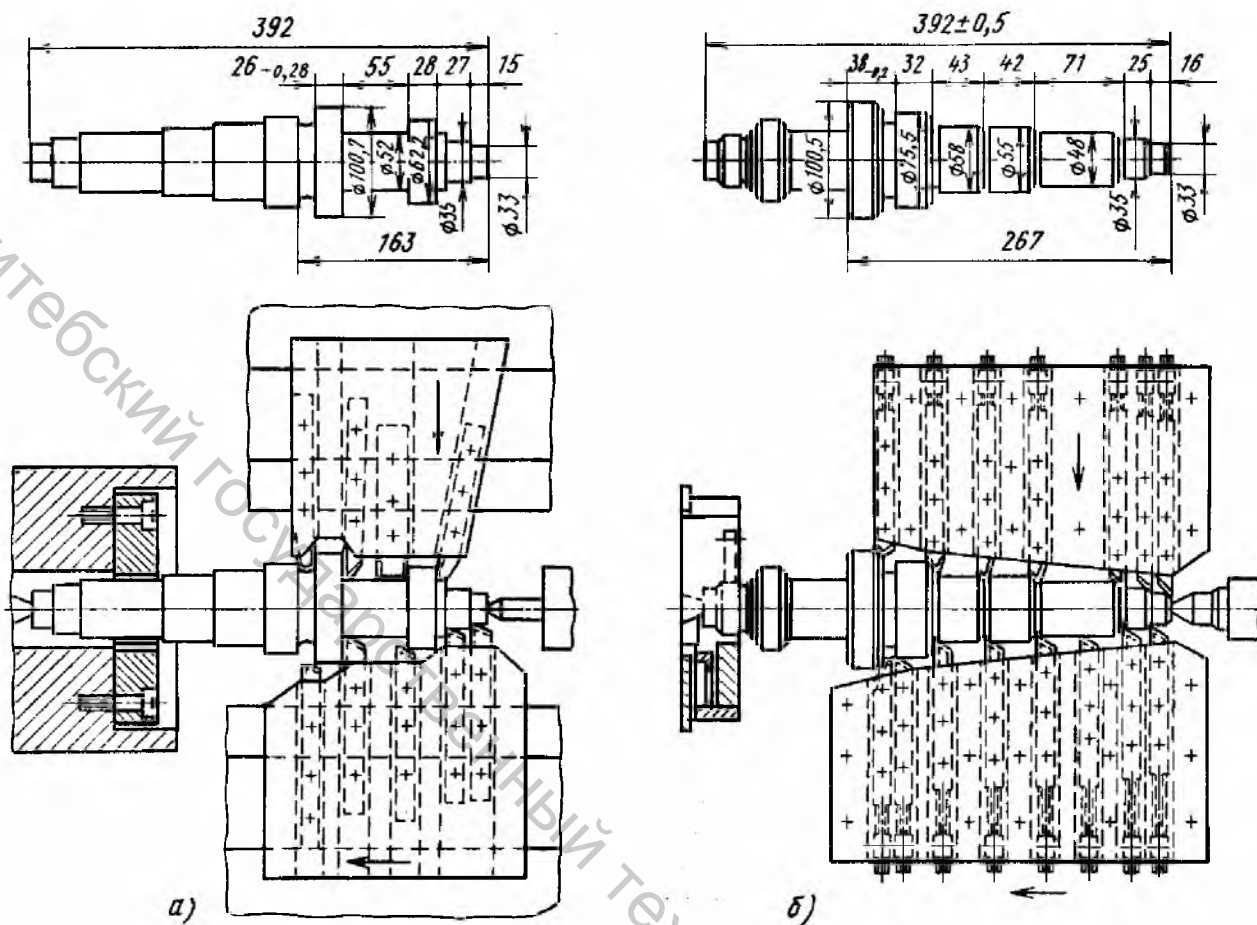


Рис. 1.3. Схема операции обработки вала на многолезцовом полуавтомате

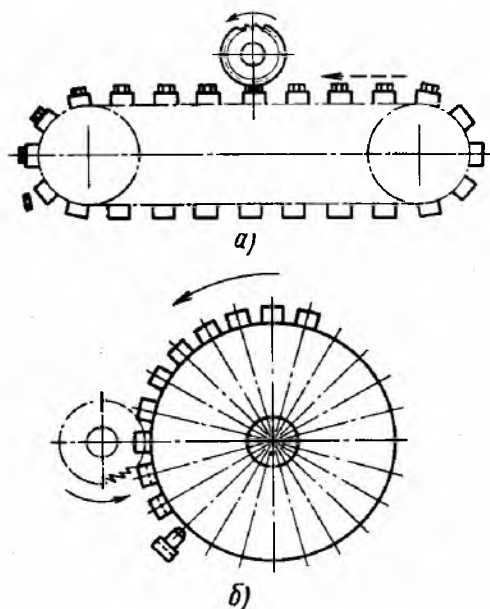


Рис. 1.4. Схемы операций обработки деталей на фрезерных полуавтоматах

Обработка вала (рис. 1.3) ведется двумя блоками резцов. Один из которых осуществляет продольное, а другой поперечное точение. Оба блока работают одновременно. Поэтому код временной структуры такой операции имеет вид $P_1^0 I_m^2 D_1^0 Z_1^n$. В операциях, показанных на рис. 1.4, в рабочую зону последовательно и непрерывно подаются фрезеруемые заготовки. Загрузка заготовок и выгрузка обработанных деталей осуществляется вне рабочей зоны. Поэтому код временной структуры такой операции имеет вид $P_1^0 I_1^0 D_{\kappa}^1 Z_2^n$.

Временная структура операции определяет структуру и уровень затрат времени на ее выполнение.

Любая техническая система должна иметь, по крайней мере, две шкалы оценок: экономической эффективности и качества выполнения возложенных на систему функций. Эффективность функционирования технической системы определяется экономической целесообразностью ее использования.

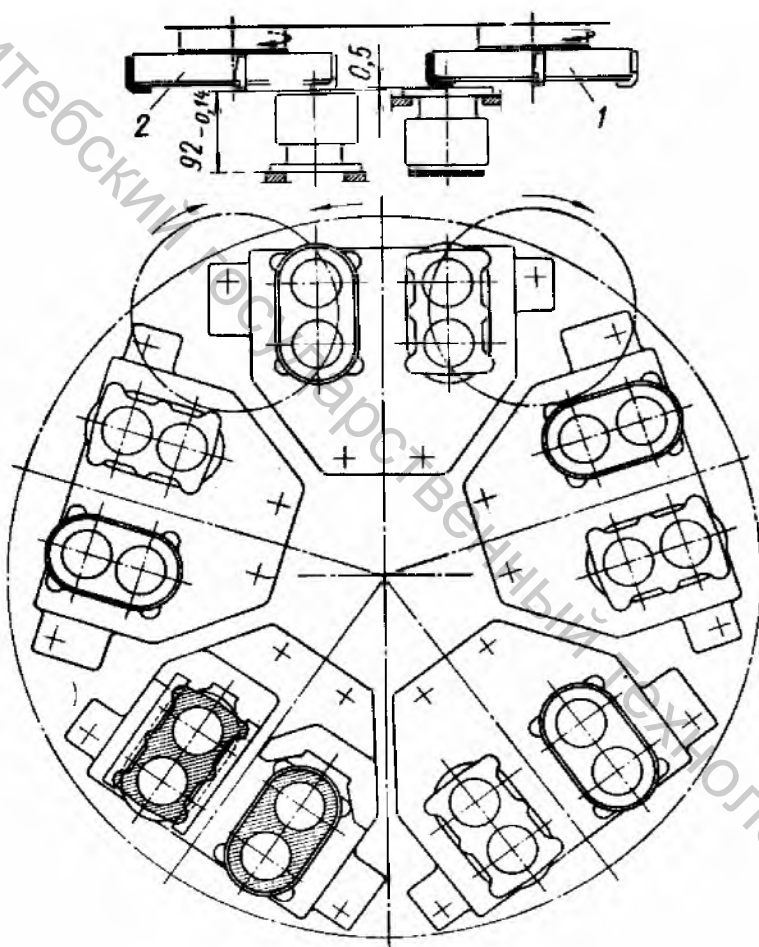


Рис. 1.5. Схема операции фрезерования детали с двух сторон на карусельном полуавтомате

КБ4

Ответьте на следующие вопросы:

1. Дайте определение понятию «технический (технологический) процесс».

2. Почему технологический процесс следует считать технической системой?

3. Чем технический процесс отличается от технического объекта?

4. Чем различаются рабочее и вспомогательные операции?

5. Назовите нежелательные входы в технологическом процессе шлифования на высокоточном оборудовании.

6. Дайте определение понятию «технологическая операция механической обработки».

7. Какая разница между элементарным и инструментальным переходом?

8. Какая разница между блочным и инструментальным переходом?

9. Что характеризует

временная структура операции?

10. Как различают операции по количеству компонентов?

11. Как различают операции по способу совмещения переходов и заготовок?

12. Как различают операции по способу совмещения рабочих и вспомогательных переходов?

13. Запишите (с обоснованием) код временной операции, изображенной на рис. 1.5.

1.2. Моделирование технических систем

1.2.1. Модель и информация

ВБ

При проектировании технических систем обычно прибегают к моделированию, при котором синтезу и анализу (исследованию) подвергается уже не сам объект проектирования, а его модель. Процесс проектирования по существу представляет собой формирование цепочки последовательно уточняемых моделей. Причем особенностью проектной модели является отсутствие материального объекта оригинала, создание которого является конечной целью проектирования. Результатом проектирования также является достаточно точная модель технической системы, необходимая и достаточная для ее изготовления и эксплуатации.

ИБ

Моделью в общем смысле (обобщенная модель) будем называть создаваемый с целью получения и (или) хранения информации специфический объект, который в форме мысленного образа, описания знаковыми средствами (схемы, формулы, графики и т. п.) либо материального предмета отражает свойства, характеристики и связи объекта-оригинала произвольной природы, существенные для задачи, решаемой субъектом (человеком).

Несмотря на некоторую громоздкость этого определения, оно имеет ясный смысл. Модель представляет собой «четыrehмestную конструкцию», компонентами которой являются:

- **субъект** (человек);
- **задача**, решаемая субъектом;
- **объект-оригинал** (фрагмент реальной действительности);
- **язык описания** или способ материального воспроизводства модели.

Особую роль в этой «конструкции» играет задача. Вводить понятие модели без четкого указания задачи, ради которой она создается, не имеет смысла. **Задачами**, которые решаются при помощи моделей, являются: 1) *проектирование технических систем*, 2) *исследование их функционирования* и 3) *управление техническими системами*. Модель имеет существенные преимущества перед оригиналом: наглядность, обозримость, доступность испытаний, легкость оперирования с ним и т.д.

Можно сказать, что каждому материальному объекту соответствует множество различных моделей, связанных с различными задачами. Например, мысленные модели некоторого предприятия, существующие в сознании его директора, главного технолога или главного экономиста, существенно отличаются, хотя объект-оригинал у них один. Каждое из перечисленных должностных лиц, решая конкретные задачи, «выстраивает» в модель различную информацию о конкретном предприятии.

Паре «задача-объект» тоже соответствует множество моделей, содержащих одну и ту же информацию, но различающихся формами ее представления. Следует всегда помнить, что *модель всегда беднее оригинала, и это ее фундаментальное свойство*. Также важным свойством модели является обязательное

наличие *ограничений* и *допущений*, связанных с решаемой задачей и свойствами объекта-оригинала.

Таким образом, между моделью и действительностью имеются следующие различия.

1) *Модель подобна оригиналу только в конечном числе отношений.*

2) *Модель проще оригинала.* Это не только допустимо, но иногда и необходимо для облегчения использования модели.

3) Из-за конечности и упрощенности *модель только приближенно отображает оригинал.*

4) *Модель называется адекватной некоторой цели*, если с ее помощью эта цель успешно достигается. *Требование адекватности не совпадает с требованиями полноты, точности и истинности.*

5) *В каждой модели есть доля истины*, которая определяется при соотнесении модели и оригинала. Кроме безусловно истинного, в модели есть и верное лишь при определенных условиях и нечто неверное, то есть не имеющее отношения к оригиналу.

Мир моделей также системен, так как модель есть системное отображение оригинала.

Целесообразная деятельность, которая осуществляется по определенному плану – алгоритму, невозможна без моделирования.

По цели модели делятся на *познавательные* и *прагматические*.

Познавательные модели являются формой организации и представления знаний, средством соединения новых знаний с имеющимися. Если такая модель расходится с действительностью, то ее необходимо изменить в сторону приближения к реальности.

Прагматические модели являются средством управления, средством организации практических действий, способом представления образцово правильных действий или их результата; то есть являются в некотором смысле *эталонами*. Если при использовании прагматической модели обнаружится расхождение модели с реальностью, то необходимо предпринять усилия для приближения реальности к модели. Прагматические модели играют роль такого эталона, под который подгоняется как сама деятельность, так и ее результат.

По *воплощению* модели делятся на *материальные* и *абстрактные*. Чтобы модель могла быть *отображением технической системы*, необходимо наличие между ними *отношений подобия* (похожести). Различают *прямое*, *косвенное* и *условное подобие*.

Прямое подобие устанавливается в процессе испытания (физического взаимодействия). Таким подобием обладают, например, модели плотины, самолета, станка и т.д.

Косвенное подобие объективно существует в природе и обнаруживается в виде совпадения или близости абстрактных математических моделей. Примером такого подобия является электромеханическая аналогия, когда процессы механических и электрических колебаний описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями.

Условное подобие устанавливается в результате соглашения (например, чертежи являются моделью будущей продукции). Такое подобие является способом материального воплощения (отчуждения от сознания) абстрактных моделей для хранения и передачи от человека к человеку (возвращения в абстрактную форму).

*Абстрактную (идеальную) модель независимо от природы объекта-оригинала, типа решаемой задачи и способа реализации называют еще **информационной**, то есть содержащей информацию о реальности.* Изначальный смысл термина "информация" как знания, сведения, сообщения, уведомления, известия, то есть то, что извлекается из образа в процессе его "осознания" и соотнесения с отображаемой системой и присущее только человеческому сознанию и общению, в некоторых ситуациях теперь рассматривается как фундаментальное свойство материи.

В потоке информации, которая циркулирует внутри технической системы и между техническими системами, можно выделить следующие процессы.

Восприятие – процесс целенаправленного извлечения информации (оценка наличия информации, измерение), в результате которого получается сигнал в форме, удобной для осуществления других процессов. При восприятии часто приходится отделять полезную информацию от вредной, искажающей реальность (от шума).

Передача информации состоит в ее переносе на некоторое расстояние посредством сигналов различной физической природы соответственно по механическому, гидравлическому, пневматическому, акустическому, оптическому, электрическому или электромагнитному каналу. Информация переносится последовательностью сигналов. Так как один и тот же объект может выступать в качестве носителя разных сигналов, то, очевидно, что в качестве сигналов используются не сами по себе объекты, а их состояния. Но не всякое состояние обладает сигнальными свойствами.

Обработка информации состоит в ее хранении, сравнении, классификации, преобразовании и т.д. Выполняется она в соответствии с поставленной целью. Информация хранится на каком-либо носителе (мозг, бумага, магнитная лента и т.д.).

Представление информации выполняется для человека с помощью демонстрации условных изображений, которые содержат ее качественные и количественные характеристики.

Воздействие информации состоит в том, что сигналы, несущие ее, иницируют процессы: изменения в системе, регулирования, защиты и управления. То есть играют роль своеобразного катализатора, направителя энергетического и материального потоков.

РБ

В качестве примера на рисунке 1.6 показана схема управления рабочим циклом круглошлифовального станка с помощью измерительного устройства ИУ, счетно-логического устройства СЛУ и исполнительного устройства ИСУ. Это управление обеспечивает за время рабочего цикла в зависимости от оставшегося припуска P (удаляемого слоя материала с заготовки 1) необходимое из-

менение скорости радиальной подачи S . При помощи измерительных рычагов 2 ИУ воспринимает информацию о значении Π . Этот механический сигнал (перемещение) в ИУ преобразуется в электрический (напряжение), пропорциональный значению Π и затем передается в СЛУ. В СЛУ производится обработка полученного сигнала (сравнение с заданными значениями Π_i и назначение сигнала, пропорционального скорости подачи) и формирование сигнала, пропорционального скорости подачи S . Этот сигнал передается в ИсУ, где преобразуется в скорость перемещения шлифовальной бабки 4. Когда заданный припуск удален, то есть $\Pi = 0$, вырабатывается сигнал на быстрый отвод бабки шлифовального круга в исходное положение.

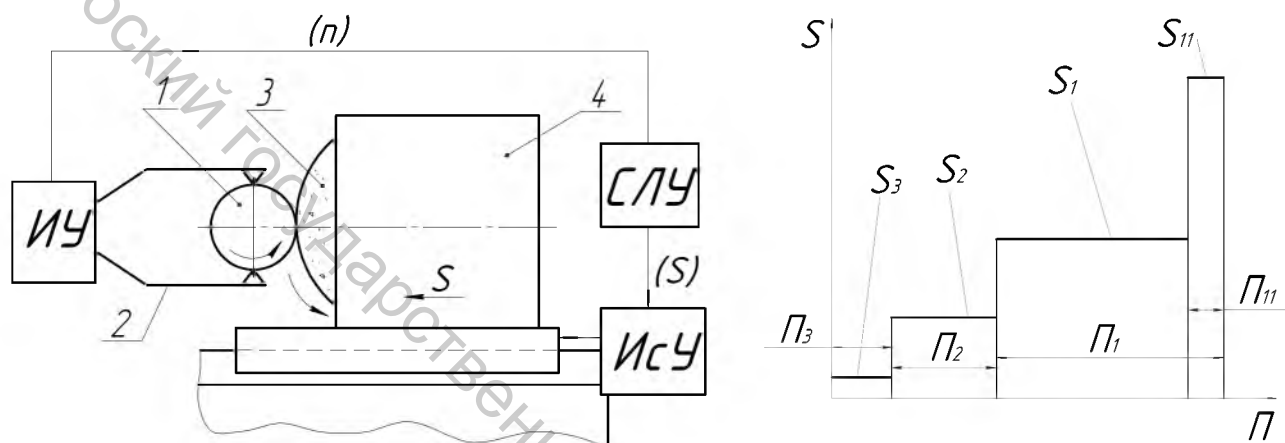


Рис. 1.6. Схема системы управления круглым врезным шлифованием

Условия, обеспечивающие установление и сохранение сигнального соответствия, называют **кодом**. Правила построения и способы использования сигналов (кодов) для передачи информации с помощью автоматизированных устройств называют **кодированием** и **декодированием**. Сигналы могут быть **статическими** (книга, фотография, состояние памяти ЭВМ и т.д.) и **динамическими** (изменение состояния электромагнитного поля или поля сил упругости в газе). Статические сигналы используются преимущественно для хранения информации, а динамические — для ее передачи. В соответствии с характером сигналов различают статические и динамические системы.

Сигналы в технических системах играют особую, очень важную роль. Если энергетические и материальные потоки, образно говоря, питают систему, то потоки информации, переносимые сигналами, организуют все ее функционирование, управляют ею.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Назовите компоненты понятия «модель» технической системы.
2. Сформулируйте определение понятия «модель технической системы».
3. Какие задачи решаются при помощи моделей?
4. Назовите различия между моделью и оригиналом.
5. На какие виды делятся модели по целям их использования?
6. На какие виды делятся модели по их воплощению?
7. В чем суть разницы между познавательными и прагматическими моделями?
8. В каких случаях модель может быть отражением технической системы?

9. Объясните разницу между прямым и косвенным подобием.
10. Зачем устанавливают условное подобие?
11. Какие процессы можно выделить в потоке информации, циркулирующей в технической системе и между ней и окружающей средой?
12. Приведите пример кодирования сигналов.
13. В чем заключается разница между статическими и динамическими сигналами?
14. Какую роль играют сигналы в технических системах?

1.2.2 Виды моделирования технических систем

ИБ1

В зависимости от характера анализируемых и отображаемых процессов, протекающих в технической системе, различают следующие виды моделирования: *детерминированное* и *стохастическое*, *статическое* и *динамическое*, *дискретное*, *непрерывное* и *дискретно-непрерывное*.

Детерминированное моделирование отображает процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий.

Стохастическое моделирование отображает вероятностные процессы и события. В этом случае анализируется набор однородных реализаций случайного процесса.

Статическое моделирование служит для описания состояния объекта моделирования в определенный момент времени.

Динамическое моделирование отражает поведение объекта моделирования во времени.

Дискретное моделирование служит для описания процессов, которые предполагаются дискретными. Например, процесс изготовления любой детали является дискретным.

Непрерывное моделирование позволяет отразить непрерывные процессы, протекающие в технической системе. Например, процесс нагрева и охлаждения станка во время его работы с перерывами.

Дискретно-непрерывное моделирование используется для случаев, когда необходимо выделить наличие как дискретных, так и непрерывных процессов в технической системе.

Каждый из указанных видов моделирования отражает только одну сторону описания. Так, динамическое моделирование может быть также и детерминированным, дискретным или непрерывным.

КБ1

Ответьте на следующие вопросы:

1. Чем отличаются объекты детерминированного и стохастического моделирования?
2. Чем отличаются объекты дискретного и непрерывного моделирования?
3. Чем отличаются объекты динамического и статического моделирования?
4. Сформируйте все возможные сочетания видов моделирования.

В зависимости от способа представления (отражения) технической системы можно выделить *мысленное* или *реальное моделирование*.

Мысленное моделирование может быть реализовано в виде *наглядного* или *символического моделирования*.

При **наглядном моделировании** на базе представлений человека о реальных объектах и процессах создаются различные наглядные модели, отражающие интересующие его вопросы. Например, схемы, графики, чертежи и т.д.

Символическое моделирование представляет собой искусственный процесс создания логического объекта, который замещает реальный и выражает основные свойства его отношений с помощью системы знаков или символов.

Например, если A , Q , X , Y или Ψ являются высказываниями или множествами компонентов (элементов), образующих техническую систему, то отношения между ними указываются следующими значками: $\wedge$ (конъюнкции – «и»), $\vee$ (дизъюнкции – «или»), $\rightarrow$ (импликации – «если..., то» или «из... следует»), $\neg$ (отрицание) и т. д. Отношения иерархии обозначаются следующим образом: $a_i \in A$ или $a_i \notin A$. Это означает, что компонент a_i принадлежит или соответственно не принадлежит системе A . Иерархические отношения могут также обозначаться при помощи кванторов общности $\forall$ «для всех» или «для любого», и существования $\exists$ «существует».

Выражение $\forall x \in X$ обозначает: для любого x из множества X . А выражение $\exists x \in X$ обозначает, что существует хотя бы один компонент x из множества X . Качественное сравнение компонентов (технических систем) осуществляется значками: $\succ$ – (лучше) или $\prec$ – (хуже).

Записанное ниже выражение

$$\exists(P_i \perp P_j) \wedge ((O_1 \perp P_j) \wedge (O_1 // P_i)) \wedge (O_{21} \perp P_i) \\ T \perp O_{21} \rightarrow P_i \quad TX(P_j) < TY(O_1) \Rightarrow P_i = \text{УСТ}; P_j = \text{НАПР}; O_1 = \text{ОПР};$$

означает: если существует комплект технологических баз, состоящий из двух взаимно перпендикулярных плоскостей $P_i \perp P_j$ и оси $(O_1 \perp P_j)$, перпендикулярной одной из них, и задан допуск перпендикулярности оси O_{21} относительно плоскости P_i , а допуск линейного размера относительно P_j $[TX(P_j)]$ меньше допуска линейного размера относительно O_1 $[TY(O_1)]$, то плоскость P_i назначается установочной базой, плоскость P_j направляющей, ось O_1 опорной.

Одним из видов символического моделирования является *математическое моделирование*. В этом случае реальному объекту или процессу ставится в соответствие некоторый математический объект, который называется *математической моделью*. Исследование математической модели позволяет получать характеристики рассматриваемого реального объекта.

Математическое моделирование для исследования характеристик процесса функционирования технической системы и определения ее показателей можно разделить на *аналитическое*, *имитационное* и *комбинированное*.

При **реальном моделировании** используется возможность исследования различных характеристик либо на реальном объекте, либо на его части. Такие исследования могут проводиться как на объектах, работающих в нормальных

режимах, так и при организации специальных режимов для оценки интересующих исследователя характеристик. Реальное моделирование является наиболее объективным и точным, но его возможности ограничены. Например, проведение реального моделирования вновь проектируемого станка потребует, во-первых, создания такого станка, а во-вторых, приобретения контрольно-измерительных приборов.

Натурным моделированием называют проведение исследований на реальном объекте с последующей обработкой результатов. Такие разновидности натурного моделирования, как **производственный эксперимент** и **комплексные испытания** обладают высокой степенью достоверности. Другим видом реального моделирования является **физическое моделирование**. Оно отличается от натурного тем, что исследование проводится на установках, которые сохраняют природу исследуемых явлений и обладают физическим подобием. К таким установкам можно отнести аналоговые или цифровые ЭВМ.

РБ2

Для **аналитического моделирования** характерно то, что процессы в технической системе отражаются в виде алгебраических, дифференциальных, интегральных, конечно-разностных уравнений или логических условий (**аналитических моделей**). Аналитическая модель может быть исследована одним из следующих методов:

- 1) **аналитическим** методом, когда удастся получить явные зависимости для искомых характеристик;
- 2) **численным** методом, когда уравнения в общем виде не решаются, а есть возможность получить числовые результаты для конкретных начальных и граничных условий.

Наиболее полное исследование процесса функционирования технической системы можно провести, если известны явные зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и показателями исследуемой системы. Однако такие зависимости удастся получить только для сравнительно простых систем. При усложнении систем исследование их аналитическим методом наталкивается на значительные трудности, которые часто бывают непреодолимыми. Численный метод по сравнению с аналитическим позволяет исследовать более широкий класс систем, но при этом решение носит частный характер.

При **имитационном моделировании** алгоритм, реализующий модель на ЭВМ, воспроизводит процесс функционирования технической системы, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени. Это позволяет по исходным данным, спланировав и поставив численный эксперимент, получить сведения о состоянии процесса в определенные моменты времени и оценить характеристики системы.

Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как на-

личие: непрерывных и дискретных элементов, их нелинейных характеристик, случайных воздействий и др., что создает непреодолимые трудности при аналитических исследованиях. Имитационное моделирование часто является единственным практически доступным методом получения информации о поведении сложной технической системы, особенно на этапе ее проектирования.

Комбинированное (аналитико-имитационное) **моделирование** при анализе и синтезе технических систем позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования. При построении комбинированных моделей проводится предварительное разделение процесса функционирования системы на составляющие процессы. И для тех из них, где это возможно, используются аналитические модели. А для остальных подпроцессов строятся имитационные модели.

КБ2

Ответьте на следующие вопросы:

1. Какая разница между аналитическим и имитационным моделированием?
2. Какая разница между мысленным и натуральным моделированием?
3. Какая разница между натуральным и физическим моделированием?
4. Какой из видов моделирования является самым достоверным?
5. Какие виды моделирования наиболее часто используются при проектировании?
6. Что нужно, чтобы было возможно провести аналитическое моделирование?
7. Попробуйте прочесть следующую символьную модель: $((P \rightarrow Q) \wedge (Q \rightarrow R)) \rightarrow (P \rightarrow R)$; где P, Q и R – высказывания.

1.2.3. Виды моделей

ИБ

В зависимости от средств моделирования различают следующие виды моделей:

иконические, отображающие оригинал в двух- или трехмерном измерении, по необходимости в уменьшенном или увеличенном масштабе (чертежи, схемы, объемные модели машин, фотографии);

аналоговые, воссоздающие, например, статические и динамические свойства оригинала (графы, диаграммы, графики, физические модели, в которых используется подобие явлений и процессов, и имитационные модели, отображающие поведение оригинала с помощью ЭВМ);

символические, отображающие свойства и отношения оригинала с помощью слов или математических символов (описания с помощью естественного или специализированного языка, аналитические (детерминированные или стохастические) модели и логические модели, которые переводят реальную систему и отношения в ней на язык алгебры логики).

Модель типа "черный ящик". Эта символическая модель отражает целостность и неполную обособленность системы от окружающей среды. Она не дает информации о внутреннем строении системы. Из бесконечного числа связей системы с окружающей средой в модели типа "черный ящик" отображаются только те, которые важны для решения поставленной задачи. При этом существ-

вует вероятность ошибочного включения несущественных связей и не включения существенных.

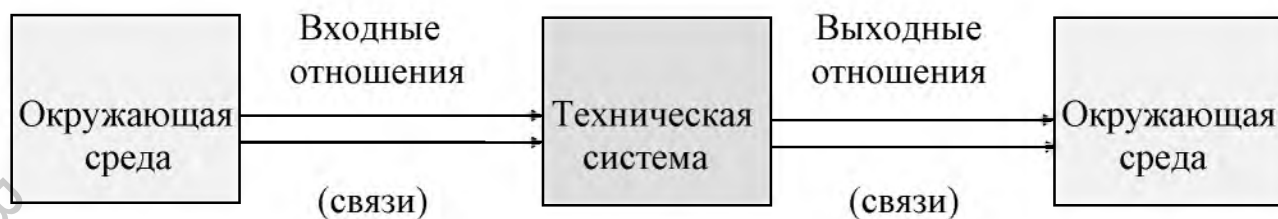


Рис. 1.7. Схема модели типа «черный ящик».

Моделью типа "черный ящик" может быть не только схема, показанная на рис. 1.7, но и перечень (список) входных и выходных отношений с подробным их описанием. Например, в таблице 1.2 показана модель процесса точения типа «черный ящик». Такая модель обычно используется для начального наиболее абстрактного описания проектируемой системы.

Модель состава дает иерархическое описание (разной степени абстрактности) тех компонентов, из которых состоит система. Примером такой модели может служить документ (спецификация), в котором приводится перечень шифров (кодов) узлов и деталей устройства.

Таблица 1.2.

Модель процесса точения типа «черный ящик»

Список входов	Список выходов
Средняя твердость материала заготовки, НВ	Фактический размер детали, A_{ϕ}
Диапазон изменения твердости, $\omega_{НВ}$	Диапазон изменения размера детали, ωA_{ϕ}
Средний размер заготовки, $Зг$	Показатель шероховатости, Ra
Диапазон изменения размера заготовки, $\omega Зг$	Составляющая силы резания, P_z
Размер настройки, A_n	Составляющая силы резания, P_y
Заданный размер, A	Составляющая силы резания, T_x
Жесткость технологической системы, j	Средняя стойкость инструмента, T
Подача, S	Диапазон изменения стойкости, ωT
Скорость резания, V	
Передний угол резца, γ	
Угол в плане, ϕ	

Модель структуры отображает отношения между компонентами системы. Представляет собой список, матрицу или графическое изображение (граф) отношений, существенных с точки зрения решаемой задачи. При этом компоненты, связанные описываемыми отношениями, только обозначаются и, в крайнем случае, указываются (кодируются) некоторые различия между ними. Различают модели пространственных, временных, логических и функциональных структур.

Граф состоит из обозначений компонентов любой природы, называемых вершинами, и обозначений связей между ними, называемых ребрами или иногда дугами. Данная пара вершин может быть соединена любым количеством

ребер. Однако, модель структуры может быть представлена не только в графической форме, но и в форме матриц смежности или инцидентности. Последние используются, если граф необходимо представить в ЭВМ.

В квадратной матрице смежности наружный столбец и строка составлены из вершин, знак 1 указывает, что между соответствующими вершинами есть связь, а знак 0 – , что ее нет. Вместо 1 можно проставлять число или символ, отражающий уровень связи. Например, на рис. 1.8 показана матрица смежности, которая показывает, что вершина 1 имеет связи с вершинами 2 и 5, а вершина 2 имеет связи с вершинами 3 и 4.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1	0	1	0	0	1
x_2		0	1	1	0
x_3			0	0	0
x_4				0	0
x_5					0

Рис. 1.8. Матрица смежности

	u_1	u_2	u_3	u_4
x_1	1	0	0	1
x_2	1	1	1	0
x_3	0	1	0	0
x_4	0	0	1	0
x_5	0	0	0	1

Рис. 1.9. Матрица инцидентности

В матрице инцидентности (см. рис. 1.9) наружный столбец составлен из вершин, а наружная строка из ребер u_i . Она показывает, ребро 1 связывает вершины 1 и 2, а ребро 2 связывает вершины 2 и 3, ребро 3 связывает вершины 2 и 4, а ребро 4 связывает вершины 1 и 5.

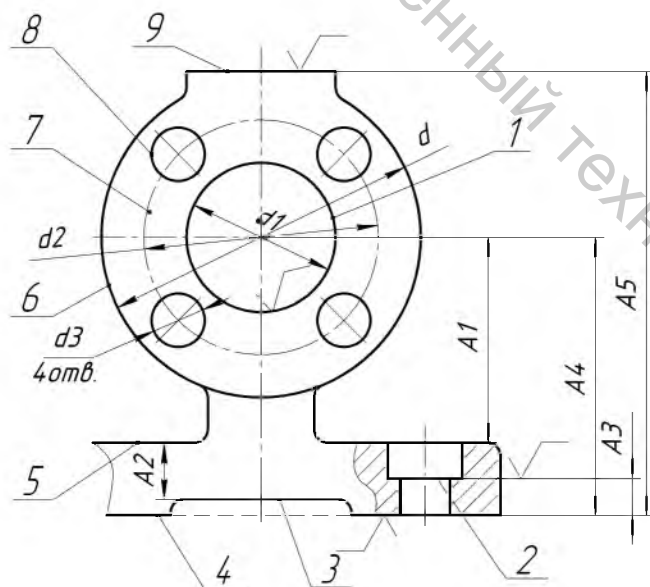
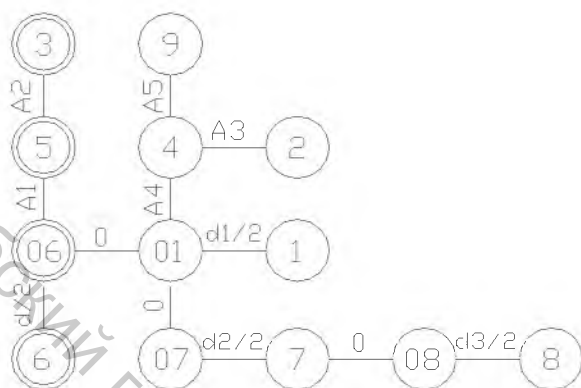


Рис. 1.10. Эскиз детали

С помощью графа можно отразить (изобразить) структуру как технического объекта, так и технического процесса. Например, с помощью графа размерных связей отображается геометрическая структура деталей, то есть отношения между ее типовыми элементами (типовыми поверхностями). Для детали, показанной на рис. 1.10, на рис. 1.11 приведены два различных метода представления графа размерных связей. Вершинами графа являются номера поверхностей, а ребрами – связывающие их размеры.

Поверхностями являются также оси и плоскости симметрии (оси цилиндров 5 и 7, которые обозначаются соответственно О5 и О7). С помощью такого графа можно по следующим формальным правилам проверить правильность простановки размеров на чертеже. 1) На графе не должно быть оторванных вершин. Их наличие означает, что не хватает размеров. 2) На графе не должно быть замкнутых контуров. Их наличие означает, что проставлены лишние размеры. 3) Группа механически обработанных поверхностей должна иметь с группой исходных (полу-

ченных окончательно на стадии изготовления заготовки) только одно общее ребро. Это обеспечивает заданную точность взаимного расположения внутри указанных групп поверхностей при механической обработке детали.



1		
01	1	d1/2
2	4	A3
3	5	A2
4	9	A5
5	06	A1
6	06	d/2
06	01	0
7	07	d2/2
07	01	0
8	08	d3/2
08	7	0

Рис. 1.11. Граф и таблица размерных отношений

На рис. 1.12 показан граф вариантов процесса обработки некоторой поверхности. Вершинами этого графа являются показатели состояния данной поверхности (код формы, размеры, допуски, шероховатость и т.д.), а ребрами – либо коды методов преобразования (обработки), либо затраты времени на преобразование. С помощью такого графа можно выбрать наилучший (по минимуму затрат времени) вариант маршрута обработки.

Развитием модели процесса в виде графа являются схемы алгоритмов, программ и систем (ГОСТ 19.701-90). В таком графе вершинами являются условные графические обозначения процессов, решений, операций, носителей данных и т.д. Внутри условных обозначений могут быть указаны выполняемые действия и условия перехода (выбор пути). Примеры таких схем показаны на рис. 1.13.

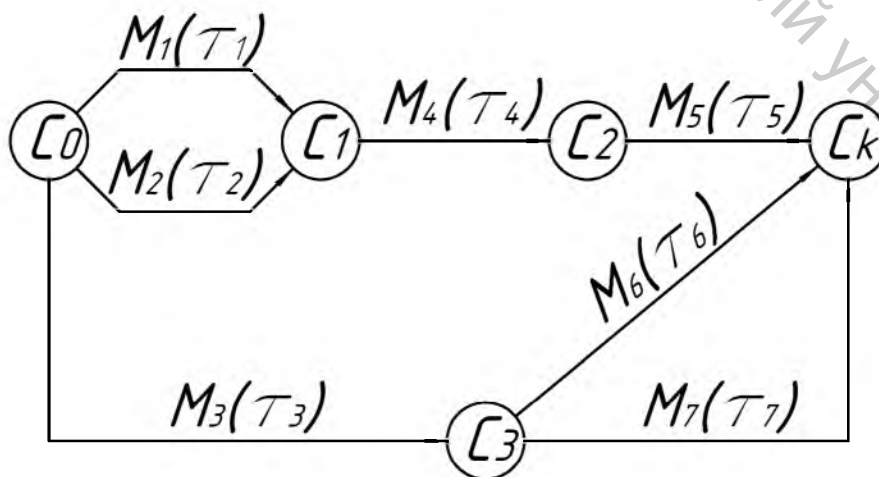


Рис. 1.12. Граф вариантов обработки типовой поверхности

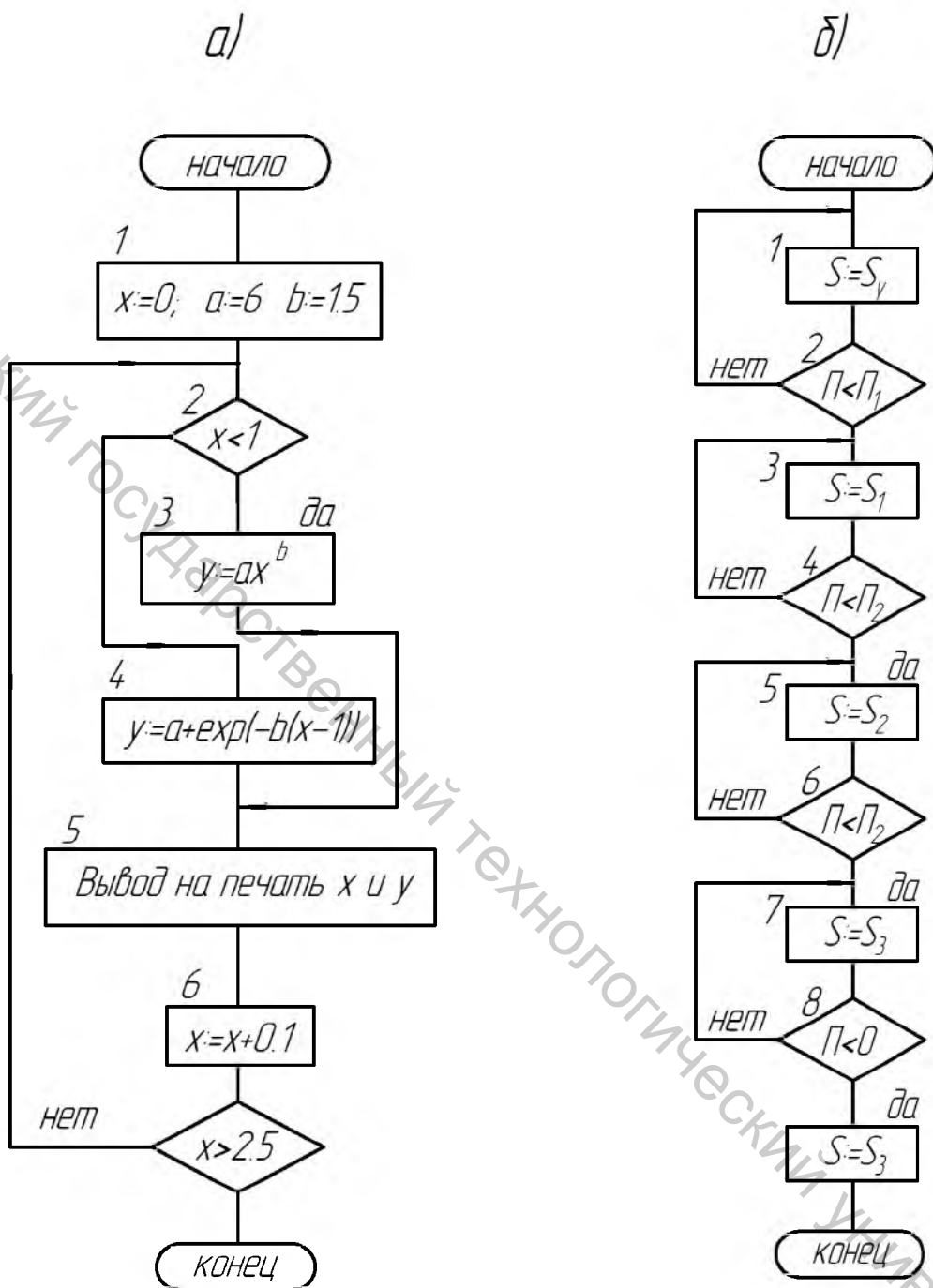


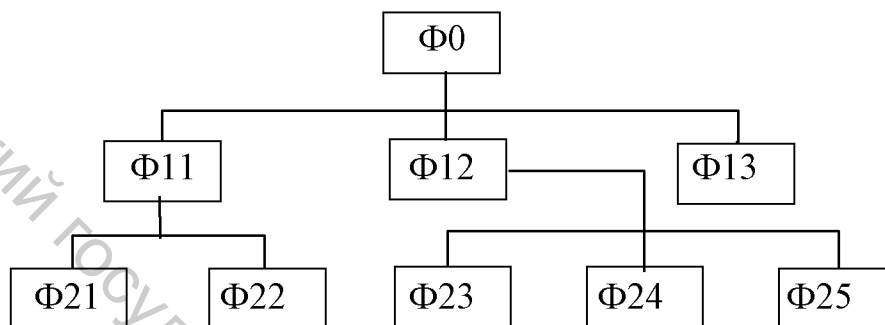
Рис. 1.13. Схема алгоритма вычисления (а) и управления (б)

В первом случае из схемы ясно, что аргумент X изменяется в пределах от 0 до 2,5 и пока $X < 1$, вычисление Y выполняется по одной функции, а в других случаях – по другой. Схема алгоритма управления отражает процессы, проходящие в счетно-логическом устройстве (СЛУ на рис. 1.6). Здесь измерительное устройство (ИУ) посылает в СЛУ сигнал, пропорциональный припуску Π , который осталось снять. В зависимости от значения Π СЛУ передает в исполни-

тельное устройство сигнал (команду) об изменении скорости радиальной подачи от ускоренной (S_y) до отделочной (S_3).

При относительно подробном описании вершин или блоков схема алгоритма в определенной мере начинает отображать конфигурацию системы.

Функциональная модель технической системы (компонента) – это графическое изображение (в виде иерархической структуры) или математическое представление (в виде матрицы) состава и взаимосвязей ее функций.



Ф0 – обработать заготовку, выдержав заданные показатели качества; Ф11 – установить (снять) заготовку; Ф12 – выполнить размерную настройку; Ф13 – выполнить движения формообразования; Ф21 – базировать заготовку; Ф22 – закрепить заготовку; Ф23 – базировать инструмент; Ф24 – закрепить инструмент; Ф25 – выполнить позиционирование инструмента.

Рис.1.14. Дерево функций операции механической обработки

В некоторых случаях описание функций технической системы удобно представлять в виде иерархической древовидной картинки, в которой сложная функция раскладывается на более простые по уровням иерархии (рис. 1.14).

Таблица 1.3

Взаимосвязи между компонентами технической системы

Компо- ненты	K1	K2	K3	K4	K5
K1		Ф1; Ф4	Ф3		
K2			Ф5	Ф2; Ф7	
K3					Ф6
K4					Ф9

Можно также отразить функции технической системы в виде таблицы взаимосвязей между ее компонентами, а также компонентами окружающей среды (табл.1.3). Согласно таблице 1.3 компонент K1, например, оказывает на компонент K2 действие, описанное в функциях Ф1 и Ф4, а компонент K2 оказывает на K3 действие, описанное в функции Ф5 и т.д.

Наиболее просто функции технической системы отражаются списком по форме, указанной в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Список функций компонентов технической системы, показанной на рис. 1.1.

Компонент – носитель функции	Описание функции	Ранг функции
Корпус 1	Ориентирует обойму 5 и подшипники 18, воспринимает силы. Обеспечивает крепление к станине.	ОФ ДФ
Втулка 2	Взаимно ориентирует наружные кольца подшипников 11, обеспечивая необходимый натяг при завинчивании до упора кольца 6.	ОФ
Втулка 3	Взаимно ориентирует внутренние кольца подшипников 11, обеспечивая необходимый натяг при завинчивании до упора гайки 8.	ОФ
Прокладка 4	Обеспечивает регулировку зацепления конических венцов вал-шестерни 9 и зубчатого колеса 15 за счет изменения ее толщины.	ВФ
Обойма 5	Ориентирует наружные кольца подшипников 11 и втулку 2, воспринимает осевую силу при завинчивании кольца 6.	ОФ
Вал-шестерня 9	Воспринимает движение и крутящий момент от зубчатого колеса 15, ориентирует внутренние кольца подшипников 11, втулки 3 и 10, обеспечивает силовое замыкание в подшипниках 11 при завинчивании гайки 8.	ОФ
Подшипники 11	Ориентируют вал-шестерню 9, оставляя одну степень свободы – вращение вокруг своей оси, воспринимают радиальную и осевую нагрузку.	ОФ
Винты 12	Крепят обойму 5 к корпусу 1, воспринимают осевую нагрузку	ОФ
Гайка 13	Обеспечивает осевую ориентацию зубчатого колеса 15 на валу 19	ОФ
Шайба 14	Предохраняет гайку 13 от самоотвинчивания.	ВФ
Зубчатое колесо 15	Воспринимает движение и крутящий момент от вала 19 через шпонку 16 и передает вал-шестерне 9	ОФ
Вал 19	Ориентирует зубчатые колеса 21 и 15, воспринимает движение и крутящий момент от зубчатого колеса 21 через шпонку 22 и передает через шпонку 16 зубчатому колесу 15	ОФ
Втулка 20	Обеспечивает натяг в подшипниках 18 при завинчивании до упора болта 23	ОФ

Схемные модели являются частным случаем иконических моделей. Различают кинематические, гидравлические, электрические, расчетные, конструктивные и технологические схемные модели, в той или иной степени отражающие конфигурацию системы. В некоторых случаях для решения задачи необхо-

димы комбинированные (электрогидравлические, кинематикогидравлические и т.д.) схемные модели.

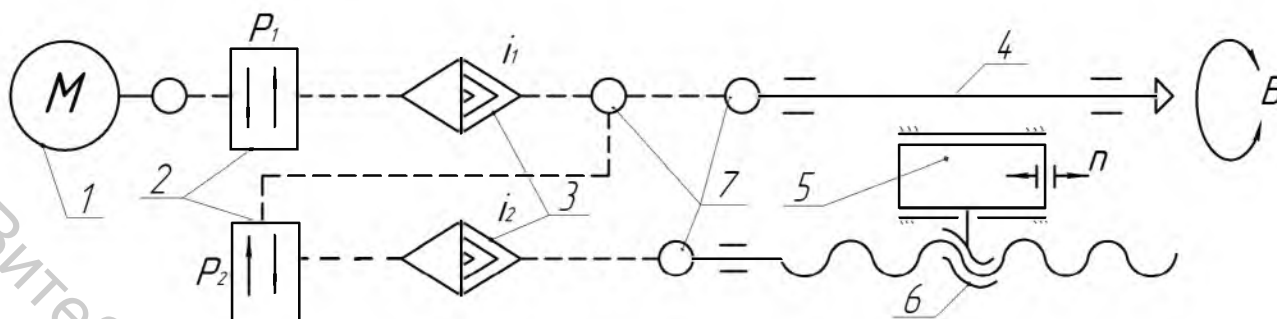


Рис. 1.15. Упрощенная кинематическая схема винторезного станка:

1 – двигатель, 2 – компоненты изменения направления движения, 3 – компоненты изменения скорости движения, 4 – шпиндель, 5 – суппорт, 6 – винтовая пара, 7 – кинематическая связь.

Упрощенная кинематическая схемная модель привода винторезного станка

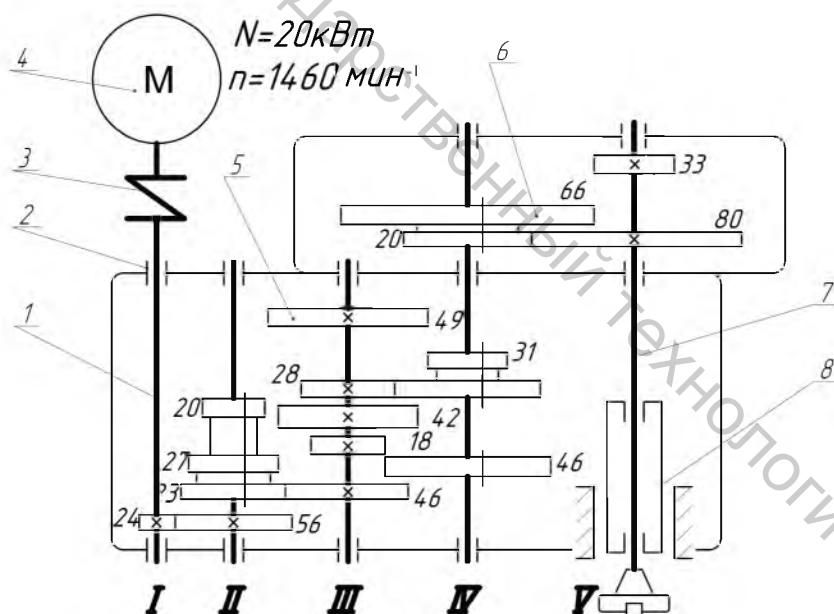


Рис. 1.16. Кинематическая схема привода главного движения фрезерного станка

показана на рис. 1.15, где условные обозначения компонентов и связей позволяют упрощенно отобразить конфигурацию станка (функциональные компоненты и связи между ними). На такой модели не раскрывается структура компонентов (настройки и изменения направления движения). На кинематической схеме привода главного движения (вращения фрезы) фрезерного станка (рис. 1.16) конфигурация привода отображена более подробно.

Указаны не только валы, подшипники, способ крепления шестерен (неподвижное или подвижное соединение), но и количество зубьев последних, что позволяет вычислять возможные варианты частоты вращения шпинделя.

Для этого составляется уравнение кинематического баланса. Для варианта включения, показанного на рис. 1.16, оно имеет вид:

$$n_{\text{шп}} = 1460 \cdot \frac{24}{56} \cdot \frac{23}{46} \cdot \frac{28}{42} \cdot \frac{20}{80} = 52,14.$$

Всего возможны 18 вариантов частоты вращения шпинделя.

Расчетная схемная модель, показанная на рис. 1.17, позволяет записать систему уравнений равновесия, необходимую для расчета упругих деформаций шпинделя. На таких схемах указываются точки приложения сил и показатели системы (размеры, жесткость, демпфирование и т.д.), необходимые для расчета.

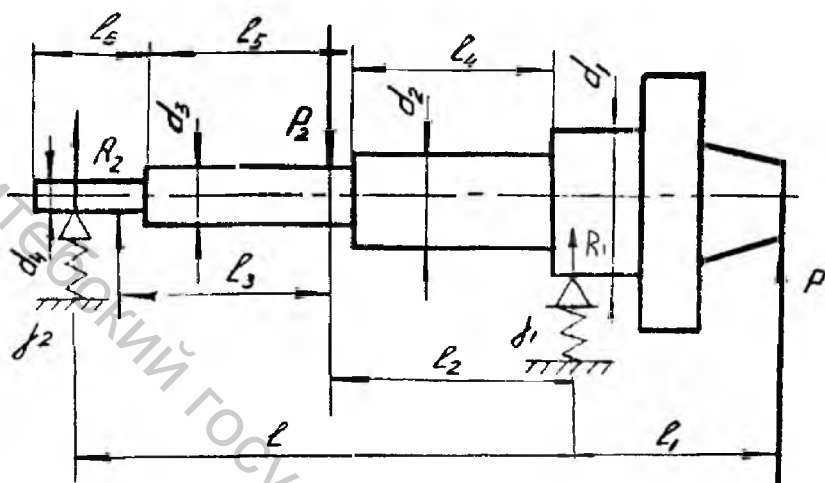


Рис. 1.17. Расчетная схема

мы (технического средства) является комплект рабочих чертежей и описание технических требований.

Примеры технологических схемных моделей показаны на рис. 1.20 и 1.21. На схеме базирования (рис. 1.20) изображается геометрическая (графическая) модель заготовки (ГМЗ) в состоянии, которое заготовка получает после выполнения технологической операции. На ГМЗ жирными линиями выделяют поверхности, которые были обработаны на рассматриваемой операции, проставляются размеры от ранее обработанных компонентов детали (поверхностей, осей или плоскостей симметрии) и требования к перпендикулярности

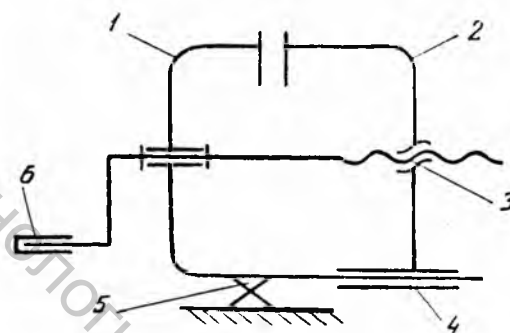


Рис. 1.18. Упрощенная конструктивная схема тисков

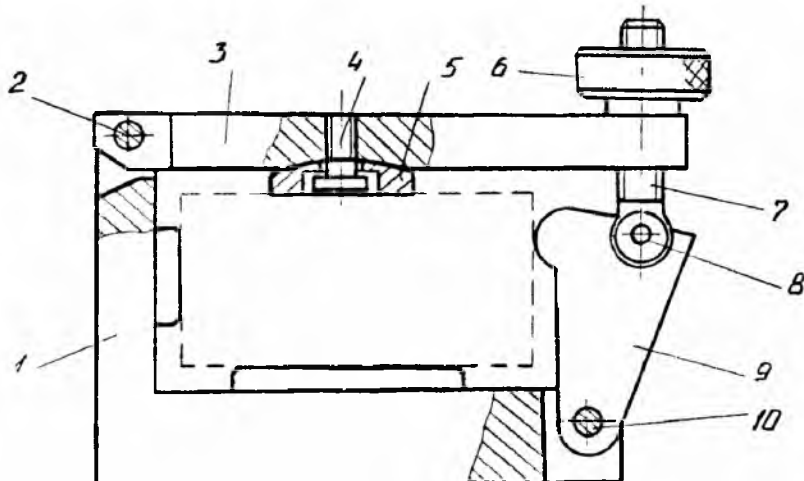


Рис. 1. 19. Конструктивная схема зажима

или параллельности по отношению к ранее обработанным компонентам детали. Указанные условными значками (∇ , $\triangleright$ — на виде сбоку; $\diamond$ — на виде сверху) ранее обработанные компоненты составляют комплект технологических баз. Возможны следующие вари-

анты комплектов технологических баз: 1) *три взаимно перпендикулярные плоскости*; 2) *плоскость и две оси, перпендикулярные к ней*; 3) *две взаимно перпендикулярные плоскости и ось, перпендикулярная одной из них*; 4) *плоскость и две оси, одна из которых перпендикулярна к плоскости, а другая – параллельна*.

На схеме базирования указанные ранее условные значки указывают точки технологических баз (точки сопряжения), при помощи которых ГМЗ ориентируется относительно «*базовой*» (или *собственной*) координатной системы. Необходимо учитывать, что точки сопряжения лежат одновременно на технологических базах и на плоскостях (осях) базовой системы координат. Каждая точка сопряжения характеризует *связь*, то есть определенность координаты элемента ГМЗ в базовой системе координат. Номера накладываемых связей (от 1 до 6) указываются рядом с условными значками точек сопряжения. Каждый компонент комплекта технологических баз накладывает на ГМЗ разное количество связей, обеспечивающих определенность относительного расположения. На схеме базирования обязательно указываются оси базовой системы координат.

Если комплект технологических баз состоит из трех взаимно перпендикулярных плоскостей, то одна из них накладывает три параллельные связи и условно называется *установочной базой*. Вторая плоскость, накладывающая две параллельные связи, называется *направляющей базой*. А третья плоскость может накладывать только одну связь и называется *опорной базой*. Установочная база накладывает три связи (определенность линейной координаты по одной из осей и определенность угловых координат поворота относительно двух других осей собственной системы координат). Направляющая база накладывает две связи (определенность линейной координаты по одной из осей собственной системы координат и определенность угловых координат поворота относительно оси, перпендикулярной к первой).

Если комплект технологических баз состоит из плоскости и двух перпендикулярных ей осей (см. рис. 1.20), то одна из них, которая накладывает две перпендикулярные связи, называется *двойной опорной базой*. Двойная опорная база обеспечивает определенность линейных координат вдоль двух осей, перпендикулярных той, на которой расположена указанная база.

Таким образом, плоскость может быть установочной, направляющей или опорной базой. Ось может быть направляющей, двойной опорной или опорной базой. Кроме того, длинная ось может быть двойной направляющей базой, которая накладывает четыре связи. Две из них обеспечивают определенность линейных координат вдоль двух осей собственной системы координат и определенность угловых координат поворота вокруг этих же осей.

На схеме установки (рис. 1.21) обозначения точек сопряжения заменяются условными обозначениями установочных компонентов станочного приспособления, а также точки приложения и направление сил закрепления. Последние, сопрягаясь только с реальными поверхностями, ориентируют заготовку на станке и сохраняют заданную ориентацию, несмотря на действие сил резания.

Операционный эскиз (рис. 1.22) также отражает состояние заготовки после выполнения рассматриваемой операции. Он является схемой установки с добавлением информации о качестве обработки.

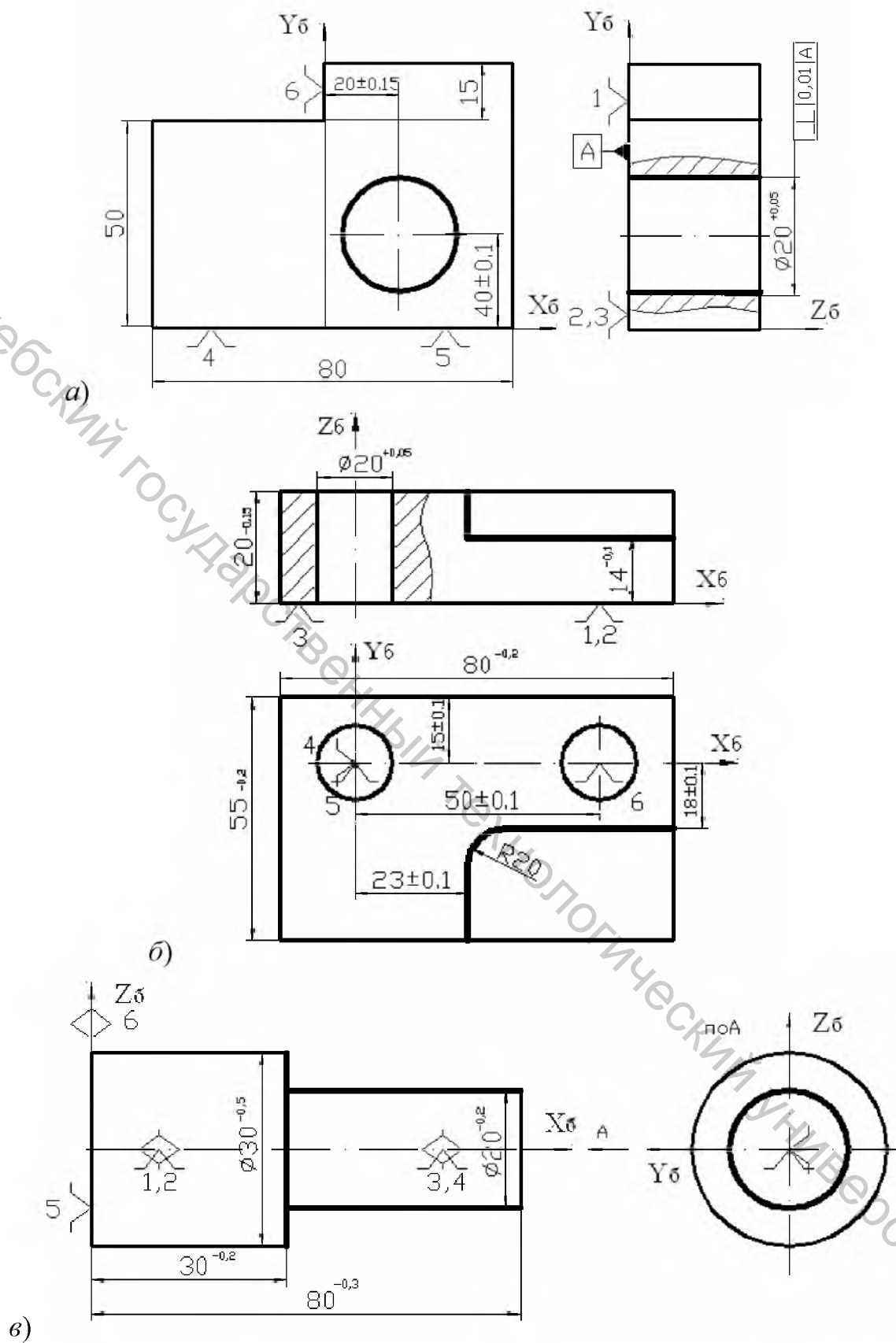


Рис. 1.20. Схемы базирования

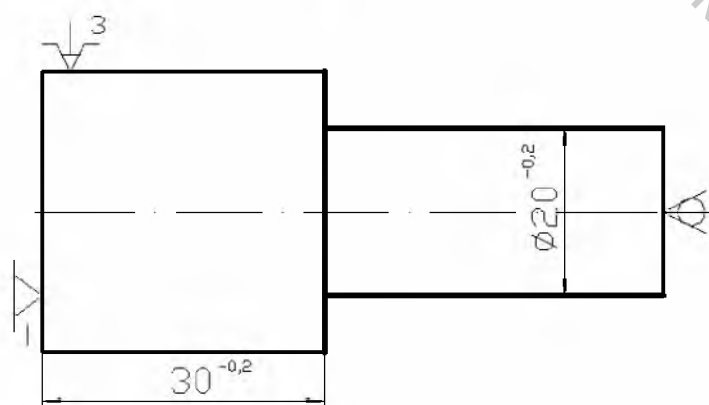
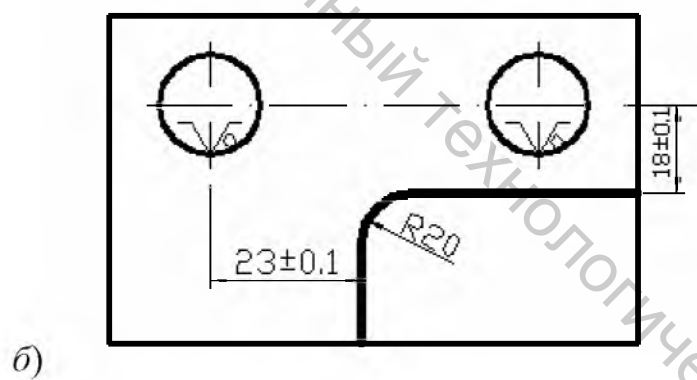
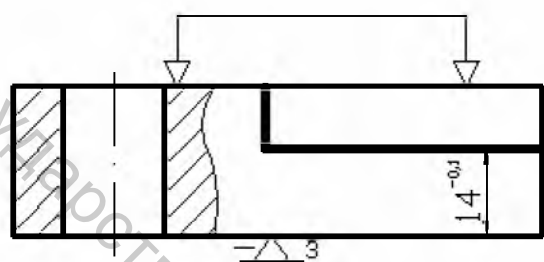
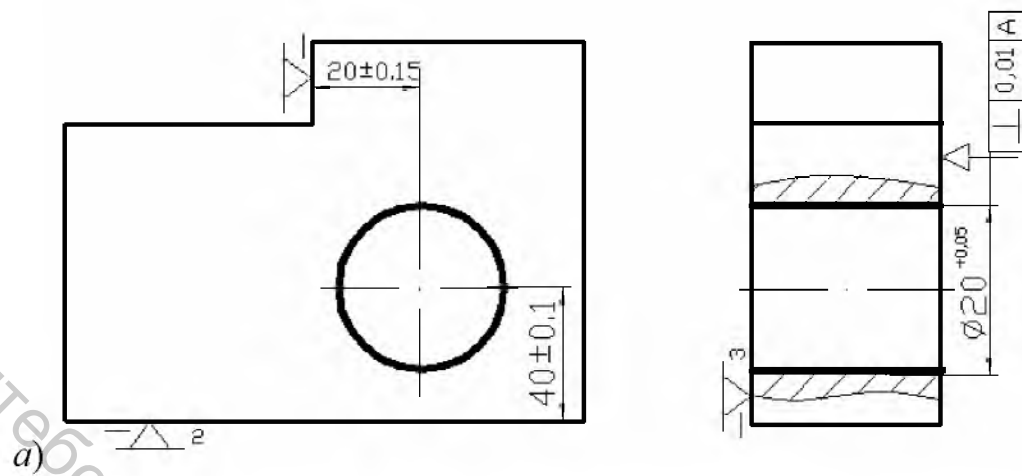


Рис. 1.21. Схемы установки, соответствующие схемам базирования на рис. 1.20

В зависимости от уровня полноты описания технических систем ее модели различаются по степени абстрактности (рис. 1.23). На рис. 1.23: 1 – модель типа "черный ящик"; 2 – модель структуры; 3 – модель конфигурации; 4 – конструктивная схема; 5 – рабочая документация. Показанная на этом рисунке зависимость ориентировочна, так как количественная мера таких понятий, как степень абстрактности и уровень полноты описания точно не установлена. Уменьшение уровня абстрактности модели осуществляется путем установления (и добавления к описанию) некоторых качественных и (или) количественных показателей ее компонентов и системы в целом.

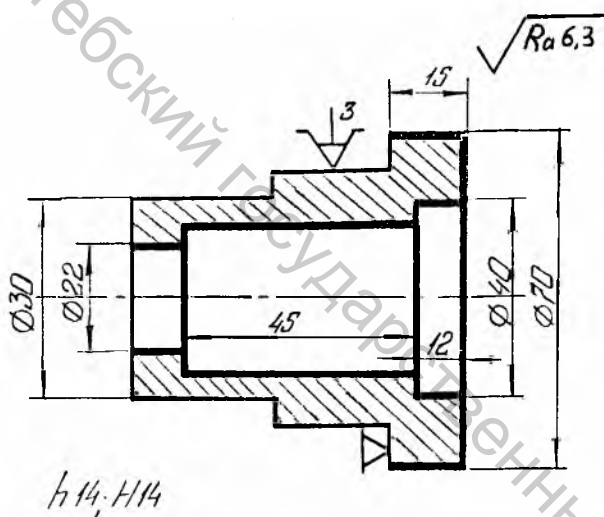


Рис. 1.22. Операционный эскиз

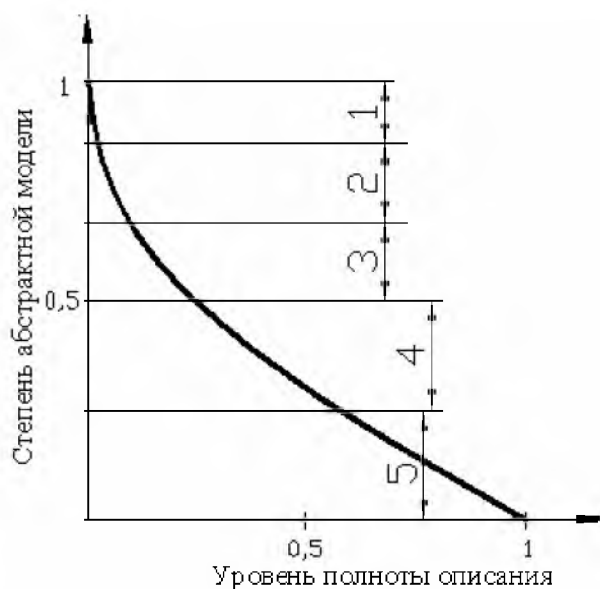


Рис. 1.23. Схема зависимости степени абстрактности модели ТС от уровня полноты ее описания

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Какая разница между иконической и аналоговой моделью?
2. Перечислите виды иконических моделей.
3. Перечислите виды аналоговых моделей.
4. Перечислите виды символических моделей.
5. Что отражает техническая система типа «черный ящик»?
6. Какими способами можно представить модель структуры?
7. Какая разница между матрицами смежности и инцидентности?
8. Как с помощью графа размерных связей можно обнаружить, что на чертеже не хватает размеров?
9. Как с помощью графа размерных связей можно обнаружить, что на чертеже проставлены лишние размеры?
10. Как с помощью графа размерных связей можно обнаружить, что на чертеже указаны все необходимые размеры, но проставлены они неправильно?
11. Сколько связей накладывает комплект технологических баз?
12. Какая разница между направляющей и двойной опорной базами, которые накладывают одинаковое число связей?
13. Какие конкретно связи накладывает установочная база?
14. Какие конкретно связи накладывает направляющая база?
15. Какие конкретно связи накладывает двойная опорная база?

16. Изобразите табличный вариант модели типа «черный ящик» для следующих технических систем: 1) автомобиль, 2) электрочайник, 3) фрезерный станок.

1.2.4. Математические модели

ИБ1

Математической будем называть модель, которая в знаковой форме отображает отношения между показателями входа и внутреннего состояния системы, с одной стороны, и показателями выхода, с другой. В основном это отношения типа: $=$, $>$, $<$, $\leq$, $\geq$. Возможны также логические отношения (см. раздел 1.2.2).

Математические модели записываются в виде аналитических, дифференциальных или интегральных выражений (уравнений, неравенств). Зададимся вопросом: является ли моделью следующее уравнение:

$$A \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + B \cdot \frac{dx}{dt} + x = k \cdot u(t).$$

Для ответа на этот вопрос следует обратиться к приведенному выше определению модели как «четырехмерной конструкции». Сразу можно сказать, что ни о каком объекте-оригинале и ни о какой задаче, которую решает субъект, в приведенном уравнении речь не идет. Следовательно, само по себе приведенное уравнение является не моделью, а абстрактной математической конструкцией, а именно – неоднородным линейным дифференциальным уравнением второго порядка.

Однако если рассмотреть $u(t)$ как изменение во времени входного напряжения в контуре, который содержит индуктивность, емкость и сопротивление, а x как выходное напряжение, то получим математическую модель соответствующей электрической схемы. Она будет отражать физические процессы, происходящие в рассматриваемом контуре.

При другой интерпретации переменных и параметров то же уравнение обратится в модель механической системы с аккумуляторами потенциальной и кинетической энергии, а также с трением, годную для решения задачи о перемещении компонентов этой системы во времени.

Из приведенного примера видно, что одна и та же математическая конструкция может быть моделью различных физических объектов, которые, тем не менее, имеют глубокую внутреннюю аналогию.

Аналитическая модель в общем виде записывается следующим образом

$$\{Y\} = f(\{X\}, \{Z\}),$$

где $\{Y\}$, $\{X\}$ и $\{Z\}$ – множества показателей, характеризующих техническую систему. Показатели $\{X, Z\}$ входа и внутреннего состояния системы будем называть *факторами*. Здесь $\{X\}$ – множество управляемых (контролируемых) факторов. Элементы неконтролируемого множества факторов $\{Z\}$ могут оставаться постоянными или изменяться во времени (монотонно или случайным образом).

$$\{X\} = \{W\} + \{U\},$$

где каждый элемент множества факторов $\{W\}$ имеет известное, постоянное значение, а значения элементов множества факторов $\{U\}$ могут изменяться или по крайней мере наблюдаться исследователем. Значение фактора будем называть его *уровнем*.

Множество показателей выхода $\{Y\}$ будем называть *откликом*. Изменение уровня отклика под действием монотонно изменяющихся во времени неконтролируемых факторов будем называть *дрейфом отклика*.

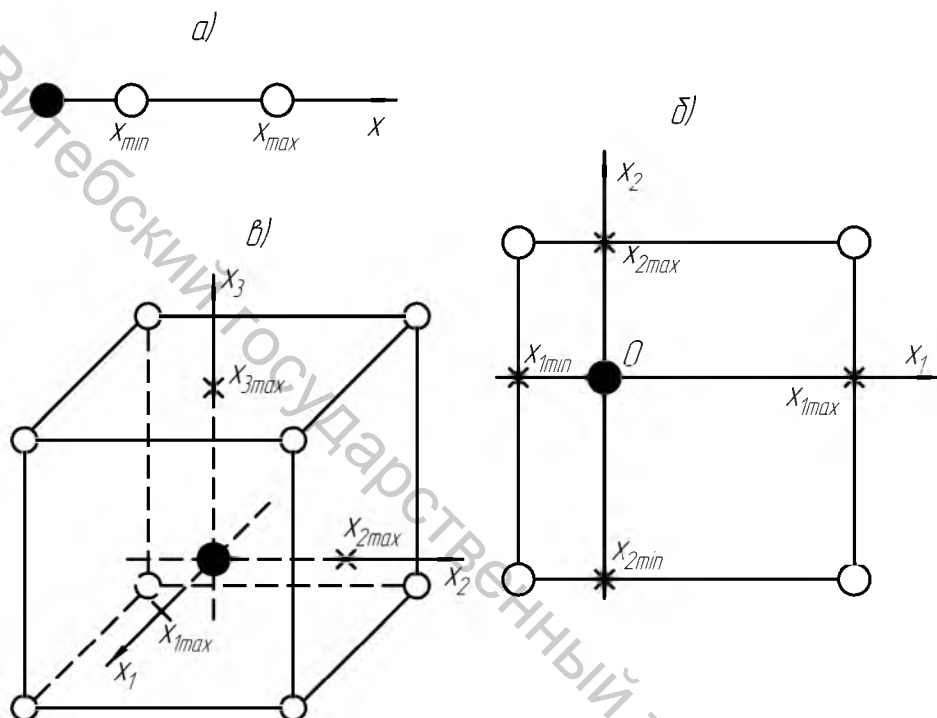


Рис. 1.24. Геометрические модели факторного пространства

Множество возможных уровней факторов называют *факторным пространством*. Геометрические модели одно- двух- и трехмерного факторного пространства показаны на рис. 1.24. Если число факторов больше трех, то геометрическое отображение факторного пространства становится невозможным. В таких случаях оно отображается матрицей следующего вида:

$$\Phi \Pi = \begin{vmatrix} X_{1 \min} & X_{1 \max} \\ X_{2 \min} & X_{2 \max} \\ \dots & \dots \\ X_{(k-1) \min} & X_{(k-1) \max} \\ X_{k \min} & X_{k \max} \end{vmatrix}$$

где $X_{j \min}$ и $X_{j \max}$ – отражают допустимые границы изменения уровней j -го фактора; k - количество факторов.

Точкой *факторного пространства* называют совокупность конкретных уровней всех факторов. Ее можно отобразить с помощью матрицы-столбца

$$\Phi \Pi = \begin{vmatrix} X_{1i} \\ X_{2i} \\ \dots \\ X_{(k-1)i} \\ X_{ki} \end{vmatrix}.$$

К управляемым факторам предъявляются следующие требования:

- 1) *управляемость* – возможность поддерживать выбранный уровень фактора в течение необходимого (например, для измерения) отрезка времени;
- 2) *независимость* – возможность задать любой (в пределах факторного пространства) уровень данного фактора вне зависимости от уровней других факторов;
- 3) *совместимость* – безопасность функционирования системы и возможность измерения отклика в любой точке выделенного факторного пространства;
- 4) *точность измерения и оценки* должна быть достаточной для достижения поставленной цели исследования.

При выборе отклика из нескольких, обычно функционально связанных показателей результата функционирования системы должно учитываться следующее:

- 1) необходимо, чтобы отклик был *однозначным* в статистическом смысле, т.е. заданному набору уровней факторов должно соответствовать одно (с точностью до поля рассеяния под действием неконтролируемых факторов) значение отклика;
- 2) отклик должен быть *эффективным* в статистическом смысле. Это значит, что из нескольких функционально связанных откликов выбранный можно измерить с наибольшей точностью.

РБ1

Математические модели могут быть простыми и сложными, а последние в свою очередь – однородными и неоднородными. *Простая модель* отражает поведение простой (упрощенной) системы (колебания математического маятника). *Сложная однородная модель* отражает поведение сложной, состоящей из нескольких компонентов, системы. Причем результат функционирования системы определяют процессы, относящиеся к одному классу (механические, тепловые, электромагнитные и т.д.). *Сложная неоднородная модель* отражает поведение сложной системы, в компонентах которой протекают процессы, относящиеся к разным классам. Например, при обработке металлов резанием протекают механические процессы деформирования и отделения стружки, процессы теплообразования, а также химические процессы окисления и диффузии.

Но есть и другой взгляд на классификацию математических моделей, в основе которого также лежит сложность моделируемой системы. В зависимости от места в иерархии описаний рассматривают математические модели, относящиеся к микро-, макро- и метаяровням.

Микромодель отражает физические процессы, протекающие в непрерывном пространстве и времени. Типичные микромодели – дифференциальные уравнения в частных производных. С их помощью рассчитываются поля механических напряжений и деформаций, электрических потенциалов, температур, давлений и т.д. обычно в однокомпонентных средах.

Макромодель отражает процессы, протекающие в системах, которые состоят из ряда функциональных компонентов. В ней непрерывной переменной является только время. В основе макромодели лежат компонентные модели (уравнения), которые связывают показатели входа и выхода (т.е. разные) отдельных компонентов системы и топологические модели, вид которых определяется отношениями (связями) между компонентами. Последние устанавливают связь между однородными показателями, но относящимися к разным компонентам системы. Большинство компонентных моделей уже получено в естественных и прикладных дисциплинах. Например, в гидравлике для дросселя имеется аналитическое выражение, связывающее показатели этого компонента системы, расход и давление.

Универсальными компонентными моделями являются обыкновенные дифференциальные уравнения, которые пригодны для анализа как динамических, так и установившихся состояний компонентов системы. Компонентные модели для установившихся режимов поведения (функционирования) можно также представить в виде системы алгебраических (трансцендентных) уравнений. Топологические модели большинства физических систем базируются на уравнениях равновесия или уравнениях непрерывности. Они строго справедливы для установившихся режимов, но их можно применять и в случаях, когда временем распространения возбуждения по линиям связи можно пренебречь. Под возбуждением понимается изменение какого либо из показателей входа. Для электрической системы скорость распространения возбуждения равна скорости света, а для механической, гидравлической и пневматической – скорости звука в соответствующей среде.

Метамодель отражает функционирование систем, более сложных, чем системы, описываемые макромоделями. Чтобы это стало возможным, в метамоделях фигурируют только факторы, относящиеся к связям компонентов системы. Непрерывные величины представляются дискретными, что позволяет описывать функционирование объекта системой логических уравнений, отражающих процессы преобразования сигналов. Метамодели применяются также для описания процессов функционирования информационных и вычислительных систем, производственных участков, линий и цехов.

ИБ2

Имитационная модель – это особый вид математической модели, которая с приемлемой точностью отображает те стороны процесса функционирования сложной системы, которые представляют интерес с точки зрения поставленных целей.

Различают *аналоговые* и *цифровые* имитационные модели. Аналоговой моделью называют систему, которая подчиняется тем же физическим законам, что

и объект моделирования, но проще и дешевле последнего, а также позволяет проще производить изменения параметров и измерения показателей. Аналоговая имитационная модель реализуется на аналоговой вычислительной машине (АВМ) при помощи соответствующего набора стандартных компонентов (сумматоров, интеграторов, усилителей и т.д.). После запуска этой модели на осциллографе отражается изменение параметров исследуемого процесса во времени.

Цифровое моделирование (на ЭВМ) обладает существенными преимуществами по сравнению с аналоговым. Имитирующая программа дает больше возможностей для регулирования показателей системы, позволяет просто моделировать случайные воздействия (с любым законом распределения), временные задержки и т.д. Таким образом, имитационная цифровая модель является чрезвычайно гибким инструментом, позволяющим воспроизвести любые, как реальные, так и "гипотетические" ситуации, так как на нее не распространяются никакие реальные ограничения. Кроме того, с ее помощью дешевле всего получить необходимую информацию о моделируемой системе.

Цифровая имитационная модель адекватна моделируемой системе если: 1) она вычисляет то, что подлежит измерению с заданной точностью; 2) логические элементы модели соответствуют логическим элементам моделируемой системы, а ее математический аппарат отображает функции, реализуемые системой; 3) вероятностные характеристики модели отражают характер случайных событий реальной системы.

Процессы в цифровой имитационной модели идут со скоростью, отличной от скорости их реализации в реальной системе. Поэтому введено понятие *модельное время*.

Процесс круглого врезного шлифования, схемно-расчетная модель которого показана на рис. 1.6, а схема управления – на рис. 1.13-б, можно имитировать на ЭВМ, если разработать соответствующую программу, включающую модели производительности и тепловых ограничений. Результаты моделирования позволяют выяснить зависимость производительности от оставшегося припуска с учетом случайных погрешностей размеров заготовки, отработки команд системы управления скоростью поперечной подачи, а также вероятность брака по размерам и термическим повреждениям.

РБ2

По способу получения различают *теоретические, эмпирические и комбинированные* математические модели. Теоретические модели получают методами формальной логики на основе очевидных исходных понятий и постулатов. При этом часто вводятся упрощающие допущения. Например, о существовании абсолютно твердого тела (в теоретической механике). Они отражают физические процессы, происходящие в компоненте технической системы. При этом параметры этих моделей имеют физический смысл.

Например, если фундамент машины совершает колебания согласно модели $x = a \cdot \sin(p \cdot t)$, где x – отклонение, a – амплитуда колебаний фундамента, p –

частота колебаний фундамента, t – время, то измеренная вибрографом амплитуда колебаний A будет иметь значение в соответствии с теоретической моделью $A = a/[j/(m \cdot p^2) - 1]$, где j – жесткость пружины, поддерживающей груз массой m . Последняя (аналитическая) модель получена решением соответствующего дифференциального уравнения. С ее помощью можно так выбирать показатели груза j и m , чтобы амплитуда колебания A была достаточной для наблюдения и измерения.

Другими примерами простых аналитических моделей, полученных теоретически, являются:

$$1. \quad Q = 2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot l \cdot (T_{c1} - T_{c2}) / \ln(r_2 / r_1).$$

Эта модель отражает тепловой поток, передающийся через цилиндрическую стенку длиной l , наружным радиусом r_2 , внутренним радиусом r_1 и с коэффициентом теплопроводности λ .

$$2. \quad A = \frac{P_a}{j \cdot \sqrt{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2\right] + \gamma^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2}}; \quad \omega_o = \sqrt{\frac{j}{m}}.$$

Эта модель отражает зависимость между амплитудой A вынужденных колебаний, вызванных периодической силой с амплитудой P_a и частотой ω у одномассовой системы с массой m , жесткостью крепления j и коэффициентом демпфирования γ .

$$3. \quad \sigma_r = \frac{3 + \mu}{8} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{g} \cdot \frac{(r_2^2 - r^2) \cdot (r^2 - r_1^2)}{r^2} + \frac{p_1^2 \cdot r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2)} \cdot \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2}\right);$$

$$\sigma_t = \frac{3 + \mu}{8} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{g} \cdot \left(r_2^2 + r_1^2 + \frac{r_1^2 \cdot r_2^2}{r^2} - \frac{1 + 3 \cdot \mu}{3 + \mu}\right) + \frac{p_1 \cdot r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2)} \cdot \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2}\right).$$

Эти модели отражают зависимость напряженного состояния во вращающемся с частотой ω диске одинаковой толщины, насаженном на вал с натягом (внутреннее давление в отверстии равно p_1). Удельный вес материала диска равен ρ , коэффициент Пуассона равен μ радиус отверстия равен r_1 , наружный радиус диска равен r_2 , $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Радиальные σ_r и тангенциальные σ_t напряжения относятся к точкам диска, находящимся на расстоянии r от оси вращения.

Все указанные модели позволяют непосредственно анализировать состояние технической системы в зависимости от значений влияющих показателей.

Примером аналитической модели, не поддающейся непосредственному разрешению, является следующая теоретическая модель для определения времени t_2 , затраченного на выполнение чистового этапа круглого врезного шлифования (см. рис. 1.6).

$$4. \quad t_2 = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t_2)) / k) / s_2,$$

где Π_2 – припуск, удаляемый на втором этапе рабочего цикла, s_1 и s_2 – подачи, соответственно на первом и втором этапах рабочего цикла, k – относительный коэффициент режущей способности. Так как значение t_2 входит и слева и справа в модель, то ее можно разрешить только численно методом итерации (повтора). Начальное значение t_2 будет $t_{20} = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) / k) / s_2$; и далее $t_{2i} = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t_{2(i-1)})) / k) / s_2$. Итерации продолжаются, пока $abs(t_{2i} - t_{2(i-1)}) < 0,05$; где abs – абсолютное значение.

Эмпирическая модель получается обработкой результатов экспериментов. При этом параметры эмпирической модели обычно не имеют физического смысла. Примерами таких аналитических моделей являются:

$$5. \quad h_o = 4,05 - 4,7 \cdot (v/100) - 0,325 \cdot (v/100)^2 + 1,5 \cdot (v/100)^3.$$

Эта модель отражает зависимость интенсивности радиального изнашивания резца h_o [мкм/м] от скорости резания v [м/мин] при постоянной подаче.

$$6. \quad Ra = 0,1 \cdot d^{0,26} \cdot v^{0,83} \cdot s^{-0,27};$$

эта модель отражает зависимость показателя шероховатости Ra [мкм] от диаметра отверстия d [мм], скорости резания v [м/мин] и подачи s [мм/об] при развертывании.

$$7. \quad P_z = 3000 \cdot a \cdot s^{0,75} \cdot v^{-0,15}.$$

Эта модель отражает зависимость тангенциальной составляющей силы резания при продольном точении стальной заготовки резцом с пластиной из сплава марки Т15К6 от показателей режима: a – глубины резания [мм], s – подачи [мм/об], v – скорости резания [м-мин].

$$8. \quad T = \left(\frac{350}{v \cdot a^{0,15} \cdot s^{0,35}} \right)^{5,56}.$$

Эта модель отражает зависимость стойкости резца с пластиной из сплава марки Т15К6 от показателей режима точения стальной заготовки.

Комбинированной будем называть теоретическую модель, один или два показателя которой можно вычислить только при помощи соответствующей эмпирической модели. Примерами комбинированных моделей являются:

9. Теоретическая модель $h_w = \lambda \cdot Q^2 \cdot l / d^5$, которая отражает зависимость потери напора h_w [м] в трубе диаметром d [м] и длиной l [м] при расходе жидкости Q [м³/с]. В модель входит показатель λ (коэффициент шероховатости), который можно определить по эмпирической модели

$$\lambda = 0,11 \cdot (\Delta_9 / d + 0,534 \cdot d \cdot v / Q)^{0,25},$$

где v – кинематический коэффициент вязкости, Δ_9 – эффективная шероховатость внутри трубы, зависящая от технологии ее изготовления и уровня коррозии.

10. Теоретическая модель приведенной себестоимости C предварительной токарной обработки ступени вала диаметром d и длиной L при скорости резания V и подаче s имеет вид:

$$C = E \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot L}{1000 \cdot s \cdot V} \cdot \left(1 + \frac{t_c + C_u / E}{T} \right) + E \cdot t_e,$$

где E – минутные затраты на эксплуатацию рабочего места, t_e – вспомогательное время (на вспомогательные переходы), t_c – время замены затупившегося инструмента, C_u – затраты на эксплуатацию инструмента за период его стойкости, T – стойкость инструмента, которую можно определить по приведенной ранее модели.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Какие основные отношения отражают математические модели?
2. Какие показатели технической системы являются факторами, а какие – откликом?
3. Как отразить факторное пространство для пяти факторов?
4. Объясните термин «управляемость фактора».
5. Объясните термин «независимость фактора».
6. Объясните термин «совместимость фактора».
7. Объясните термин «однозначность отклика».
8. Объясните термин «эффективность отклика».
9. Приведите пример технической системы, поведение которой отражается сложной однородной математической моделью.
10. Определите, какая из 10-и приведенных выше моделей является микромоделью, а какая – макромоделью?

1.3. Управление техническими системами

ИБ

Управлением будем называть процесс организации такого воздействия на систему или ее компоненты, в результате которого система функционирует в соответствии с ее назначением (или другими словами, выполняет заданную программу, достигает заданной цели), не смотря на изменение внешних условий и даже целей.

С точки зрения процесса управления выделенную систему можно разделить на две части: 1) *управляемая подсистема* (объект управления), 2) *подсистема управления* (субъект управления), которая *осуществляет управление при помощи выработанных ею управляющих воздействий на исполнительные элементы через соответствующие связи*. Объектами управления в технике являются технические системы, с помощью которых реализуются технологические, энергетические, транспортные, информационные и комбинированные процессы.

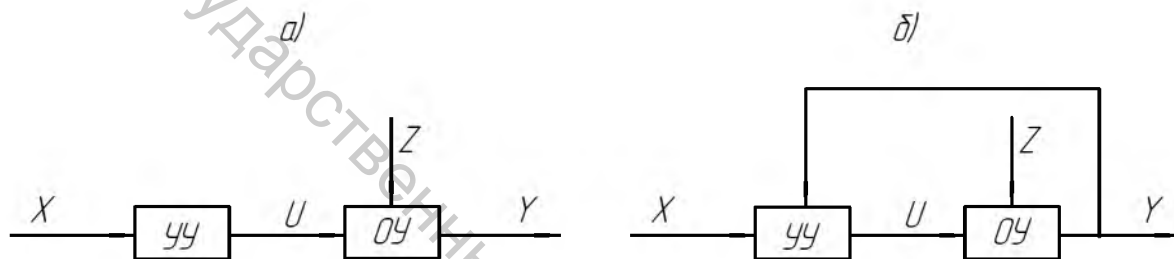


Рис. 1.25. Структурно-функциональные схемы управления.

Алгоритм управления обусловлен алгоритмом функционирования объекта управления с учетом его статических и динамических свойств, а также ограничений. Цель управления тем или иным образом связывается с изменением во времени регулируемых (управляемых) выходных показателей объекта управления. Поэтому необходимость в управлении возникает еще и потому, что вследствие влияния неконтролируемых и ненаблюдаемых факторов выходные показатели системы отклоняются от требуемых для выполнения ею своего служебного назначения.

Основой всякого управления является информация, циркулирующая в системе управления и в общем случае содержащая следующие качественно различные составляющие: 1) *информацию о желаемом (заданном) состоянии* объекта управления или *командную информацию*; 2) *информацию о фактическом состоянии* объекта управления; 3) *информацию о значениях контролируемых возмущающих факторов*; 4) *информацию об изменении условий функционирования технической системы*.

Носителями информации в электрических системах управления являются материальные факторы (сигналы) весьма низкого энергетического уровня, что очень удобно для хранения (сбора), передачи и преобразования (обработки) этих сигналов в системе управления. Однако конечный результат информаци-

онного процесса, то есть сигналы, непосредственно воздействующие на объект управления должны обладать достаточной мощностью.

В механических и механогидравлических системах управления носителями информации являются кулачки и копиры.

Системы с управлением можно разбить на два класса: с разомкнутым и замкнутым управлением (рис. 1.25). Управляющая подсистема (УУ) первых не "знает" о результатах управления и функционирования объекта управления (ОУ). Алгоритм управления выполняется даже при выходе заданных значений показателей функционирования объекта управления за допустимые пределы. Во втором случае информация (сигналы) о результатах функционирования объекта управления по обратной связи передается подсистеме управления для "принятия решения" о соответствующем изменении управляющего воздействия.

Примером системы с разомкнутым управлением является прутковый токарно-револьверный автомат, управляющая подсистема которого состоит из распределительного вала с кулачками, осуществляющими воздействия на исполнительные механизмы в порядке, который задан необходимым для достижения цели рабочим циклом. Управление и работа автомата будет продолжаться и при недопустимом износе инструментов (выпуск брака) или даже поломке одного из них.

Примером системы с замкнутой подсистемой управления является круглошлифовальный полуавтомат с системой "активного контроля", схема которого показана на рис. 1.6. Измерительное устройство (ИУ) определяет значение оставшегося припуска (P), подлежащего удалению. Эта информация в виде сигнала передается в счетно-логическое устройство (СЛУ), где в зависимости от значения припуска P вырабатывается предписание (также в виде сигнала) исполнительному устройству об изменении скорости радиальной подачи (S), в соответствии с заданной программой. Из данного примера ясно, что в замкнутых подсистемах управления обязательно происходят процессы передачи, преобразования и выработки информации (сигналов).

Кроме *управления по отклонению* в системах с обратной связью имеет место *управление по возмущениям* за счет непосредственной компенсации возмущающих воздействий на входе. Примером такого управления является управление точностью обработки на токарном станке. Это управление компенсирует возмущающее воздействие погрешности заготовки на глубину резания и, следовательно, через изменение силы резания и упругой деформации на стабильность размера обработанной поверхности. Измеряемым показателем в этом случае является сила резания. Компенсация осуществляется за счет соответствующего возмущению изменения подачи. Возможна комбинация двух методов управления – по отклонению и по возмущению.

Очевидно, что качество управления в системах с замкнутой подсистемой управления выше, чем с разомкнутой. В приведенном примере управления круглым шлифованием результаты управления не зависят от изменения радиуса и режущих свойств шлифовального круга в результате его износа. Однако в приведенном примере учитываются не все факторы, влияющие на точность

шлифованной детали (износ и нагрев измерительных наконечников, инерционность приводов и т.д.).

Классификация подсистем управления производится и по ряду других признаков. Например, по степени участия человека (оператора) в управлении они делятся на следующие виды: *ручные, полуавтоматические и автоматические*. С точки зрения целей управления выделяют: 1) *стабилизацию состояния системы*; 2) *программное управление*, когда состояние системы должно изменяться во времени по некоторому заданному закону (программе); 3) *следящее управление*, когда текущее состояние системы определяется за счет устранения рассогласования между управляющим воздействием и предшествующим состоянием; 4) *допусковое управление*, когда задача управления считается решенной, если фактическое состояние объекта управления отличается от заданного не более, чем на величину заданного допуска; 5) *адаптивное управление*, которое на основании анализа текущих характеристик объекта управления и окружающей среды соответствующим образом корректирует функционирование системы; 6) *оптимальное управление*, которое обеспечивает состояние объекта управления, наилучшее в смысле некоторого критерия, задаваемого заранее.

Управляемостью системы будем называть вероятность достижения задаваемых целей в различных ситуациях, характеризуемых набором уровней входных факторов и управляющих воздействий. Чтобы повысить управляемость, применяют адаптивные (самоадаптирующиеся, самоприспосабливающиеся) системы управления, у которых автоматически изменяется алгоритм и (или) интенсивность управляющего воздействия с целью наилучшего (в каком-то смысле) управления объектом.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Дайте определение понятию «управление».
2. Приведите пример и раскройте суть управления технологическими процессами.
3. Приведите пример и раскройте суть управления транспортными процессами.
4. Приведите пример и раскройте суть управления энергетическими процессами.
5. Укажите виды информации, которые используются при управлении процессом круглого врезного шлифования (рис. 1.6).
6. Что является носителем информации при управлении, указанном в предыдущем вопросе?
7. Влияет ли на качество управления в указанном примере управления по возмущению затупление резца?
8. Назовите виды целей управления.
9. Каковы разновидности цели управления в указанных примерах управления по отклонению и возмущению.
10. Дайте определение понятию «управляемость».

1.4. Жизненный цикл и эволюция технических систем (ТО)

ИБ

Любой технический объект (поколение систем с одинаковыми или близкими функциями) с течением времени физически и морально устаревает и заме-

няется новым, более совершенным. Так, металлорежущие станки, рассчитанные на работу с инструментом из быстрорежущей стали, после внедрения резцов с пластинками из металлокерамики оказались в техническом смысле устаревшими, поскольку их мощность, частоты вращения и прочность (жесткость) не обеспечивали использование эксплуатационных возможностей нового инструмента. Т. е. произошел не физический, а моральный износ.

При эксплуатации технической системы годовые эксплуатационные затраты с течением времени увеличиваются из-за необходимости в ремонтно-восстановительных работах, замены изношенных частей, более частых регулировок и наладок (рис. 1.26, кривая 2). С течением времени разность между годовой прибылью (рис. 1.26, кривая 1) и годовыми эксплуатационными затратами уменьшается и с критического момента $T_{кр}$ эксплуатация технической системы становится убыточной. Чем выше качество изготовления технической системы, тем медленнее увеличиваются эксплуатационные затраты и позднее наступает ее физический износ.

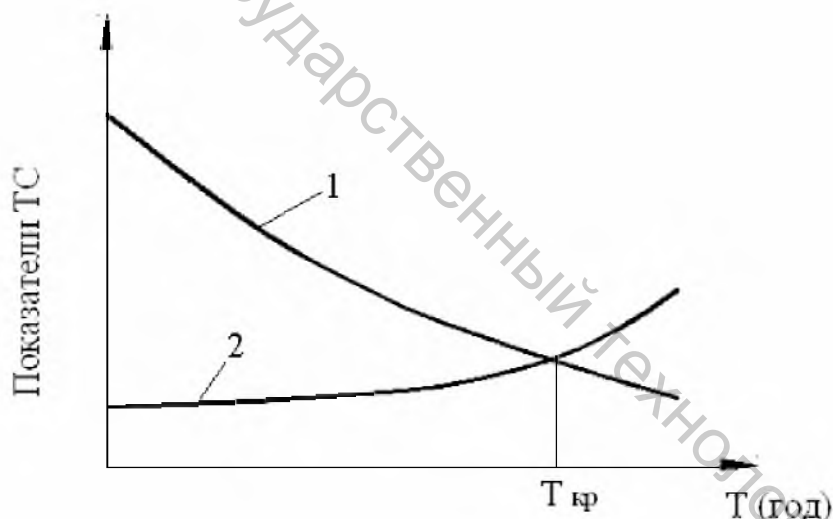


Рис. 1.26. Цикл жизни оборудования в сфере эксплуатации: 1 – прибыль, 2 – эксплуатационные затраты

С точки зрения морального износа любая техническая система проходит определенный жизненный цикл, состоящий из последовательности следующих этапов.

Этап 1 – Процесс созидания:

1.1) Возникновение потребности. Формулирование и оценка актуальности проблемы. Рождение замысла системы.

1.2) Техничко-экономический анализ ситуации. Оценка требуемых и наличных ресурсов. Принятие решения о необходимости проектирования.

1.3) Разработка технического задания (ТЗ), либо его проекта, где в первую очередь указывают потребительские свойства новой системы, определяющие ее потребительскую ценность.

1.4) Проектирование технической системы, которое подразделяется на разработку: технического предложения, эскизного проекта, технического проекта и рабочей документации.

1.5) Изготовление и испытание опытного образца (опытной серии).

1.6) Коррекция результатов проектирования.

1.7) Серийное (массовое) производство систем.

Этап 2. – Процесс применения:

2.1) Поставка (продажа) и монтаж технических систем.

2.2) Эксплуатация технических систем, которая состоит в их применении, обслуживании и обеспечении, а также в утилизации отходов их функционирования. Время эксплуатации можно условно разделить на два периода: экономически полноценной эксплуатации и морального старения.

Этап 3. – *Ликвидация системы*.

Для каждой индивидуальной системы это демонтаж, уничтожение и утилизация материалов. А для множества однотипных систем – снятие с производства.

В процессе выполнения стадий, этапов и отдельных работ, а также при анализе полученных результатов участники процесса создания и процесса применения принимают решения, связанные с разработкой, изготовлением, эксплуатацией и собственно применением всех систем данного типа и каждого экземпляра в отдельности.

На всех этапах жизненного цикла технических систем необходимы затраты материальных и финансовых ресурсов и только при их продаже и использовании возможно получение прибыли, которая обязательно должна превысить затраты.

Возрастание требований к уровню качества выполнения функций технических систем вызывает потребность их совершенствования. Это совершенствование (эволюция) осуществляется путем конкурентного отбора улучшенных в соответствии с поставленной целью вновь спроектированных и испытанных практикой эксплуатации (новых поколений) технических систем. *Эволюция технических систем есть сложный диалектический процесс, в котором сочетаются одновременно две противоположные тенденции: свертывание подсистем и систем, с одной стороны, и их усложнение – с другой.* Суть свертывания – уменьшение количества компонентов в системе за счет передачи функций устранимого компонента другим компонентам системы.

Компонент технической системы можно удалить, если: а) нет объекта его функции; б) функцию удаляемого компонента выполняет сам объект функции; в) функцию удаляемого компонента выполняют оставшиеся компоненты технической системы. Свертывание обычно начинается с компонентов, выполняющих функции самого низкого ранга. Примером свертывания являются станки, у которых отсутствуют традиционные компоненты, энергетически обеспечивающие движение подачи (бесцентрово-шлифовальные, гайконарезные и т. д.). Эту функцию в них выполняет инструмент.

Усложнение технических систем связано с необходимостью введения в них дополнительных компонентов для реализации новых требуемых функций. Их можно условно разбить на три группы. К первой группе относят *новые подсистемы для обработки объекта или класса объектов функции.*

Пример 1.1. Расширение технологических возможностей токарного автомата за счет применения навесных фрезерных и сверлильных (в поперечном направлении) приспособлений.

Пример 1.2. В универсальные наборы отверток вводят несколько лезвий для завинчивания шурупов и винтов, а также шило, маленький буравчик и т. д.

Пример 1.3. Пылесос может не только всасывать воздух с пылью, но еще и нагнетать. Этот ресурс используется для создания к пылесосу таких приспособлений, которые реализуют функции разбрызгивателя, насоса и пр. Другой ресурс пылесоса – его объем используют при изготовлении пылесосов-пуфиков: в свободное от уборки время (при хранении) пылесос используется как сиденье.

Ко второй группе относят *подсистемы обслуживания самой технической системы на разных этапах ее жизненного цикла* (что нужно делать с самой системой для поддержания ее работоспособности, хранения, перевозки и т.д.).

Пример 2.1. Для транспортировки хрупких систем изготавливают специальную тару.

Пример 2.2. Тяжелые механизмы, как правило, имеют устройства для облегчения транспортировки: рымболты, специальные "лапы" и т.д.

Пример 2.3. Для уменьшения занимаемой площади при хранении и перевозке велосипеды делают складными.

К третьей группе относят подсистемы *для операций, выполняемых в надсистеме* (что должна делать техническая система для функционирования в условиях окружающей среды, для использования ее ресурсов, реализации некоторых ее функций, обеспечения безопасности и экологичности).

Пример 3.1. Металлорежущие станки имеют предохранительные экраны для защиты оператора от отлетающей стружки и капель СОЖ.

Пример 3.2. Автомобильные компании разрабатывают концепцию полного жизненного цикла автомобиля, при котором заранее в конструкцию закладывают технические решения, облегчающие его утилизацию и обеспечивающие возможность использования образующегося сырья в новом цикле производства. Это повышает экологичность системы.

Причиной введения новых функций и, соответственно, новых компонентов может быть исчерпание возможностей человека по условиям выполнения каких-то функций (например, безопасности, точности, скорости реакции и т.д.).

В технических системах с одинаковой функцией переход от поколения к поколению обусловлен устранением выявленного главного недостатка (недостатков) и происходит при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности следующими наиболее вероятными путями иерархического исчерпания возможностей:

а) при неизменном физическом принципе действия и техническом решении улучшаются показатели качества технической системы: за счет повышения качества изготовления и сборки, за счет применения более качественных материалов, за счет улучшения формы ее компонентов;

б) при исчерпании возможностей цикла "а" происходит переход к более рациональному техническому решению (конфигурации), после чего развитие опять идет по циклу "а" (циклы "а" и "б" повторяются до исчерпания возможностей данного физического принципа действия);

в) после исчерпания возможностей циклов "а" и "б" происходит революционный переход к более рациональному физическому принципу действия, после чего развитие опять идет по циклам "а" и "б" до тех пор, пока показатели каче-

ства технической системы опять не приблизятся к глобальному экстремуму их значения.

При неизменном принципе действия в результате реализации циклов *a* и *b* критерий развития K_{pz} (главный характерный показатель) увеличивается в соответствии с *S*-функцией (рис. 1.27). При реализации более прогрессивного принципа действия развитие характеризуется другой (сдвинутой вправо и более высокой) *S*-функцией. Критерий развития – показатель наиболее важный для характеристики качества выполнения технической системы главной полезной функции. Например, скорость самолета, производительность бумагоделательной машины.

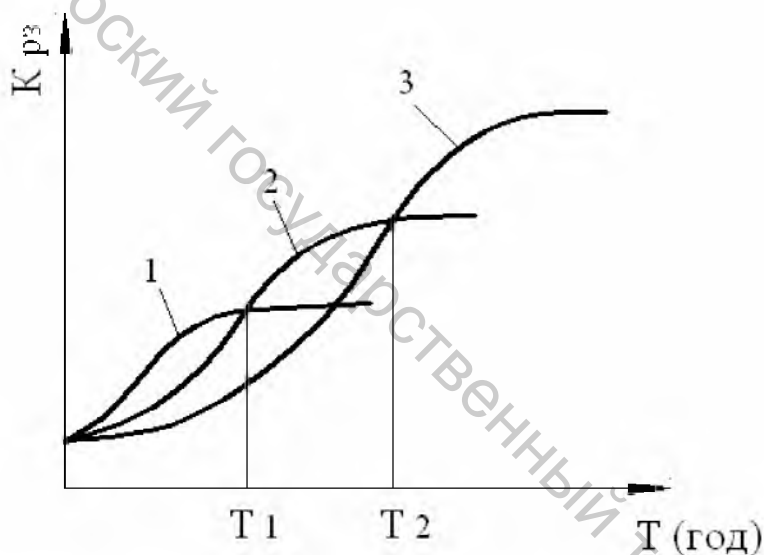


Рис. 1.27 Изменение критерия развития при неизменном принципе действия: 1, 2, 3 – смена физических принципов действия; K_{pz} – критерий развития

В каждом случае перехода от поколения к поколению технических систем происходят изменения, корреляционно связанные с характером недостатков предшествующего поколения. Из всех возможных изменений конфигурации реализуется в первую очередь то, которое дает необходимое или существенное устранение недостатков при минимальных интеллектуальных и производственных затратах.

Понятие "научно-технический уровень" включает используемые технологические машины и методы, источники энергии, материалы, информацию о физико-технических эффектах, которые используются или могут быть использованы в технике. Социально-экономическая целесообразность создания и использования технической системы указывает на то, что, во-первых, изготовление и практическое использование технической системы экономически выгодно, а во-вторых, не наносит вреда окружающей среде не только на этапах использования, но и ликвидации.

При определенных условиях может произойти скачок к новому техническому решению или принципу действия без исчерпания возможностей предыдущего технического решения или принципа действия. Что существенно ускоряет развитие техники.

Технические системы с функцией обработки предмета труда имеют три стадии развития, связанные с последовательной реализацией с помощью технических средств трех фундаментальных функций и последовательным исключением участия человека в технологическом процессе:

Рис. 1.28. Схема эволюции технической системы

Эволюция технических систем часто осуществляется в направлении приближения к *"идеальному техническому решению"*. При этом все использованные технические решения (S_{ij}) можно разбить на две группы: прогрессивные, которые лежат на главной магистрали развития, и тупиковые, которые после испытания практикой эксплуатации были отброшены как недостаточно эффективные (рис. 1.28). Будем считать техническое решение идеальным, если оно обеспечивает спроектированной технической системе одно или несколько из следующих свойств:

2. Масса и размеры функциональных компонентов технической системы приближаются к нулю, а в пределе становятся равными нулю (когда функционального компонента нет, но необходимая функция все же выполняется).

3. Затраты времени на получение полезного результата приближаются к нулю.

4. КПД работы технической системы приближается к 1, а расход энергии приближается к нулю.

5. Все компоненты технической системы все время выполняют полезную работу в соответствии с расчетными возможностями.

6. Техническая система функционирует бесконечно долго без ремонта (самовосстановление) и остановок.

7. Техническая система функционирует без человека или с минимальным его участием.

8. Техническая система и ее отходы не оказывает отрицательного воздействия на человека и окружающую природную среду.

Понятие идеальности, не смотря на свою фантастичность, часто позволяет создать ориентир для выбора прототипа и поиска нового улучшенного технического решения, не являющегося тупиковым (на рис. 1.28 это отображено как уменьшение угла поиска то есть β вместо α). Однако, идеальное техническое решение направляет поиск только к техническому идеалу, без учета интересов потребителей (удобство использования, управления и обслуживания, безопасность и экологичность), интересов изготовителей (технологичность конструкции, неиспользование дорогих или труднодоступных материалов и комплектующих), интересов транспортных и продавцов (удобство перевозок, складирования и хранения) не имеет шансов на практическое использование. Следовательно, при поиске наилучшего технического решения нужно учитывать интересы всех слоев общества.

При наличии необходимого научно-технического потенциала и социально-экономической целесообразности возникшая новая потребность удовлетворяется с помощью впервые созданных технических систем; при этом возникает новая функция, которая затем существует как угодно долго, пока ее реализация будет обеспечивать улучшение жизни людей. Число таких качественно и количественно отличающихся потребностей-функций, относящихся к техносфере страны (или мира), со временем возрастает по экспоненциальному закону.

РБ

Рассмотрим пример эволюции технических систем, относящихся к металлорежущим станкам. С начала 20-го века в основном использовались универсальные станки с ручным управлением, ориентированные на обработку определенных групп поверхностей с использованием определенных типов инструмента (токарные, строгальные, фрезерные, расточные, шлифовальные и т.д.). Производство, оснащенное такими станками, отличалось высокой живучестью (выход из строя нескольких станков предприятия не приводит к прекращению его работы, только несколько снижается общая производительность) и гибкостью (универсальный станок можно легко переналадить для обработки разных деталей, правда одного класса).

Необходимость повышения производительности и качества обработки потребовала повышения скорости и точности выполнения рабочих движений вновь проектируемых станков, а также к существенному повышению их жесткости. С другой стороны требовалась передача функции управления станком от человека системе управления. Вначале использовались механические (кулачковые) системы управления (например, на токарных автоматах и полуавтоматах), применение которых существенно снижало гибкость станка. Переход на электрические и затем на электронные системы управления позволило вернуть полуавтоматическим станкам былую гибкость.

Обработка на металлорежущих станках протекает при непрерывном изменении внешних условий (колебания глубины удаляемого слоя и твердости заготовки) и параметров динамической системы станка (изменение сил трения в направляющих и жесткости технологической системы). В этих условиях наличие жесткой программы, рассчитанной на наихудшие условия обработки, зачастую ведет к снижению производительности. Стремление преодолеть эти недостатки привело к появлению систем управления, которые позволяют оптимизировать процесс обработки каждой детали благодаря использованию текущей информации по показателям, определяющим условия и качество процесса резания. Эту информацию получают с помощью датчиков обратной связи в ходе резания. Такое управление было названо *адаптивным*.

С целью повышения производительности для массового производства разрабатывались и применялись станки для комплексной (разнообразной) обработки деталей с совмещением во времени рабочих и вспомогательных переходов (агрегатные станки). Для этих же целей применялись автоматические линии станков с автоматической передачей заготовок. Но такие станки и станочные системы не применимы в серийном производстве из-за отсутствия их гибкости.

Поэтому для серийного и мелкосерийного производства создавались многоцелевые переналаживаемые станки с числовым программным управлением (ЧПУ), которые позволяли проводить комплексную (правда, последовательную) обработку разных деталей. Технологические возможности таких станков расширяются благодаря агрегатно-модульному принципу построения, что позволяет совместить, например, на токарных многоцелевых станках токарную фрезерную и шлифовальную обработку. Кроме того, многоцелевые станки снабжаются системами управления с новыми функциями: 1) коррекция траектории при отклонении радиуса инструмента от заданного и 2) определение и учет погрешностей установки заготовки.

В результате освоения режущего инструмента на основе мелкозернистого твердого сплава с износостойкими покрытиями, керамики, кубического нитрида бора и алмаза стало возможным высокоскоростное резание (до 2000 м/мин). Поэтому потребовались станки с высокоскоростными шпиндельными узлами (частота вращения до 100000 об/мин), с улучшенными динамическими характеристиками. Потребовались устройства для эффективного отвода значительного объема образующейся стружки.

Одним из главных направлений развития станкостроения является дальнейший поиск конструктивных решений *сверхточных станков*, которые долж-

ны обеспечивать погрешность обработки в пределах $0,01 \dots 0,1$ мкм и показатель шероховатости Ra в пределах $0,002 \dots 0,01$ мкм.

В последнее время получили распространение *механотронные системы*. Сюда относят как использование так называемого прямого привода, так и создание станков принципиально новых концепций (например, *гексаподов*). Гексапод позволяет перемещать исполнительный орган (инструмент) по вертикали и горизонтали, а также поворачивать в трех плоскостях.

В соответствии с эволюцией металлорежущих станков изменились требования к основным и вспомогательным рабочим. Если сначала для работы на станках с ручным управлением требовались основные рабочие достаточно высокой квалификации (4-й – 6-й разряды), то при автоматизации управления требования к квалификации основных рабочих снижаются, но повышаются требования к квалификации вспомогательных рабочих (наладчиков).

Знание истории развития технических систем с определенными (схожими) функциями часто подсказывает удачные идеи их дальнейшего совершенствования (так как развитие идет по спирали, то прошлые решения на новом уровне часто дают дополнительный полезный эффект). Анализ эволюции технических систем с учетом моды, рынка, психологии проектировщиков и пользователей позволяет выявить и кратко описать опыт решения задач инженерного творчества, который часто оформляют в виде обобщенных эвристических приемов (правил), подсказывающих способ получения улучшающего технического решения.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Приведите примеры и причины морального устаревания станков с ручным управлением.
2. Чем характеризуется критический момент эксплуатации технической системы?
3. Назовите этапы жизненного цикла технической системы.
4. Назовите основные стадии этапа создания технической системы.
5. На каком этапе жизненного цикла технической системы выясняется эффективность ее создания?
6. Разъясните понятие «эволюция технической системы».
7. Когда при модернизации можно удалить компонент базового варианта технической системы?
8. Для выполнения каких функций при модернизации усложняется техническая система?
9. Назовите причины усложнения технической системы при ее модернизации.
10. Дайте характеристику этапа *а* эволюции технических систем.
11. Дайте характеристику этапа *б* эволюции технических систем.
12. Дайте характеристику этапа *в* эволюции технических систем.
13. Объясните понятие «научно-технический уровень».
14. Объясните понятие «социально-экономическая целесообразность».
15. Назовите стадии развития технических систем с функцией обработки предмета труда.
16. Назовите признаки идеального технического решения.
17. Какие преимущества и недостатки имеет проектирование с ориентацией на идеальное техническое решение?
18. Охарактеризуйте основные этапы эволюции металлорежущего оборудования.

2. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Качество и эффективность технических систем

ИБ1

Качество технической системы, согласно международному стандарту, представляет собой совокупность ее свойств и характеристик, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности. Это определение опирается на технико-экономическую природу качества. В общем случае множество свойств, образующих качество технической системы, должно рассматриваться в единстве и взаимодействии.

В зависимости от сложности ТС и цели исследования признают целесообразным введение нескольких уровней качества. Эмпирически установлены уровни качества, получившие названия: **устойчивость, помехоустойчивость, управляемость, способность, самоорганизация**.

Первичным качеством любой системы является ее **устойчивость** (R-качество). Системы, не обладающие этим качеством, не могут существовать. Для простых систем устойчивость объединяет такие их свойства, как прочность, стойкость к воздействию внешних факторов. Для сложных систем характерны различные формы структурной устойчивости, такие, как надежность, живучесть и т.д.

Другим качеством систем, более сложным, чем устойчивость, является **помехоустойчивость** (I-качество), понимаемая как способность системы без искажений воспринимать и передавать по каналам сообщений информационные потоки. Помехоустойчивость объединяет ряд свойств, присущих в основном подсистемам управления. К таким свойствам относятся надежность систем связи и систем переработки информации, их пропускная способность, возможность эффективного кодирования и декодирования информации.

Следующим качеством системы является **управляемость** (C-качество). Под управляемостью понимают способность системы переходить за конечное (заданное) время из одного состояния в другое (требуемое) состояние под влиянием управляющих воздействий. В общем смысле управляемость есть способность системы выполнять команды управления, оперативно реагировать на них. Очевидно, управлять можно лишь помехоустойчивой системой. Управляемость объединяет такие свойства системы, как **гибкость управления, его оперативность, точность, быстроедействие, инерционность** и др.

В ряду усложнения качества следующее место после управляемости занимает **способность** системы (A-качество). Данное качество объединяет совокупность свойств системы, определяющих ее функциональное назначение (производственное, транспортное, информационное и т.д.). К таким свойствам могут быть отнесены **производительность, мощность, обеспеченность** различного рода ресурсами и т.д.

Наиболее сложным качеством системы является самоорганизация (L – качество). Этим качеством обладают системы большой сложности, способные изменять свою структуру, параметры, ориентацию поведения в целях наилучшего выполнения своих функций. Самоорганизующаяся система обна-

руживает свойства, принципиально важными из которых являются: свобода выбора решений, способность к адаптации, самообучению, распознаванию ситуаций и т.п.

РБ1

Система, обладающая данным качеством (например, С-качеством), имеет и все другие более простые качества (I и R-качества), но не имеет качеств более высокого порядка (А и L-качества).

Введение уровней качества технических средств позволяет ограничивать исследования качества одним из перечисленных уровней. Уровень качества выбирает исследователь и в зависимости от сложности объекта определяет цели исследования, наличие информации о свойствах объекта, его целевом назначении и условиях применения.

Критерием качества обычно является один из показателей функционирования технической системы. Оценка качества технического решения может осуществляться по одному или нескольким критериям качества, которые должны быть *измеримыми* (исчисляемыми) и *сопоставимыми*. То есть критерий качества должен быть количественным и иметь такую размерность, которая позволяет сопоставлять технические системы (технические решения), полученные в разных странах и в разное время.

Вся совокупность критериев качества, относящаяся к данному классу технических систем, должна содержать только такие, которые не могут быть логически выведены из других критериев или не могут быть их прямым следствием (**принцип логической независимости критериев**). Однако между критериями качества могут быть физические взаимосвязи. *Количество критериев качества должно быть минимальным, но достаточным для оценки эффективности технического решения.*

Критерии качества не только *взаимозависимы*, но обычно "конфликтуют" друг с другом. Так если повысить производительность и надежность, то соответственно ухудшаются экономические показатели, т.е. повышается стоимость. А повышение производительности технической системы часто приводит к снижению ее надежности. И снижение первоначальной стоимости системы приводит иногда к повышению эксплуатационных затрат.

Критерии качества обладают различным уровнем общности. Каждый критерий может относиться: 1) к одному классу технических систем с одинаковыми или близкими функциями; 2) к нескольким классам технических систем с различными функциями, но определенными общими свойствами; 3) ко всем классам технических систем с любыми функциями.

В набор критериев качества входят следующие группы:

1) **функциональные критерии**, характеризующие качество выполнения заданных функций рассматриваемой технической системы;

2) **конструктивные критерии**, которые определяют габаритно-весовые характеристики и технические решения, обеспечивающие удобство монтажа, приспособленность системы к агрегатированию и взаимозаменяемости;

3) **критерии технологичности** определяют свойство системы обуславливать оптимальное распределение затрат ресурсов при технологической подготовке производства системы, ее изготовлении и эксплуатации;

4) **экономические критерии**, определяющие экономическую целесообразность реализации требуемых функций с помощью рассматриваемой ТС; они определяют денежные, временные, трудовые и материальные затраты на разработку, изготовление, эксплуатацию и ликвидацию системы;

5) **экологические критерии** определяют уровень вредных воздействий на окружающую среду при производстве, эксплуатации и ликвидации системы (содержание и вероятность выброса вредных газов, жидкостей или сыпучих материалов);

6) **эргономические критерии**, определяющие соответствие гигиенических, антропометрических, физиологических и психологических свойств человека условиям функционирования рассматриваемой ТС и ее воздействием на человека;

7) **эстетические критерии**, относящиеся к технологическому оборудованию и оснастке, отражают рациональность формы, совершенство исполнения и стабильности товарного вида (чистота выполнения контуров и сопряжений, тщательность покрытий и отделки, устойчивость к повреждению).

Одним из важнейших критериев качества технических систем является критерий **конкурентоспособности**. Этот критерий отражает совокупность ее свойств и характеристик, обеспечивающих преимущественную (по сравнению с другими системами с аналогичными функциями) возможность реализации данной технической системы на конкретном внутреннем или внешнем рынке в рассматриваемый период времени.

Основными критериями, определяющими **конкурентоспособность** технических систем, являются:

технический уровень системы, выражающий относительное техническое совершенство данной технической системы по сравнению с другими системами аналогичного назначения, поставляемыми (или имеющими перспективу поставки) на тот же рынок;

экономический уровень системы, определяемый относительной величиной затрат потребителя на приобретение и использование данной технической системы по сравнению с другими аналогичными системами, включая оплату таможенных сборов, налоги, расходы на транспортирование, монтаж и наладку приобретенной системы, оплату запасных частей, материалов и затрат энергии, расходы на обслуживание и ремонт и т.д.;

патентно-правовая защищенность системы, определяемая применительно к условиям конкретного рынка.

Показатели качества классифицируют еще по следующим признакам:

- *характерным свойствам,*
- *количеству свойств,*
- *применению,*
- *этапам жизненного цикла.*

По количеству свойств показатели качества могут быть **единичные, комплексные, групповые, интегральные и обобщенные**.

Комплексный метод оценки качества применяют, когда представляется возможным определить функциональную взаимосвязь комплексного показателя качества и единичных показателей. *Комплексный показатель* может быть выражен *главным показателем*, отражающим назначение системы, *интегральным* и *средневзвешенным* показателями. *Интегральный показатель* применяют в том случае, когда установлена *функциональная зависимость* суммарного полезного эффекта P эксплуатации системы от суммарных затрат на ее создание и эксплуатацию. При отсутствии функциональной зависимости главного показателя определяют его средневзвешенное значение, т.е. среднеарифметическое или среднегеометрическое значение.

Смешанный метод оценки качества основан на совместном применении дифференциального и комплексного методов. Его применяют в случаях, когда совокупность единичных показателей качества является достаточно обширной и анализ значений показателей дифференциальным методом не позволяет получить необходимых обобщающих выводов и когда обобщенный показатель качества в комплексном методе недостаточно полно учитывает все существенные свойства системы и не позволяет получить выводов с учетом всех важнейших свойств. При использовании смешанного метода часть единичных показателей объединяются в группы, для каждой из которых определяют соответствующий комплексный показатель.

По применению показатели качества делят на **базовые** и **относительные**. В зависимости от этапа жизненного цикла показатели качества могут быть **прогнозируемые** (расчетные), **проектные**, **производственные** и **эксплуатационные**. Показатели качества выражаются в натуральных и стоимостных единицах.

При обеспечении и оценке технического и экономического уровня технической системы на этапах проектирования учитывается вся совокупность критериев качества, приведенная выше.

ИБ2

Показатели функциональной и технической эффективности определяют полезный эффект при эксплуатации системы, а также прогрессивность технических решений, заложенных в нее. Для технологических систем эти показатели принято называть эксплуатационными. *Понятие эффективность относится к операции*.

Эффективность операции – это степень соответствия реального результата операции желаемому. *Эффективность операции* предопределяется ее *полезностью* в проводимой надсистемой политике, направленной на достижение глобальной цели. То есть, успешность операции (ее эффективность) рассматривается только с позиции надсистемы. Цель, стоящая перед ней, является целью операции.

Высокая эффективность операции обусловлена *рациональным способом использования высококачественных активных средств в благоприятно сложившихся условиях обстановки*. При этом результат Y операции ставят в зависимость от основных результирующих факторов – полезного эффекта q , затра-

ченных ресурсов C и времени выполнения операции T . В свою очередь, результирующие факторы зависят от выбранной стратегии.

Потенциальная эффективность операции определяется как эффективность операции при идеальном способе использования активных средств, т.е. при выборе лучшей стратегии. Потенциальная эффективность операции зависит лишь от качества активных средств.

Говоря об эффективности ТС, имеют в виду эффективность использования ее в качестве активного средства в типовой операции, для проведения которой предназначена эта система. В прикладных исследованиях эффективности ТС обычно приходится решать следующие проблемы:

- 1) проблема оценки эффективности операции с использованием ТС (проблема оценки);
- 2) проблема выбора рационального способа (стратегии) использования технических средств (систем) в операции (проблема выбора).

Оценка эффективности операции заключается в выработке так называемого *оценочного суждения* относительно пригодности заданного способа действий или приспособленности технических средств к решению определенных задач на основе измерения (оценивания) уровня эффективности операции при помощи критериев качества.

В данном учебном пособии подробнее рассматриваются наиболее часто используемые критерии качества. Это следующие функциональные критерии качества: *производительности, точности, универсальности, гибкости и надежности*. Из экономических критериев будут рассмотрены: *индекс эффективности, срок окупаемости, приведенные затраты, общественная производительность труда* и косвенный критерий *сложности*. Из эргономических будет рассмотрен один из важных критериев – критерий *безопасности*.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Охарактеризуйте понятие "качество".
2. Назовите уровни качества.
3. Охарактеризуйте понятие «устойчивость технической системы».
4. Охарактеризуйте понятие «помехоустойчивость технической системы».
5. Охарактеризуйте понятие «управляемость технической системы».
6. Какие свойства технической системы объединяет ее управляемость?
7. Какие свойства характеризуют критерий «способность технической системы»?
8. Какими свойствами обладает самоорганизующаяся техническая система?
9. Охарактеризуйте понятие «критерий качества».
10. Перечислите требования к критериям качества.
11. Перечислите группы критериев качества.
12. Что характеризуют функциональные критерии качества?
13. Что характеризуют конструктивные критерии качества?
14. Что характеризует критерий технологичности?
15. Что характеризуют экономические критерии качества?
16. Что характеризуют экологические критерии качества?
17. Что характеризуют эргономические критерии качества?
18. Что определяет критерий конкурентоспособности?
19. Какие критерии характеризуют конкурентоспособность технической системы?
20. По каким признакам классифицируют показатели качества?

21. Назовите показатели качества, отличающиеся по количеству свойств.
22. В каких случаях можно применять комплексную оценку качества?
23. Какими показателями качества может быть охарактеризован комплексный?
24. В каких случаях можно применять интегральную оценку качества?
25. В каких случаях можно применять средневзвешенную оценку качества?
26. На каких этапах жизненного цикла применяют расчетные и проектные показатели качества?
27. На каких этапах жизненного цикла применяют производственные и эксплуатационные показатели качества?
28. Что характеризует показатель эффективности технической системы?
29. К чему относится показатель эффективности технической системы?
30. Чем предопределяется эффективность операции?
31. Что обеспечивает высокую эффективность операции?
32. Чем определяется и от чего зависит потенциальная эффективность операции?
33. Какие проблемы решаются при оценке эффективности операции?

2.2. Критерии производительности и точности

ИБ

Производительность характеризует интенсивность работы технической системы. Критерий производительности всегда может быть измерен или вычислен. Структура формулы для вычисления и единицы измерения производительности может быть различной для различных систем. Так, например, для токарного автомата производительность обычно характеризуется количеством деталей, обрабатываемых за определенный отрезок времени (минута, час, смена, сутки). При этом различают *технологическую* Q_T , *цикловую* $Q_{\text{ц}}$ и *фактическую* $Q_{\text{ф}}$ производительность. Первая отражает затраты времени на формообразование (t_o), т. е.

$$Q_T = \frac{60}{t_o}$$

Цикловая производительность отражает затраты времени на цикл обработки детали, то есть кроме затрат времени на формообразование учитываются еще затраты времени t_b на вспомогательные переходы (на установку и закрепление заготовки, на холостые перемещения, на измерения и т.д.):

$$Q_{\text{ц}} = \frac{60}{t_o + t_b}$$

Фактическая производительность отражает еще внецикловые потери времени $t_{\text{п}}$ на наладку и ремонт станка, на ожидание заготовок, замену затупившегося инструмента и т.д., относящиеся к одной детали:

$$Q_{\text{ф}} = \frac{60}{t_o + t_b + t_{\text{п}}}$$

Связь между этими видами производительности показана на рис. 2.1. Что-

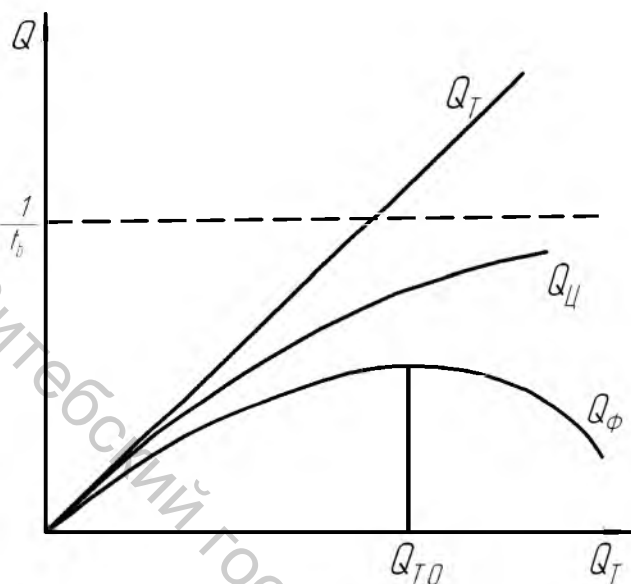


Рис. 2.1. Зависимость цикловой и фактической производительности от технологической.

бы можно было сравнивать производительность формообразования независимо от размеров обрабатываемой детали (поверхности), введено понятие удельной технологической производительности Q_y , которая отражает затраты времени на формообразование одного квадратного сантиметра поверхности

$$Q_y = Q_T \cdot F,$$

где F – суммарная площадь обработанных поверхностей детали.

Производительность локомотивов, двигателей и насосов характеризует их мощность. Так

производительность насоса W отражает не только объем жидкости, перекачиваемой насосом за минуту (Q), но и высоту h , на которую эта жидкость поднимается. Последний показатель косвенно характеризует давление, которое преодолевается насосом. Таким образом, в данном случае формула для расчета

производительности имеет вид $W = Q \cdot h$.

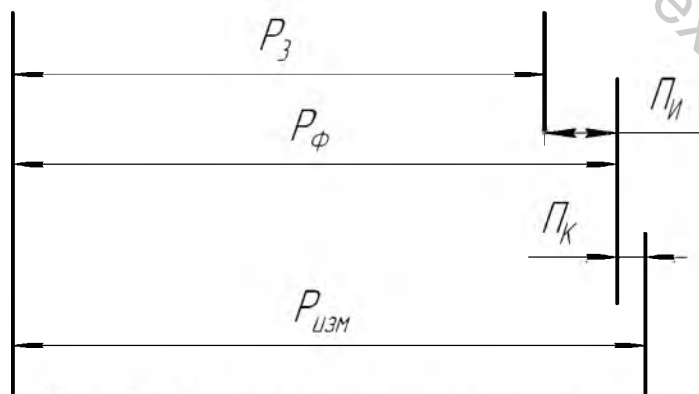
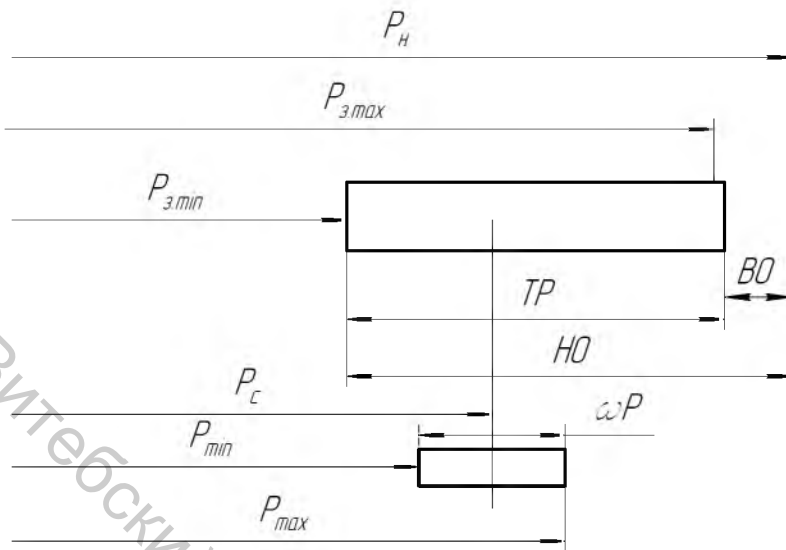


Рис. 2.2. Схема связи между критериями точности для единичной ТС.

Критерий точности характеризует степень отклонения какого либо показателя P_ϕ технической системы от заданного значения P_z . Можно рассматривать точность изготовления и точность измерения. Связь между этими показателями показана на рис. 2.2. Разницу между фактическим значением показателя и его

заданным или измеренным значением будем называть соответственно погрешностью изготовления $\Pi_{и}$ и погрешностью измерения $\Pi_{к}$ (контроля). Эти погрешности являются случайными величинами, значения которых ограничиваются. То есть на них накладывается допуск ТР. Отношения между заданным (номинальным) значением показателя P_n и множеством его фактических значений показаны на рис. 2.3. Показателем P может быть размер, форма, взаимное расположение элементов системы, скорость движения, сила и т.д.



P_H , P_z и P_c – номинальное, заданное и среднее значение критерия; TP – допуск на значение критерия; ωP -- поле рассеяния критерия; BO и HO – верхнее и нижнее отклонение от P_H .

Рис. 2.3. Схема связи между критериями точности для множества ТС

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Как можно охарактеризовать производительность грузового автомобиля?

2. На основании курса «теория резания» объясните, почему (за счет каких потерь) фактическая производительность имеет максимум?

3. К какому пределу стремится цикловая производительность обработки на станке при увеличении технологической?

4. Можно ли отнести критерий точности к такому показателю, как производительность насоса? Если можно, то почему?

2.3. Критерии универсальности и гибкости

ИБ

Как это было показано в разделе 1.1, функцию специальной системы можно отразить следующим формальным выражением:

$$\Phi = \langle D \rightarrow O; H \rightarrow P; Y \rangle.$$

Если система может выполнять несколько полезных функций, то ее **универсальность** следует отражать не только ассортиментом (множеством разных) полезных действий (A_d), но и ассортиментами (A_o) объектов, на которые направлены полезные действия, ассортиментами начальных (A_n) и конечных (A_p) состояний этих объектов. Состояние характеризуется показателями механических свойств и геометрическими показателями (коды форм, размеры и допуски). Тогда, универсальность (U_n) технической системы можно условно охарактеризовать следующим выражением:

$$U_n = \ln(A_d \cdot A_o \cdot A_n \cdot A_p).$$

У специальной технической системы $A_d = A_o = A_n = A_p = 1$. Следовательно, в этом случае $U_n = 0$. Если множество относится к дискретным величинам (A_d и A_o), то его мощность можно пересчитать. Если множество должно характеризовать диапазон непрерывных величин (A_n и A_p размеры), то его мощность вычисляется по формуле

$$A_n = \frac{A_{n.\max} - A_{n.\min}}{\Delta A_n}; A_p = \frac{A_{p.\max} - A_{p.\min}}{\Delta A_p};$$

где ΔA_n и ΔA_p – условные дискреты изменения размеров. Их можно принять, например, равными соответствующим допускам.

Например, шпиндельная бабка вертикально-сверлильного станка обеспечивает выполнение двух действий: вращение шпинделя и его осевая подача ($A_d=2$). Оба эти действия выполняются только над шпинделем ($A_o = 1$). Множество частот вращения равно числу ступеней коробки скоростей N_n , а множество подач равно числу ступеней коробки подач N_s . Тогда, условный показатель универсальности U_n будет равен

$$U_n = \ln(2 \cdot N_n \cdot N_s).$$

Если, например, технической системой является приспособление для взаимной ориентации заготовки и инструмента (кондуктор) при сверлении на вертикально-сверлильном станке отверстий разного диаметра D , но расположенных на одинаковых расстояниях от технологических баз, то его показатель универсальности можно вычислить по формуле

$$U_H = \ln \frac{D_{\max} - D_{\min}}{\Delta D},$$

где ΔD – дискрета изменения D . Это максимальная универсальность. Реальная (U_{np}) может быть значительно меньше.

$$U_{np} = \ln(N_b),$$

где N_b – количество кондукторных втулок.

Гибкость технической системы характеризует относительные затраты ресурсов (времени) на ее подготовку к переходу на новые показатели функции (D , O , H и P). Показатель гибкости можно вычислить по формуле

$$Gb = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \cdot \left(\frac{T_p}{T_n + T_p} \right)_i,$$

где Gb – показатель гибкости; T_{ni} и T_{pi} – затраты времени на переналадку и работу технической системы в i -ой ситуации; P_i – вероятность i -ой ситуации; n – число возможных ситуаций. Данное выражение отражает среднее значение показателя гибкости. Если T_n стремится к 0, то Gb стремится к 1, т. е. система приближается к абсолютной гибкости. Если T_n становится очень большим по сравнению с T_p , то Gb стремится к 0, т. е. система становится "жесткой". В затраты времени на переналадку следует включать время на изготовление заменяемых при переналадке компонентов.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Сформулируйте понятие «критерий универсальности».
2. Определите критерий универсальности шестеренчатого насоса.
3. Определите критерий универсальности коробки скоростей фрезерного станка, схема которой показана на рис. 1.16.
4. Сформулируйте понятие «гибкость технической системы».
5. Как связаны между собой показатели универсальности и гибкости технической системы?

6. На производственном станке обрабатываются три детали для которых $P_1 = 0,35$; $T_{p1} = 3,8$ мин; $T_{н1} = 10,5$ мин; $P_2 = 0,25$; $T_{p2} = 7,5$ мин; $T_{н2} = 12,5$ мин; $P_3 = 0,4$; $T_{p3} = 6,8$ мин; $T_{н1} = 6,5$ мин. Определите критерий гибкости этого станка.

2.4. Критерии надежности

ИБ

Под **надежностью** будем понимать способность технической системы сохранять работоспособность (выполнять заданные функции) в определенных условиях эксплуатации. Потеря работоспособности ведет к частичному или полному **отказу**, который может быть **постепенным** или **внезапным**. Примером постепенного отказа является процесс изнашивания режущей части инструмента. Когда износ достигает определенного значения, инструмент нужно заменить, так как его режущие свойства недопустимо ухудшились. Примером внезапного отказа является поломка детали в связи с развитием в ней усталостных процессов (накопление невидимых внешне микроразрушений).

Надежность технической системы (ее компонента) характеризуется ее **долговечностью** и **ремонтпригодностью**. **Долговечность** – способность технической системы к длительной эксплуатации при необходимом техническом обслуживании, в которое могут входить различные виды ремонтов. **Ремонтпригодность** технической системы называется ее приспособленность к предупреждению и устранению отказов. То есть ремонтпригодность характеризуется затратами труда и средств на ремонтные и восстановительные работы.

Поскольку обычно отказ является случайным событием, то характеристиками долговечности являются: 1) **среднее время безотказной работы** (или **наработка на отказ**) $T_{ср}$; 2) **дисперсия** $D(T)$ или **поле рассеяния** $\omega(T)$ времени безотказной работы T ; 3) **коэффициент готовности** K_g – вероятность того, что в данный момент времени t система (ее элемент) находится в исправном (работоспособном) состоянии.

В данном контексте **элемент** – это техническая система, надежность которой изучается вне зависимости от ее конфигурации. Коэффициент готовности определяется по следующей формуле:

$$K_g = \frac{T_{ср}}{T_{ср} + T_{св}},$$

где $T_{св}$ – среднее время восстановления системы (элемента).

Если известны значения K_{g_i} для элементов системы, то в зависимости от вида связей элементов можно вычислить значение K_g для системы в целом. Возможны три принципиально различных типа связей (в смысле надежности), объединяющих элементы в систему, (рис. 2.4). При последовательном соединении отказ любого из элементов системы приводит к отказу всей системы. Примером такой системы является автоматическая поточная линия без накопителей заготовок перед каждым станком. Коэффициент готовности такой системы из "n" элементов (в случае независимости характеристик надежности ее элементов) определяется по формуле

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma_1} \cdot K_{\Gamma_2} \cdot \dots \cdot K_{\Gamma_{(n-1)}} \cdot K_{\Gamma_n}.$$

В случае наличия накопителей отказ любого станка линии (кроме последнего) не приводит к мгновенному отказу системы. Линия может еще работать в течение некоторого отрезка времени, пока не будет исчерпан запас заготовок в накопителях. Если в течение данного отрезка времени отказ вышедшего из строя станка будет ликвидирован, то в работе линии не будет перерывов. Такое мероприятие существенно повышает надежность линии.

При параллельном (в смысле надежности) соединении элементов отказ системы наступает, когда откажут все элементы, так как после отказа одного из них выполнение его функции берет на себя другой, и так до отказа последнего. Коэффициент готовности такой системы из "n" элементов определяется по формуле

$$K_{\Gamma} = 1 - (1 - K_{\Gamma_1}) \cdot (1 - K_{\Gamma_2}) \cdot \dots \cdot (1 - K_{\Gamma_n}).$$

Для таких систем чаще всего $K_{\Gamma_1} = K_{\Gamma_2} = \dots = K_{\Gamma_n} = \text{Const}$. Тогда

$$K_{\Gamma} = 1 - (1 - K_{\Gamma_1})^n.$$

При последовательно-параллельном соединении элементов для вычисления коэффициента готовности системы последнюю делят на последовательно соединенные группы элементов, имеющих параллельные связи. Сначала определяются коэффициенты готовности групп, а затем всей системы в целом. Тогда для системы, схема которой показана на рис. 2.4, в, коэффициент готовности определяется по формуле

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma_1} \cdot K_{\Gamma_3} \cdot K_{\Gamma_5} \cdot (1 - (1 - K_{\Gamma_2})^2) \cdot (1 - (1 - K_{\Gamma_4})^2).$$

А для системы, схема которой показана на рис. 3.4, з –

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma_1} \cdot K_{\Gamma_4} \cdot K_{\Gamma_5} \cdot (1 - (1 - (K_{\Gamma_2} \cdot K_{\Gamma_3})^2)).$$

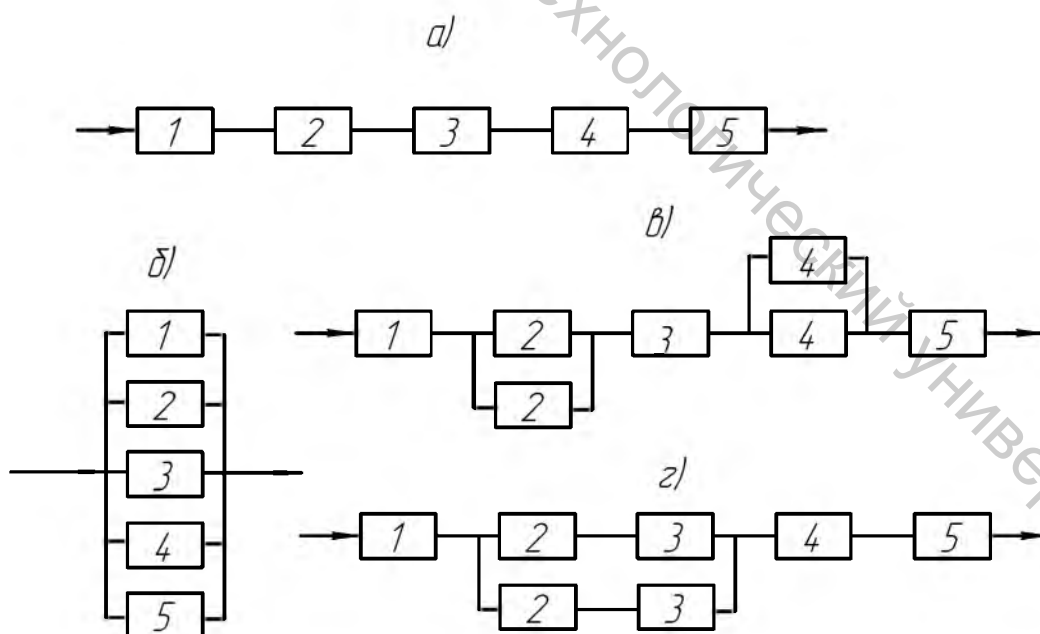


Рис. 2.4. Варианты связи компонентов системы по надежности:

а) последовательное; б) параллельное; в) и г) последовательно-параллельное.

Если коэффициенты готовности всех пяти элементов одинаковы и равны 0,9, то для систем, схемы которых показаны на рис. 2.4, коэффициенты готов-

ности будут соответственно равны: а) – 0,5905; б) – 0,9999; в) – 0,7145; г) – 0,7027. Из данных расчетов следует, что введение двух резервных станков в линию повышает ее коэффициент готовности и в несколько большей степени для такого соединения, когда резервные станки не соединяются последовательно между собой.

Критерий ремонтпригодности $K_{рм}$ вычисляется по формуле

$$K_{рм} = Z_{рм} / Ц,$$

где $Z_{рм}$ – затраты на ремонты за период жизни системы; Ц – цена системы. В качестве критерия ремонтпригодности можно использовать показатель $T_{св}$.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Чем характеризуется надежность технической системы?
2. Назовите характеристики долговечности технической системы.
3. Чему равен коэффициент готовности елочной гирлянды, состоящей из 15-ти лампочек, если коэффициент готовности каждой лампочки равен 0,98?
4. Что сделать, чтобы повысить показатель долговечности елочной гирлянды?
5. Резец ценой 1200 руб. может выдержать 10 переточек. Затраты на одну переточку 200 руб. Чему равен критерий ремонтпригодности резца?

2.5. Критерий сложности устройства

РБ

На промежуточных этапах проектирования нет возможности (нет данных и времени для расчетов) определить капитальные затраты на реализацию варианта технической системы. В первом приближении этот критерий можно заменить **показателем** (критерием) **сложности** (Сл), так как затраты на изготовление и отладку системы зависят от ее сложности.

Лучше всего организовать вычисление критерия сложности устройства иерархически. На самом низком уровне иерархии декомпозиции любого устройства находятся типовые поверхности. Для вычисления показателя сложности типовой поверхности (Сл_{тп}) предлагается следующая классификация.

Все типовые поверхности делятся на *шесть классов*: 1) *вращения*; 2) *плоские*; 3) *винтовые*; 4) *зубчатые*; 5) *фасонные*; 6) *типовые сочетания* поверхностей стандартных деталей. Каждый класс делится на подклассы поверхностей:

- 1.1) *цилиндр*, 1.2) *конус*, 1.3) *канавка*;
- 2.1) *плоскость*, 2.2) *окно*, 2.3) *канавка*;
- 3.1) *резьба цилиндрическая*, 3.2) *резьба коническая*, 3.3) *резьба ходовая*, 3.4) *червяк*;
- 4.1) *цилиндрический венец*, 4.2) *конический венец*, 4.3) *шлицы*;
- 5.1) *плоско-фасонная*, 5.2) *объемно-фасонная*;
- 6.1) *сочетания поверхностей крепежных деталей*, 6.2) *сочетание поверхностей пружины*, 6.3) *сочетание поверхностей шарикового (роликового) подшипника*.

Каждому двузначному коду соответствует *весовой коэффициент* B_{kij} , где i – номер класса; j – номер подкласса. Чем сложнее для обработки поверхность,

тем больше ее весовой коэффициент. Значения этих весовых коэффициентов приведены в таблице 2.1.

Таблица. 2.1

Весовые коэффициенты сложности поверхности

i, j	1,1	1,2	1,3	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3
Bk_{ij}	1	1,2	0,5	2	2,6	2,1	2,5	3	4,3
i, j	3,4	4,1	4,2	4,3	5,1	5,2	6,1	6,2	6,3
Bk_{ij}	5,1	7,2	9,1	7,5	5,5	10	1,5	0,8	9,2

Показатель сложности u -ой типовой поверхности $Сл_{tu}$ предлагается определять по формуле

$$Сл_{tu} = \frac{G_{1u} \cdot G_{2u} \cdot Bk_{iju}}{Kv_u - 3},$$

где u – номер поверхности; G_{1u} и G_{2u} – коэффициенты, учитывающие вид и тип поверхности; Kv_u – качество точности (от 14 до 5). Для открытых поверхностей $G_{1u} = 1$, для полуоткрытых – 1,2, для закрытых – 1,5. Для наружных поверхностей $G_{2u} = 1$, для внутренних – 1,5.

Показатель сложности v -ой детали $Сл_{dv}$ зависит от количества поверхностей Nnv , из которых она состоит:

$$Сл_{dv} = \sum_{u=1}^{Nnv} Сл_{tu}$$

Показатель сложности крепежных деталей принимается равным показателю сложности поверхности шестого класса.

При определении показателя сложности q -ой сборочной единицы $Сл_{cq}$ необходимо учитывать не только количество деталей N_{dq} в ней, но и необходимые дополнительные работы при сборке: 1) шабрение; 2) притирка; 3) шлифование; 4) шлифование. Для каждой из этих работ назначаются соответствующие весовые коэффициенты Bk_{qe} , где e – код вида дополнительной работы. Эти весовые коэффициенты равны:

e	1	2	3	4
Bk_{qe}	4	2,3	1,5	2,5

Тогда, показатель сложности сборочной единицы можно определить по формуле

$$Сл_{cq} = \sum_{v=1}^{N_{dd}} Сл_{dv} + \sum_{e=1}^{N_{pq}} Bk_{qe},$$

где N_{pq} – количество дополнительных работ при сборке q -ой сборочной единицы. И наконец, показатель сложности устройства $Сл$, состоящего из N_c сборочных единиц, N_{dd} дополнительных деталей и N_{ds} дополнительных стандартных деталей (дополнительные детали не входят в сборочные единицы), можно оценить по формуле

$$C_{\text{л}} = \sum_{q=1}^{N_c} C_{\text{л}_{cq}} + \sum_{r=1}^{N_{\text{до}}} C_{\text{л}_{\text{до}r}} + \sum_{s=1}^{N_{\text{до}}} B_{\text{к}_{\text{до}s}},$$

где $C_{\text{л}_{\text{до}r}}$ – показатель сложности r -ой дополнительной детали; $B_{\text{к}_{\text{до}s}}$ – весовой коэффициент s -ой дополнительной стандартной детали.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Для чего вводится критерий сложности?
2. От чего зависит критерий сложности поверхности?
3. Как изменяется коэффициент сложности поверхности при повышении точности ее обработки?
4. От чего зависит коэффициент сложности сборочной единицы?
5. Чему равен критерий сложности детали типа кольцо, выполненной по 8-му качеству точности?

2.6. Экономические критерии

ИБ

Экономические критерии качества четко оценивают целесообразность использования технологических машин и технологических процессов. Одним из таких критериев является **индекс эффективности затрат (Иэ)**, который определяется по формуле

$$Иэ = \frac{Ц - С}{K},$$

где K – капитальные затраты на приобретение, монтаж и наладку технологической машины (на подготовку технологического процесса); $Ц$ – цена годового выпуска производимой с помощью приобретенной машины (технологического процесса) продукции; $С$ – себестоимость годового выпуска продукции.

Вторым экономическим критерием качества является **срок окупаемости затрат (ТО)**, то есть отрезок времени, в течении которого суммарная прибыль станет равной капитальным затратам.

$$ТО = 1 / Иэ.$$

Однако в рыночных условиях цена определяется не только затратами на производство, но и отношением спроса к предложению. Поэтому эти критерии являются приближенными. В некоторых случаях (при сравнении двух вариантов технологических машин или процессов) более объективным является экономический **критерий приведенных затрат (ПЗ)**, которые отражают только отличающиеся виды затрат в рассматриваемых вариантах. Приведенные затраты определяются по формуле

$$ПЗ = C_n + Иэ_n \cdot K,$$

где C_n – приведенная годовая себестоимость выпускаемых товаров и услуг; $Иэ_n$ – нормативный индекс эффективности затрат (в машиностроении составляет от 0,125 до 0,2); K – капитальные затраты на реализацию варианта.

Выбирается тот вариант, у которого $ПЗ$ меньше. Если проектируемый вариант системы сравнивается с действующим (базовым), то знание приведенных

затрат позволяет определить **годовой экономический эффект** ($\mathcal{E}$) от внедрения (использования) спроектированного варианта. Экономический эффект определяется по формуле

$$\mathcal{E} = ПЗ_{\text{б}} - ПЗ_{\text{п}},$$

где $ПЗ_{\text{б}}$ и $ПЗ_{\text{п}}$ – приведенные затраты соответственно базового и проектируемого вариантов системы.

РБ

Важнейшим критерием оценки экономической эффективности является **производительность общественного труда** $Q_{\text{об}}$, которая представляет собой количество продукции, выпущенной на один рубль суммарных трудовых затрат. Для ее определения необходимо общее количество продукции, выпущенное за определенный период времени T , разделить на суммарные затраты прошлого и живого труда в денежном выражении.

$$Q_{\text{об}} = \frac{N_{\Gamma} \cdot T}{W_{\text{к}} + T \cdot (W_{\text{т}} + W_{\text{ж}})},$$

где N_{Γ} – годовой выпуск продукции, шт.; $W_{\text{к}}$ – капитальные затраты на приобретение и монтаж системы; $W_{\text{т}}$ – годовые текущие затраты прошлого труда, не-

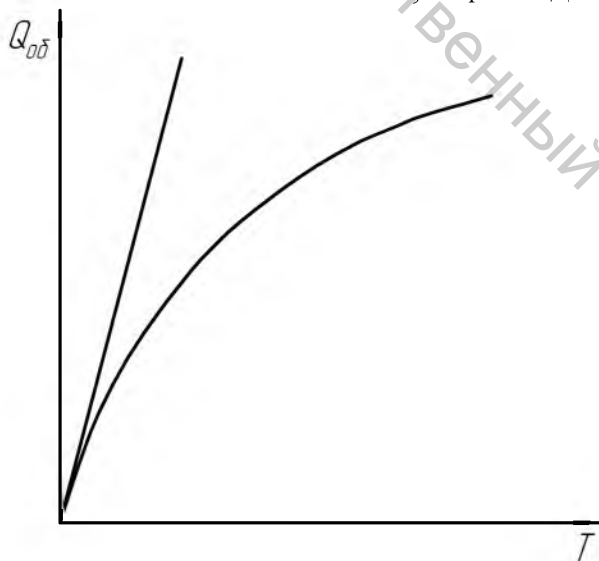


Рис. 2.5. Зависимость производительности общественного труда от времени эксплуатации технической системы

обходимые для обеспечения работоспособности системы (стоимость инструмента и электроэнергии, ремонт и обслуживание и т. д.); $W_{\text{ж}}$ – годовые затраты живого труда на обслуживание системы (зарплата операторов, наладчиков и т. д.). Данное выражение можно переписать следующим образом:

$$Q_{\text{об}} = \frac{T}{(W_{\text{ж}} / N_{\Gamma}) \cdot (K_{\text{то}} + T \cdot (m + 1))},$$

где $K_{\text{то}} = W_{\text{к}} / W_{\text{ж}}$ – коэффициент технической оснащенности; $m = W_{\text{т}} / W_{\text{ж}}$ – коэффициент текущих затрат; $W_{\text{ж}} / N_{\Gamma} = C$ – затраты живого труда на единицу продукции.

Эта формула показывает, что кроме обслуживающего персонала работу системы обеспечило некоторое количество человек, создав средства производства, а в течение срока эксплуатации системы труд (в среднем) еще m человек обеспечивает систему всем необходимым для выпуска продукции. Производительность общественного труда не является постоянной величиной, а изменяется от времени как это показано на рис. 2.5. Где величина $(1/a)$, равная $[1/(K_{\text{то}} \cdot C)]$, характеризует начальный (при $T = 0$) темп повышения производительности общественного труда. А величина b ,

равная $C \cdot (m+1)$, характеризует суммарные затраты живого и овеществленного труда на единицу выпускаемой продукции.

Два варианта систем при выборе наиболее эффективной можно сравнивать в одной из следующих ситуаций: 1) *сравниваются два варианта проектируемых или приобретаемых систем*; 2) *вариант проектируемой или приобретаемой системы сравнивается с заменяемой, которая уже проработала R лет*.

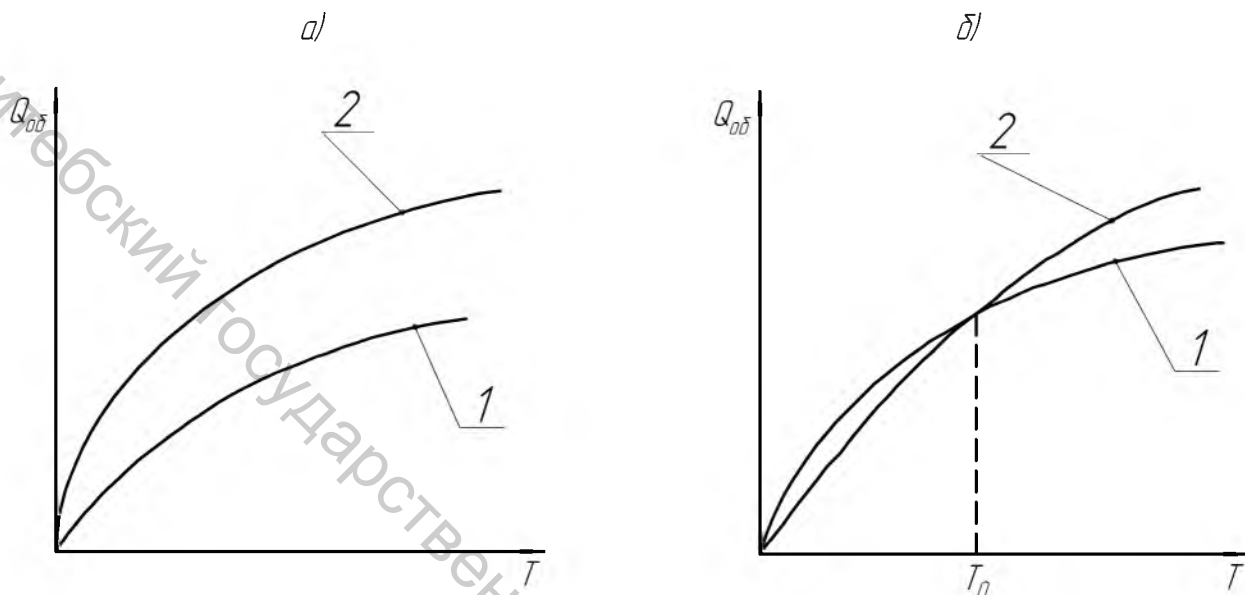


Рис. 2.6. Зависимость производительности общественного труда от времени для двух конкурирующих технических систем: 1) базовой и 2) новой.

Одну из систем (первую или заменяемую) будем считать базовой. Зная характеристики исходного варианта технической системы $K_{то}$, m , C и предполагаемый срок службы T , можно сравнивать варианты. В первой ситуации возможны два случая изменения производительности общественного труда во времени (рис. 2.6). В первом случае вторая (а) система всегда эффективнее первой. А во втором (б) – относительная эффективность зависит от времени. При $T < T_0$ эффективнее первая, а при $T > T_0$ – вторая.

Первый вариант имеет место, если $a_1 > a_2$ и $b_1 > b_2$. А второй вариант – при $a_1 < a_2$ и $b_1 > b_2$. Значение T_0 можно определить из уравнения

$$T_0 = (a_2 - a_1) / (b_1 - b_2).$$

Подставляя значения показателей эффективности в формулу для вычисления $Q_{об}$, получим выражение для сравнения двух конкурирующих систем.

$$q = \frac{Q_{об2}}{Q_{об1}} = \frac{a_1 + b_1 \cdot T}{a_2 + b_2 \cdot T},$$

где q – относительная производительность общественного труда.

Если предполагаемый срок службы близок к T_0 , то между конкурирующими системами нет существенной разницы.

При замене системы, проработавшей уже R лет, новой с соответствующими показателями эффективности (рис. 2.7.) относительная производительность общественного труда определяется следующим выражением

$$q = \frac{Q_{об2}}{Q_{об1}} = \frac{T}{T+R} \cdot \frac{a_1 + b_1 \cdot (T+R)}{a_2 + b_2 \cdot T};$$

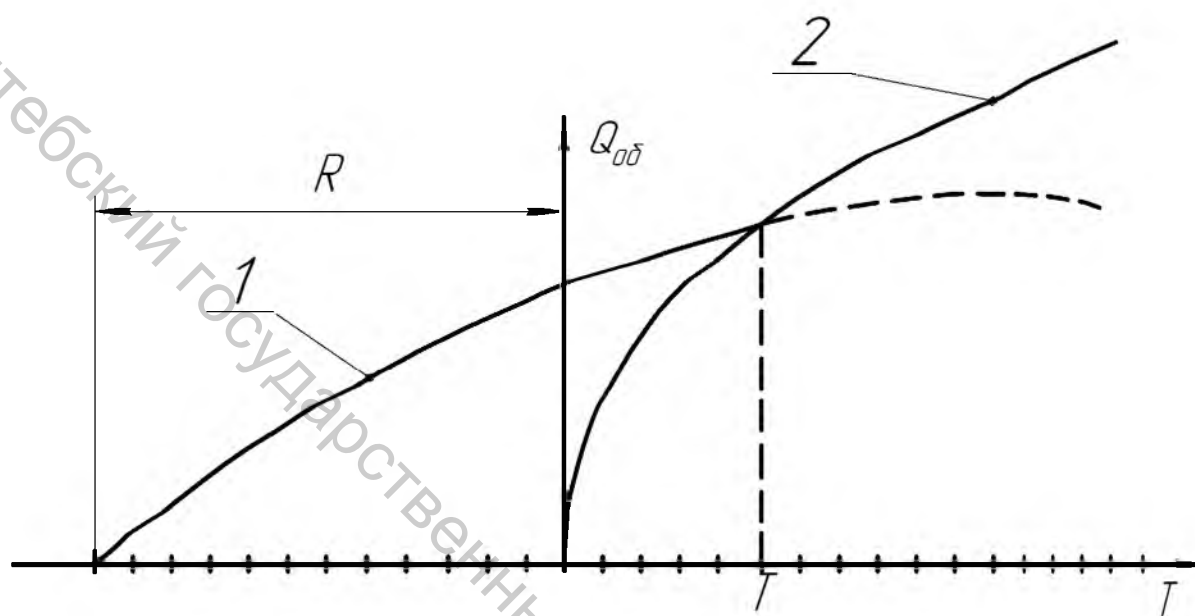


Рис. 2.7. Зависимость производительности общественного труда от времени при замене базовой системы 1, проработавшей R лет, новой 2, более производительной

Время T_o , через которое новая система обеспечит более высокую, чем заменяемая, производительность общественного труда (рис. 2.7), определяется при решении следующего квадратного уравнения:

$$A \cdot T_o^2 + B \cdot T_o - D = 0;$$

где

$$A = (b_1 - b_2); \quad B = (a_1 - a_2) + A \cdot R; \quad D = a_2 \cdot R.$$

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Для чего применяются экономические критерии качества технических систем?
2. Дайте определение понятию индекс эффективности затрат.
3. Из-за чего срок окупаемости является только приближенным критерием?
4. Дайте определение понятию производительность общественного труда.
5. Что характеризует коэффициент технической оснащенности?
6. Какой смысл имеет показатель b ?
7. Какой смысл имеет показатель a ?

2.7. Эргономический критерий

ИБ

Одним из эргономических критериев качества является **критерий безопасности** (Кб), который отражает вредное влияние сырья, продукции, выпускаемой системой, отходов производства и самой системы на человека (оператора) и окружающую среду. Значение Кб определяется по формуле

$$Кб = \sum_{i=1}^n \frac{B_i \cdot V_i \cdot S_i}{S_{i,n}},$$

где n – число вредных и опасных факторов; B_i – весовой коэффициент i -го фактора, который выбирается в соответствии с градацией по тяжести вредных воздействий (легкие и тяжелые травмы, смерть); при этом сумма B_i должна быть равной 1; V_i – весовой коэффициент i -го фактора, который принимает одно из следующих значений: $V_i = 1$ при $S_i = S_{i,n}$; $V_i = 1 / B_{\min}$ в противном случае; S_i – значение i -го вредного или опасного фактора (вероятность травмы, вибрационная нагрузка, уровень радиации, удельное содержание вредных веществ и т.д.); $S_{i,n}$ – нормативное значение i -го фактора (если $S_{i,n} > 0$, то необходимо, чтобы у проектируемой системы $S_i \leq S_{i,n}$).

Для определения S_i необходимы специальные исследования, и поэтому на этапе проектирования их определить невозможно. Это можно осуществить после изготовления опытного образца. Если $S_i \leq S_{i,n}$, то $0 \leq Кб \leq 1$. Чем меньше Кб, тем лучше.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Что характеризует критерий безопасности?
2. Назовите известные вам опасные и вредные факторы при работе в кузнечном цехе.
3. Назовите известные вам опасные и вредные факторы при работе в механическом цехе.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

3.1. Основные понятия

ИБ

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 т.д. 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.

РБ

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 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 про-

цесс, 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 (качества) 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 осознавать 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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Что такое проектирование?
2. На что указывают потребности в проектировании со стороны общества?
3. Что является мотивом проектной деятельности?
4. Каким ограничивающим требованиям должны соответствовать показатели новой технической системы?
5. Что является объектом новых методов проектирования?
6. Назовите общие черты методов проектирования типа «прозрачный ящик».
7. Когда возможно применять методы проектирования типа «прозрачный ящик»?

3.2. Стратегии проектирования

ИБ

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*, т.е. состоять из цепочки последовательных действий (этапов), в которой каждое действие зависит от исхода предыдущего, но не зависит от результатов последующих действий (рис. 3.1).

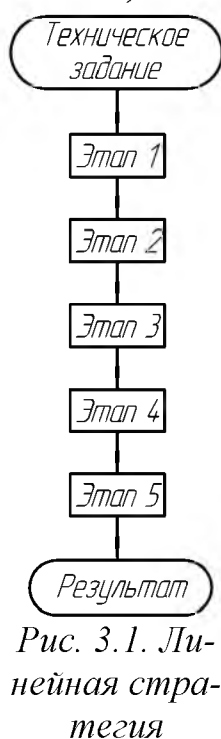


Рис. 3.1. Линейная стратегия

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 рис. 3.2. Самой страшной опасностью для проектировщика становится бесконечная петля, или порочный круг, из которого не удастся выбраться иначе, как изменив структуру задачи.

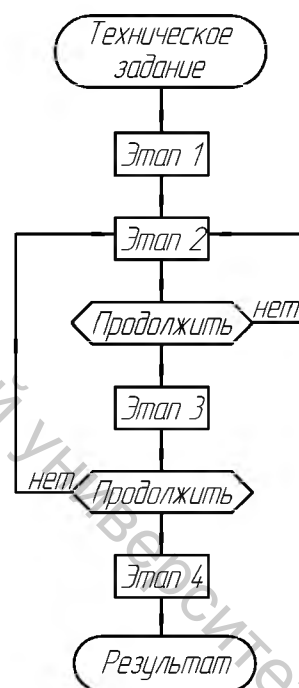


Рис. 3.2. Циклическая стратегия

Когда действия проектировщика не зависят одно от другого, может иметь место **разветвленная стратегия** (рис. 3.3). 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. 3.4). 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.

Случайный поиск, отличающийся абсолютным отсутствием плана (рис. 3.5), 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 линейности 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.

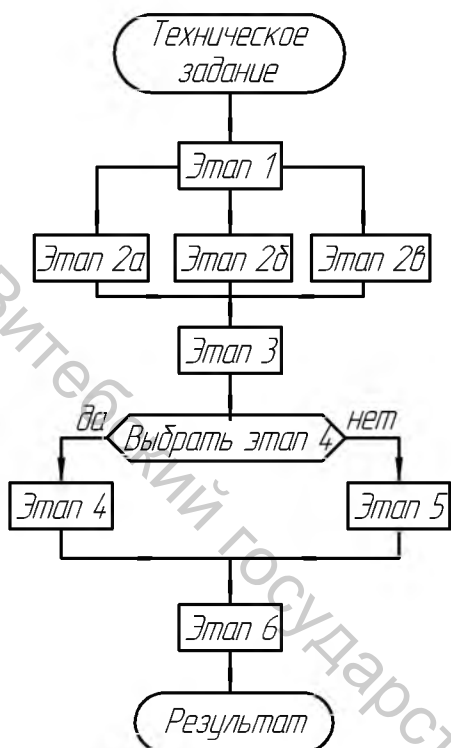


Рис. 3.3. Разветвленная стратегия



Рис. 3.4. Стратегия приращений

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.



Рис. 3.5. Случайный поиск

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 неизвестно. 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 15.201 этапам, которые завершаются разработкой *технического задания* (Тз) и *технического предложения* (Тп).

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. Определяются, 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 15.201 этапу, который завершаются разработкой *эскизного проекта* (Эп).

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 15.201 этапам, которые завершаются разработкой *технического проекта* (Тпр) 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).

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Дайте определение термину «стратегия проектирования».
2. Назовите виды стратегий проектирования.
3. Изобразите схему циклической стратегии проектирования.
4. Изобразите схему разветвленной стратегии проектирования.
5. Назовите преимущества случайного поиска решений при проектировании.
6. Внимательно изучите три фазы проектной деятельности и попробуйте составить общую стратегию проектирования, в которую будут входить все шаги.

3.3. Инженерное прогнозирование

ИБ

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 приближения 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», т. е. 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, т. е. 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.).

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Что такое инженерное прогнозирование?
2. На какие вопросы должно ответить инженерное прогнозирование?
3. Что такое исследовательский инженерный прогноз?
4. Что такое нормативный инженерный прогноз?
5. В чем состоит принципиальное различие нормативного и исследовательского прогнозов?
6. Назовите основные цели инженерного прогноза.
7. Какие источники используются при инженерном прогнозе?

3.4. Варианты постановки задачи и описания результатов проектирования

ИБ

Возможны следующие варианты постановки задачи проектирования технологических (перерабатывающих) систем (табл. 3.1).

Таблица 3.1

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						

В а р и а н т 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, технологиче-

ский процесс обработки и сборки, станок, приспособление, инструмент). Этот вариант можно назвать производственной задачей.

В а р и а н т 2. Обычно задан нежелательный вход (например, отходы производства или побочный продукт). Нужно найти способ превращения его в пока неизвестный желательный выход. Этот вариант можно назвать задачей утилизации.

В а р и а н т 3. Это задача об использовании бездействующей системы (например, технологического оборудования, приспособлений и инструментов). Характеристики бездействующей системы заданы.

В а р и а н т 4. Это задача выбора или разработки производственной системы для превращения заданного входа в заданный выход. Задача несколько проще, чем в первом или втором вариантах.

В а р и а н т 5. Задан выход (продукт) и технологическая система для его получения. Необходимо найти совместимый вход (сырье).

В а р и а н т 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 22487-77 *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.

РБ

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 рис. 3.6, он имеет вид:

-
- 040 Контрольная
- Technical drawing of a control part (040 Контрольная) showing a side view and a cross-section.
- Side View Dimensions:**
- Thread: M22x15
 - Hole diameter: $\phi 17_{-0.014}^{+0.005}$
 - Radius: 0.5
 - Radius: 0.8
 - Radius: 12.5
 - Length: 12
 - Length: 2
 - Length: 25
 - Length: 3
 - Radius: 0.8
 - Radius: 25
 - Length: 36
- Cross-section Dimensions:**
- Hole diameter: $8_{-0.02}^{+0.03}$
 - Section number: 21

Рис. 3.6. Чертеж детали к примеру маршрута обработки
Материал : Сталь 45

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), характеризуемых 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.

Описание операции может иллюстрироваться операционным эскизом (рис. 3.7). 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 резьбовой.

9. Снять деталь.

10. Выборочный контроль на рабочем месте. Штангенциркуль; кольцо резьбовое.

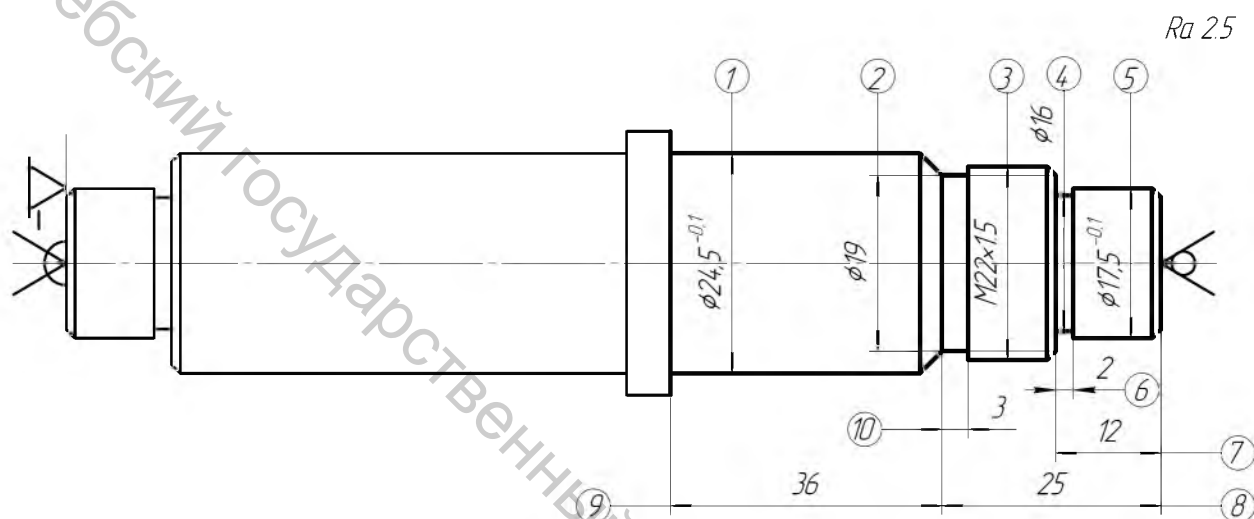


Рис. 3.7. Операционный эскиз к операции 015

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 16K20 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 – пе-

реключение 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 на проход, 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 значения координаты, подачи, номера инструмента и т.д.

Иерархия описания машины (устройства) состоит из следующих уровней.

1) *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.

2) *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).

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

4) *Рабочие чертежи* оригинальных деталей. Они дают полную информацию о форме, размерах, относительном расположении и показателях качества (точность, шероховатость, твердость, тип покрытия) их типовых элементов (поверхностей). Указывается также материал, из которого изготовлена деталь.

5) *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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Что такое производственная задача проектирования?
2. Охарактеризуйте задачу утилизации.
3. Что является конечным продуктом проектирования?
4. Как преодолевается противоречие между сложностью описания технической системы и возможностями восприятия информации человеком?
5. Охарактеризуйте уровни иерархии описания технологического процесса механической обработки.
6. Охарактеризуйте уровни иерархии описания устройства.

3.5. Типовые проектные процедуры

ИБ

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).



Рис. 3.8. Классификация типовых проектных процедур

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 рис. 3.8.

Результатом синтеза функциональной структуры является дерево функций (см. рис. 1.14) 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 выявляются:

- 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 записывания прессформы с заданной силой записывания P и подсистема впрыска с заданным объемом впрыска V . Тогда число гнезд в прессформе n ограничивается следующими неравенствами:

$$n < \frac{P}{F \cdot k \cdot p}; \quad n < \frac{V}{1,1 \cdot V_{\text{и}}},$$

где F – площадь проекции отливаемого изделия на плоскость разреза; 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. Каждый 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 здра-

вого смысла, условиями совместимости 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 не пригоден 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 не формализованной 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.

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 рис. 3.9. В данном функциональном модуле существуют не только отношения между взаимным располо-

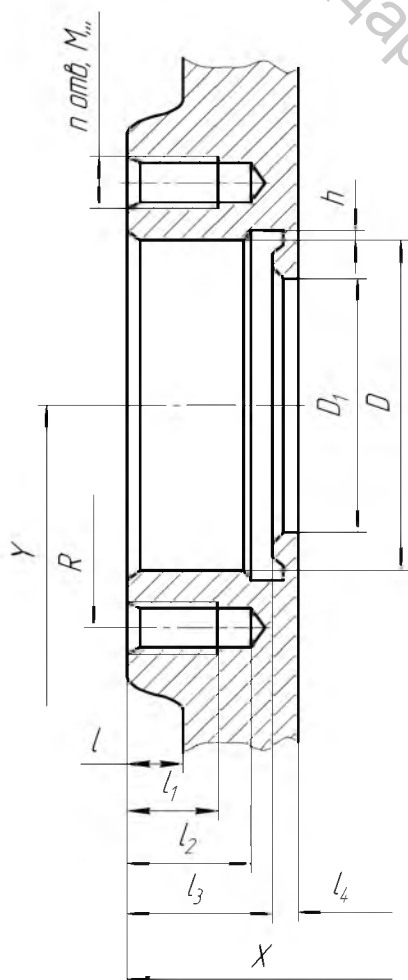


Рис. 3.9. Функциональный модуль корпусной детали. (Функция – ориентация и закрепление подшипника качения)

жением входящих в него элементарных типовых поверхностей, 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 резца 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 не пригодно, 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 функционирования проектируемой системы. Например, принцип управления с обратными связями можно реализовать с помощью гидравлических, пневмо-механических или электро-механических устройств.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Что такое проектное решение?
2. Какая разница между проектными процедурами синтеза и анализа?
3. Какая разница между проектными процедурами структурного и параметрического синтеза?
4. Назовите процедуры структурного синтеза.
5. Назовите процедуры параметрического синтеза.

6. Назовите процедуры анализа проектных решений.
7. Что является результатом синтеза функциональной структуры технической системы?
8. Назовите и охарактеризуйте виды количественных ограничений пригодности компонентов для выполнения заданной функции.
9. Назовите и охарактеризуйте виды качественных ограничений пригодности компонентов для выполнения заданной функции.
10. Назовите и охарактеризуйте процедуры топологического синтеза.
11. Назовите и охарактеризуйте процедуры геометрического синтеза.
12. Укажите порядок выполнения любого этапа проектирования и попробуйте нарисовать схемы стратегий выполнения, как это показано на рис. 3.1 ... 3.5.

3.6. Сложность задач синтеза

ИБ

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:

- 1) спроектировать калибр для проверки прямолинейности отверстия заданного диаметра и длины;
- 2) спроектировать круглый фасонный токарный резец для обработки заданного участка вала;
- 3) спроектировать технологический процесс обработки вала, чертеж которого приведен на рис. 3.6, 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, типовый вал для вала, показанного на рис. 3.6, имеет еще шлицы и, следовательно, в его маршрут обработки включена операция 022 Шлицефрезерная. Эта операция исключена из маршрута обработки вала, показанного на рис. 3.6.

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*. Зада-

чи данного уровня сложности обычно формулируются шире по сравнению с задачами первого уровня. Например:

1) спроектировать привод шпинделя токарного станка с заданной на выходе мощностью и диапазоном частот вращения;

2) 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;

3) асинхронный двигатель и шестеренчатая коробка скоростей с фрикционными муфтами, позволяющими автоматизировать переключение;

4) регулируемый электродвигатель и упрощенная шестеренчатая коробка скоростей для переключения диапазонов регулирования;

5) 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, не известная ранее конфигурация или известный элемент, используется для выполнения новой для него функции).

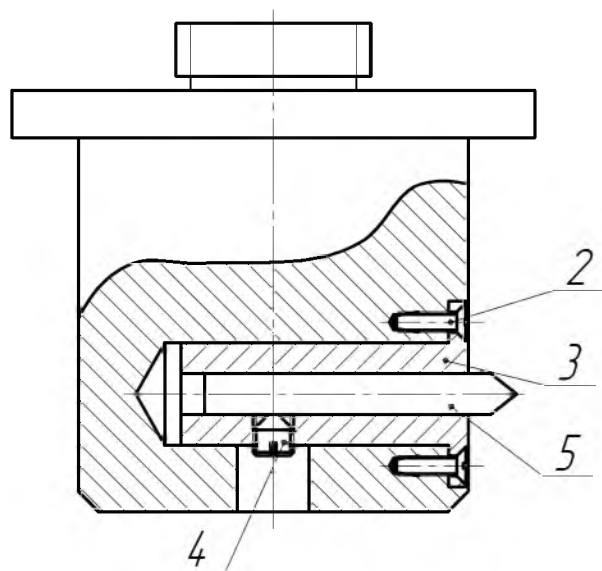


Рис. 3.10.Оправка по авторскому свидетельству СССР № 584979

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 своим передним концом, а резец во втулке – своим задним концом (рис. 3.10).

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 детали, 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 рис.3.11 (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 деталь 8 сложной формы размещается в рабочей зоне (между

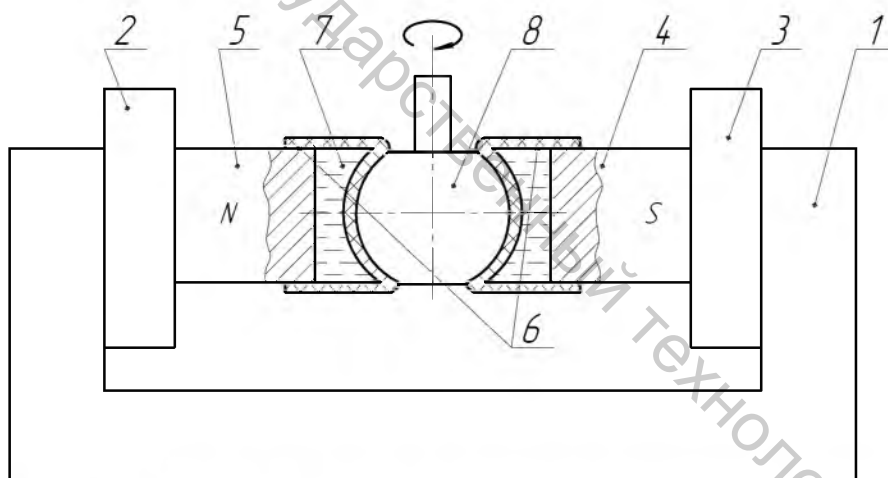


Рис. 3.11. Схема устройства для полирования поверхностей слож-

полюсами). При включении электромагнитных катушек 2 и 3 магнитная жидкость под действием магнитного поля притягивается к поверхности детали 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.

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 уровня сложности можно отнести к изобретениям.

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

РБ

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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Охарактеризуйте задачи синтеза, которые относятся к первому уровню сложности.
2. Охарактеризуйте задачи синтеза, которые относятся ко второму уровню сложности.
3. Охарактеризуйте задачи синтеза, которые относятся к третьему уровню сложности.
4. Охарактеризуйте задачи синтеза, которые относятся к четвертому уровню сложности.

3.7. Классификация компонентов технического объекта (устройства)

ИБ

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. Круп-

ные 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 существенно ниже мощности множества самих деталей, а тем паче 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.

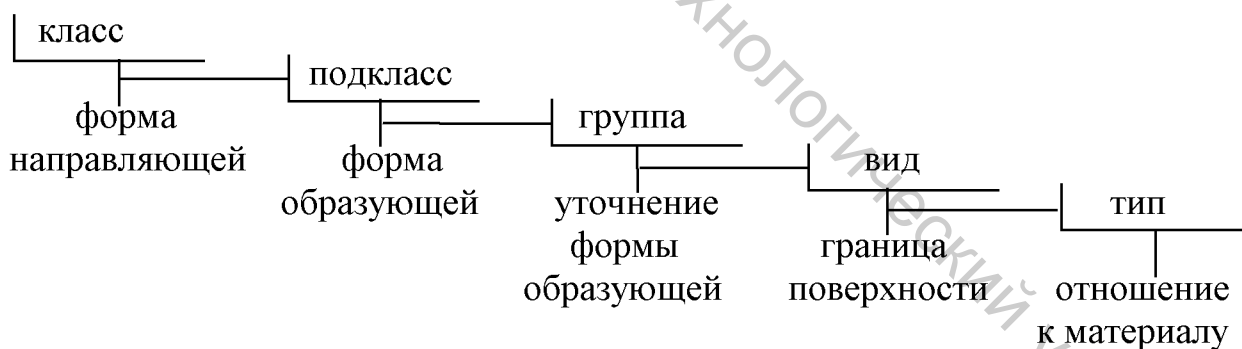


Рис. 3.12. Схема принципа классификации типовых поверхностей деталей ТО по форме

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 рис. 3.12.

Самой высокой ступенью классификации поверхностей является *класс*, признаком которого является *закон движения образующей* (т.е. 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 рис. 3.13.

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 R_a (или R_z) и твердостью.

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.

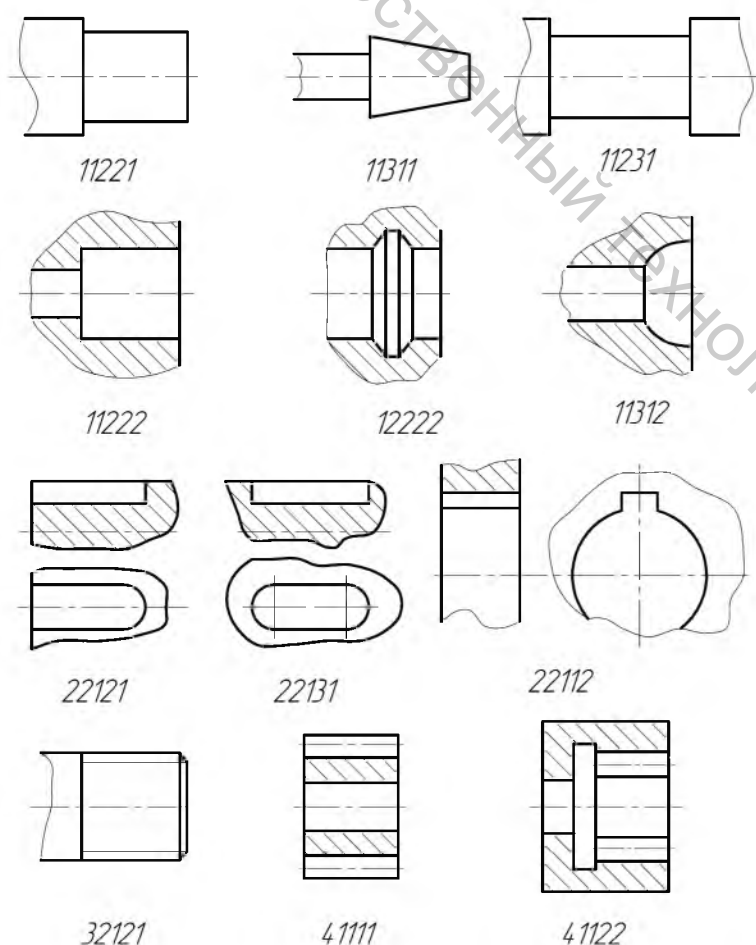


Рис. 3.13. Примеры типовых поверхностей

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, так называемые, *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", т.е. 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-му – 5-му квалитетам),

точные – (6-му - 7-му квалитетам),

средней точности – (8-му - 10-му квалитетам),

неточные – (11-му - 14-му квалитетам).

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

Эта группа представлена [14] 159 разными вариантами конфигураций (конструкций). Там же представлено 57 вариантов тормозных устройств. Всего книга содержит 3169 механизмов и их компонентов, применяющихся в машинах различных отраслей промышленности, и конечно не охватывает всего их многообразия.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Назовите системы классификации компонентов машин.

2. Что такое функционально-сборочный компонент машины?

3. Что такое деталь и ее неделимый элемент?

4. Укажите неделимые компоненты детали, изображенной на рис. 3.6.

5. Объясните термин «кинематическая поверхность».

6. Охарактеризуйте признаки иерархии классификации типовых поверхностей.

7. Назовите классы типовых поверхностей.

8. Какая информация нужна для полного описания типовой поверхности?

9. Объясните термин «функциональный модуль».

10. Из каких типовых поверхностей состоит функциональный модуль, показанный на рис. 3.9.

11. Разделите деталь, показанную на рис. 3.6, на функциональные модули.

12. По каким признакам проводится классификация деталей машин?

13. Когда множество деталей становится технической системой?

3.8. Классификация методов обработки деталей технических объектов

ИБ

Технологический процесс изготовления деталей ТО, как было указано ранее (см. главу 1), 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 классификации, 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 химикотермической 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 [14]. 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 мало пригоден 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 сочета-

ние 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) (приложение 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.

РБ

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

- 1) заготовке,
- 2) инструменту,
- 3) рабочей среде,
- 4) кинематике движения и
- 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 3.2...3.6.

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,

Таблица 3.2

Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к заготовке

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
1	2	3	4
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

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4
02	Вид агрегатного состояния вещества заготовки до начала процесса формообразования	01 02 03 04 05	Твердое компактное Твердое порошкообразное Вязкое Расплавленное Комбинация нескольких агрегатных состояний
03	Процесс, лежащий в основе преобразования формы и размеров	01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	Пластическое деформирование Хрупкое разрушение Пластичное (вязкое) разрушение Гравитационное течение Центробежное течение Течение под давлением Течение всасыванием (вакуумом) Эрозия Анодное растворение Электролиз Плавление Испарение Затвердевание (кристаллизация) Уплотнение Полимеризация Вулканизация Сваривание Припаивание Склеивание Комбинация нескольких процессов
04	Процесс, лежащий в основе изменения свойства	01 02 03 04 05 06 07 08 09	Пластическое деформирование Нагрев до определенной температуры и охлаждение с заданной скоростью Затвердевание (кристаллизация) Диффузия Спекание Армирование Пропитка Сушка Комбинация нескольких процессов

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.).

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 табл. 3.2 (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 термореактивных 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 табл. 3.2 (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. 3.3 (05 и 06)).

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 – жидкий электролит, при светолучевой обработке – монохромный луч (электромагнитное поле).

.Таблица 3.3

Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к инструменту

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
1	2	3	4
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

1	2	3	4
06	Вид агрегатного состояния вещества инструмента	01 02 03 04 05 06	Твердое Эластичное Вязкое Жидкое Газообразное Комбинации состояний
07	Вид связи формообразующего элемента инструмента с "державкой"	01 02 03 04 05 06	Жесткая Эластичная Жесткая с одной степенью свободы Жесткая с двумя степенями свободы Жесткая с тремя степенями свободы Нет связи
08	Вид воздействия инструмента для преобразования	01 02 03 04	Механическое Тепловое Электрохимическое (химическое) Комбинированное
09	Характер подвода и распределения энергии в процессе преобразования	01 02 03 04 05	Точечный Линейный Поверхностный В подповерхностный слой В объем заготовки (сырья)
10	Характер изменения воздействия во времени	01 02 03 04 05 06	Непрерывно неизменное Непрерывно изменяющееся (не периодически) Гармоническое Циклически прерывистое Ударное Комбинированное

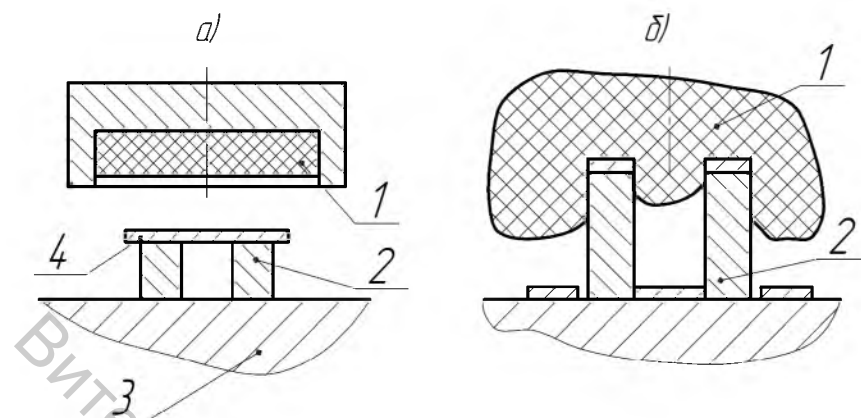


Рис. 3.14. Схема вырубки (а) и пробивки (б) эластичным инструментом:

1) резиновая подушка; 2) матрица; 3) стол прес-готовка (лист)

формовании из листовой заготовки может применяться жидкость (рис. 3.15).

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 рис. 3.16. Эластичность ленты 2, покрытой абразивными зернами, позволяет ей принимать в зоне контакта форму фрагмента обрабатываемой поверхности заготовки 1. При этом нагрузка более или менее равномерно распределяется между абразивными зернами, находящимися в зоне обработки.

Часто при формовании 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. 3.14), а при импульсном формовании

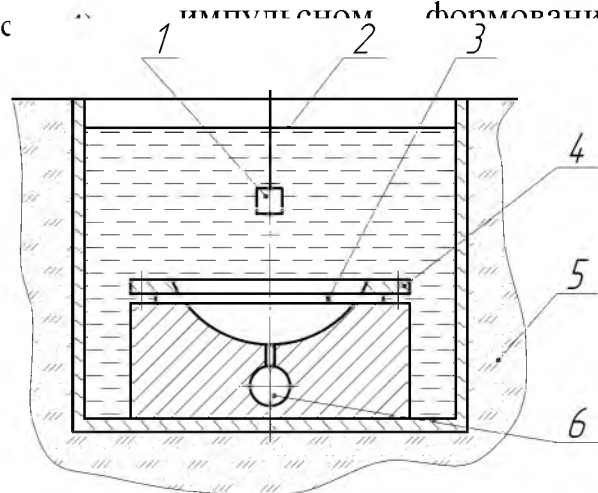


Рис. 3.15. Схема формования жидким инструментом:

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

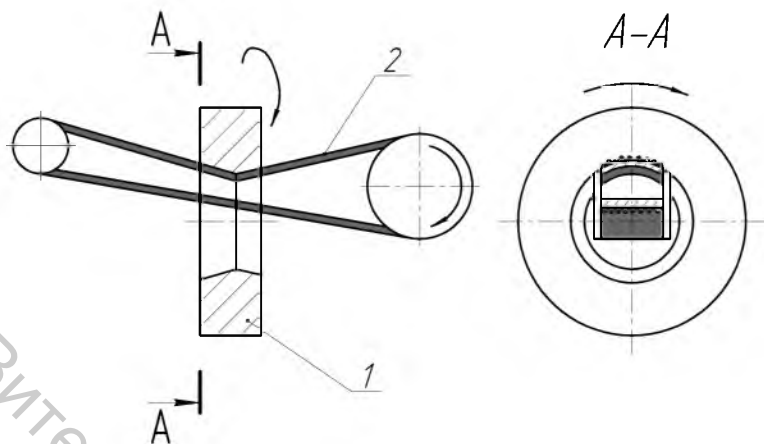


Рис. 3.16. Схема шлифования эластичным инструментом

казан на рис. 3.17. 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 рис. 3.18. Обработка в струе жидкости

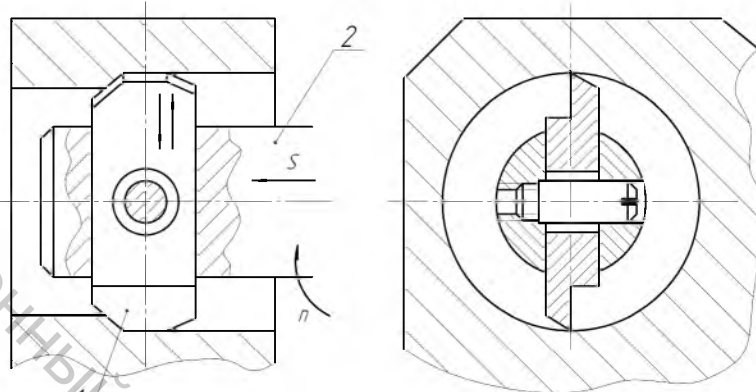


Рис. 3.17. Схема обработки плавающим двухлезвийным блоком:
1) блок; 2) оправка.

применяется для поверхностной особо сложной конфигурации. Поверхность 1 обрабатываемой заготовки подвергается воздействию струи жидкости 3, содержащей абразивные частицы. Струя жидкости подается из сопла 2 под углом (чаще всего 40 градусов). При магнитоабразивном полировании (рис. 3.18,б) в зазор между полюсами электромагнита 3 подается порошок 2, 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. 3.3 (09 и 10)).

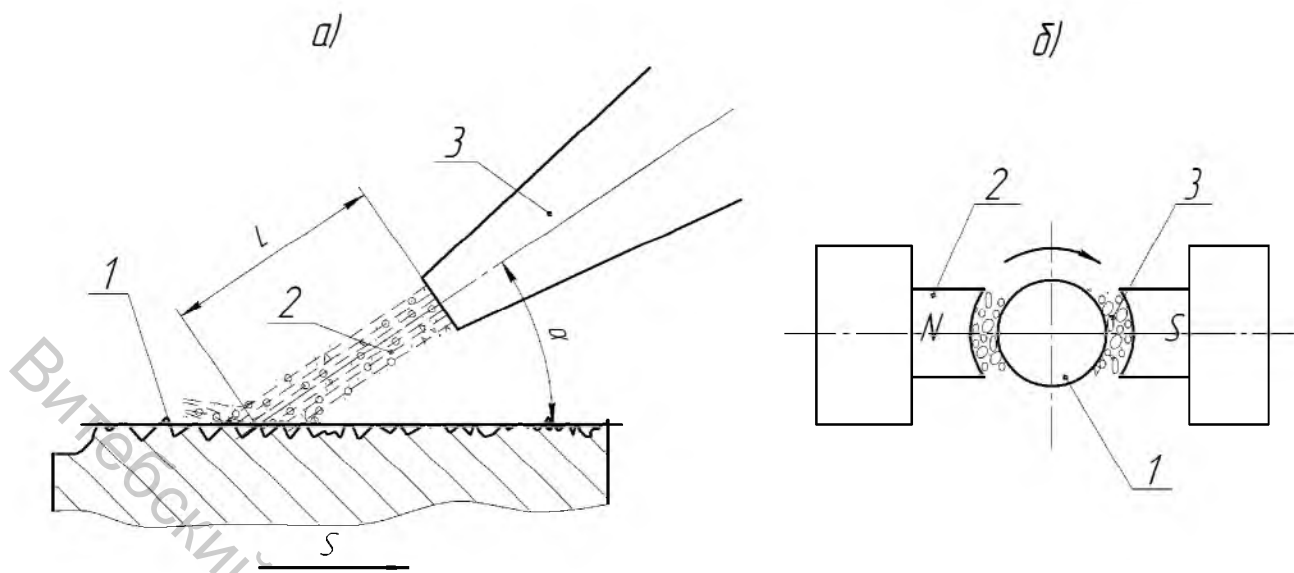


Рис. 3.18. Схема обработки свободным абразивом:
1) заготовка; 2) абразив; 3 а) сопло; 3 б) полюс магнита.

Таблица 3.4

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

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
1	2	3	4
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

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4
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

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

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 табл. 3.4 (11 и 12). Примером отсутствия точной ориентации заготовки и ее связи с технологической системой является виброабразивная обработка (рис. 3.19). Заготовки 1 и абразивная среда 2 загружаются в контейнер 3, которому сообщаются вибрации 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.

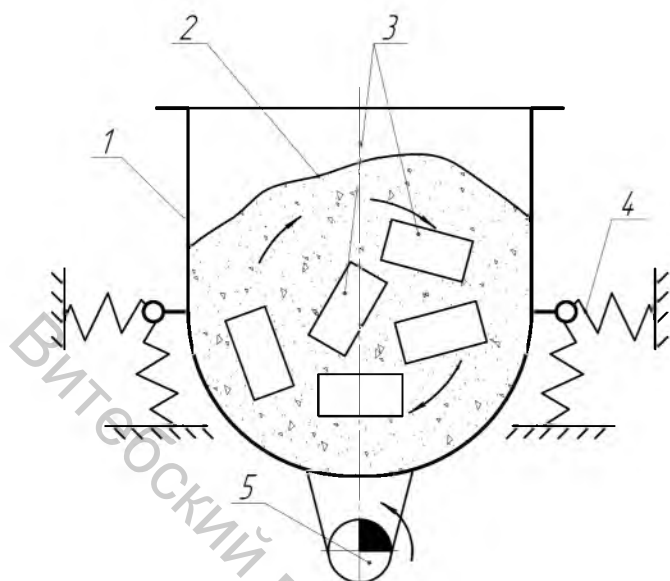


Рис. 3.19. Схема виброабразивной обработки:

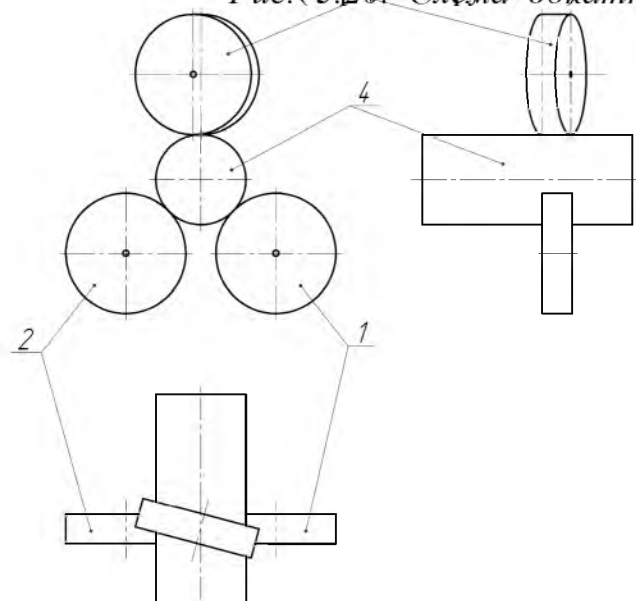
- 1) бункер; 2) рабочая среда; 3) заготовки; 4) пружинная подвеска; 5) ротационный вибратор.

плоскостей и пазов – наоборот. При сверлении на сверлильном станке все движения совершает инструмент. Возможные виды главного движения и движения подачи приведены в табл. 3.4 (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;

Рис. (первая функция) Схемы обработки тремя роликами



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 не-

подвижного, 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 рис. 3.20, где заготовка 4 обкатывается тремя роликами с целью снижения шероховатости ее поверхности. В данном случае функция 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).

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 – не-

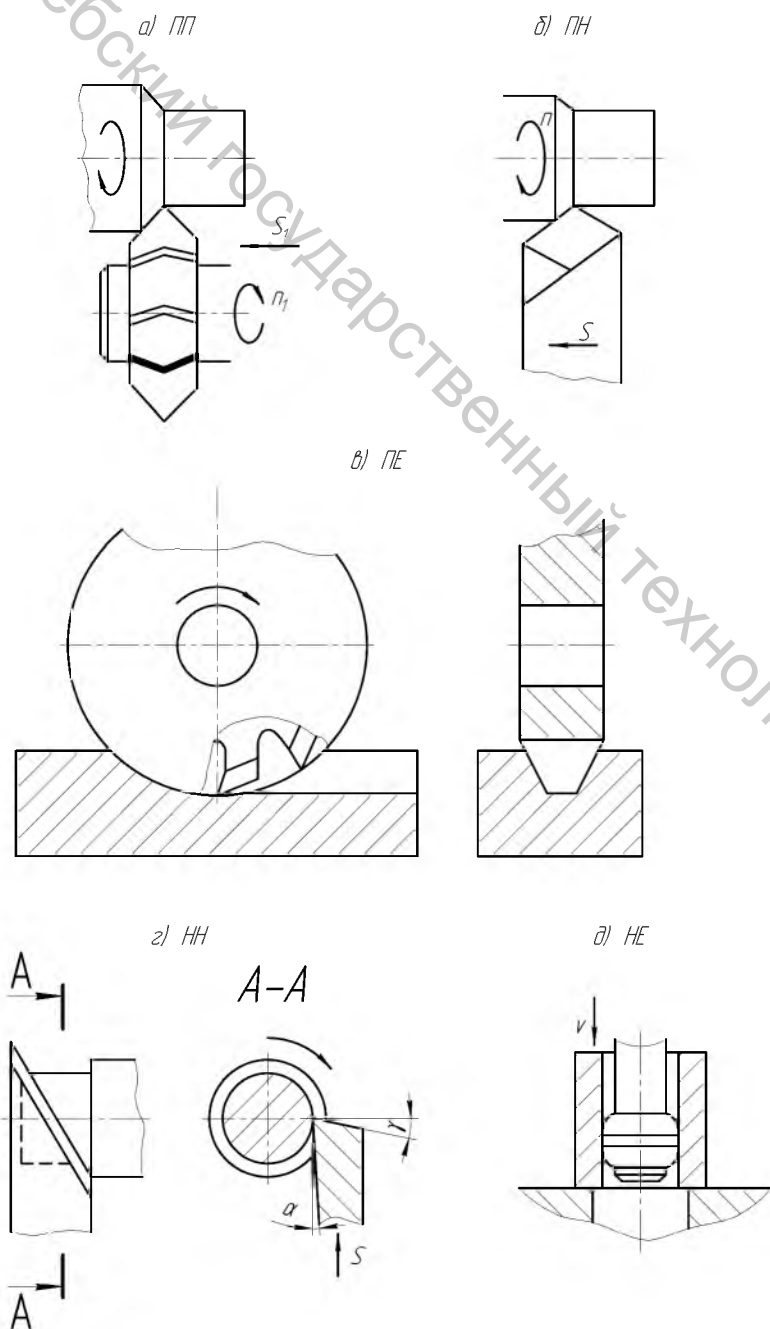


Рис. 3.21. Виды схем формообразования (в зависимости от типа генерации образующей и направляющей во времени)

изменны;

3) скорость образования (генерации) образующей существенно выше, чем у направляющей.

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

1) образующая и направляющая возникают прерывисто (ПП) (к данному виду можно отнести фрезерование тел вращения (рис. 3.21,а), зубофрезерование червячной фрезой, дробеструйную обработку и т.д.);

2) образующая возникает непрерывно, а направляющая – прерывисто (ПН) (к данному виду можно отнести продольное точение (рис. 3.21,б), строгание и торцевое фрезерование плоскости и т.д.);

3) направляющая возникает во времени прерывисто, а образующая – одновременно (ПЕ) (к данному виду можно отнести фрезерование фасонных канавок (рис. 3.21,в), плоскостей цилиндрической фрезой и т.д.);

4) направляющая и образующая возникают непрерывно (НН) (к данному виду можно отнести поперечное точение с тангенциальной подачей, показанное на рис. 3.21,г);

5) направляющая возникает во времени непрерывно, а образующая – одновременно (НЕ) (к данному виду можно отнести обработку отверстия однозубой прошивкой (рис. 3.21,д);

6) образующая и направляющая возникают во времени одновременно (ЕЕ) (к данному виду относятся разные виды получения поволоков в штампах и отливках).

Прерывистый характер генерации производящих линий обрабатываемых поверхностей является одной из причин образования погрешностей формы (шероховатости, волнистости, огранки). Пример формирования этих поверхностей приведен на рис. 3.22, а. Частичное уменьшение погрешности формы направляющей возможно за счет увеличения длины ее контакта с формообразующим элементом инструмента (рис. 2.22, б). Для повышения устойчивости процесса резания часто уменьшают длину контакта формообразующего элемента с образующей (см. рис. 3.22, в).

Рабочая среда, которая окружает рабочую зону технологической системы, всегда оказывает существенное влияние на процесс формообразования и изменения свойств материала.

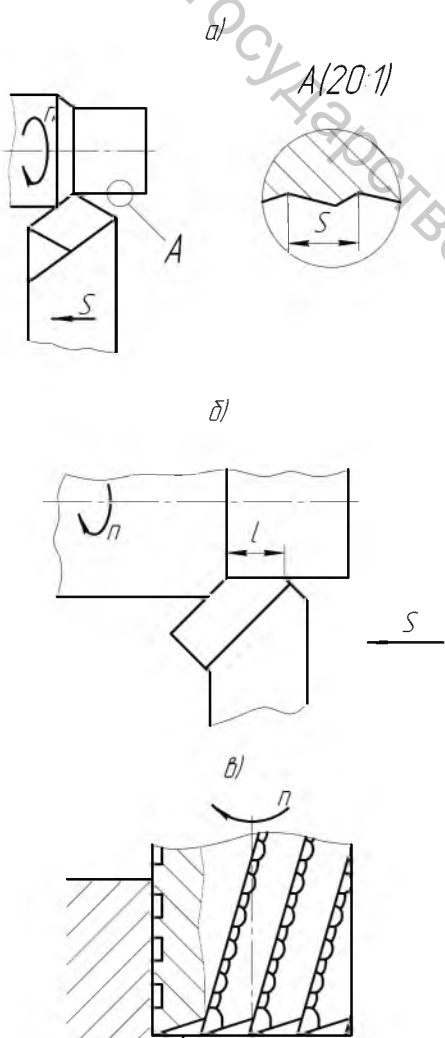


Рис. 3.22. Схема изменения длины контакта режущей кромки с направляющей (б) и образующей (в).

Она может быть в разных агрегатных состояниях и по-разному взаимодействовать с материалами заготовки и инструмента (табл. 3.5). 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 3.5

Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к рабочей среде

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
1	2	3	4
16	Вид агрегатного состояния рабочей среды	01 02 03 04 05 06	Твердое Жидкое Вязкое Газообразное Туманообразное Вакуум
17	Вид химического взаимодействия рабочей среды с заготовкой и инструментом	01 02 03	Нейтральное Окислительное Восстановительное

Виды управления процессами формообразования и изменения свойств материала заготовки, а также контроля их результатов приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Морфологическая модель технологий обработки в машиностроении по отношению к управлению

Классификационный признак		Варианты признака	
№	Наименование	№	Наименование
1	2	3	4
18	Вид управления процессом воздействия	01 02 03	Автоматическое Полуавтоматическое Ручное
19	Вид автоматического управления процессом воздействия	01 02 03 04 05	Адаптивное Программное замкнутое Программное разомкнутое Позиционное Стабилизирующее
20	Время контроля процесса преобразования	01 02	В процессе преобразования После окончания процесса преобразования
21	Вид контроля процесса преобразования при ручном управлении	01 02 03	Автоматический Полуавтоматический Ручной

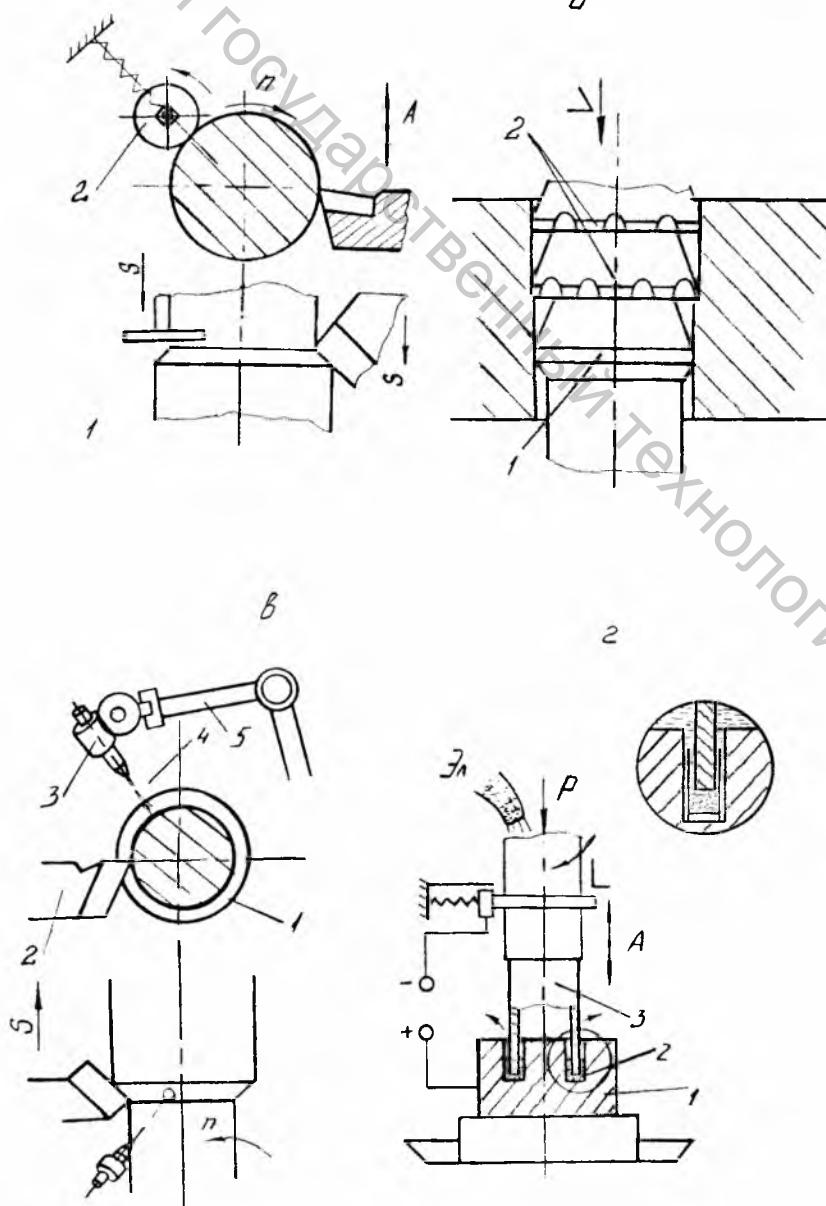
Обычные методы обработки характеризуются одним типом подводимой энергии, одним способом ее подвода, а также одним способом воздействия на заготовку. Комбинированные методы обработки могут быть построены как путем подвода в зону обработки двух и более типов энергии, так и путем совмещения различных способов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

Рис. 3.23. Схемы комбинированных методов обработки



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 рис. 3.23.

На рис. 3.23,а приведена схема комбинированного точения заготовки 1 с поверхностным пластическим деформированием обработанной поверхности подпружиненным роликом 2. Таким образом, совмещаются два способа воздействия на за-

готовку. Кроме того, для повышения стойкости резца ему сообщаются ультразвуковые колебания, параллельные скорости резания. Следовательно, в данном

случае совмещаются еще два способа подвода механической энергии к зоне обработки. На рис. 3.23,б 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.

На рис. 3.23,в 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 рис. 3.23,г приведена схема комбинированного кольцевого механо-электро-химического кольцевого сверления твердосплавной заготовки 1, кольцевым сверлом 3 с алмазонасным 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. Алмазонасный 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 повышения 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 критическими, когда твердость обрабатываемого материала приближается к HRC 45...50. В подобных ситуациях выходом из положения часто является комбинирование методов обработки.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Дайте определение понятию «технологическая операция».
2. Из каких частей состоит технологическая операция?
3. Каким образом осуществляется преобразование (изменение состояния) заготовки?
4. Назовите недостатки традиционной классификации технологических методов изготовления деталей.
5. Что характеризует глубину преобразования сырья (заготовки)?
6. Объясните понятие «инструмент».

7. Какая разница между воздействием инструмента и оснастки на заготовку?
8. Какую роль может играть рабочая среда при реализации технологического метода?
9. Назовите варианты преобразования заготовки (сырья).
10. Назовите способы изменения формы и размера заготовки.
11. Назовите виды физического состояния материала инструмента.
12. Назовите виды агрегатного состояния материала инструмента.
13. Назовите виды воздействия инструмента на заготовку.
14. Охарактеризуйте виды связи формообразующего компонента инструмента со своей "державкой".
15. Охарактеризуйте виды генерирования образующей и направляющей линий во времени.
16. Приведите примеры передачи функций направляющих и энергетических функций станка заготовке и инструменту.
17. Охарактеризуйте комбинированные методы обработки.
18. Приведите примеры комбинированных методов обработки с разными способами использования механической энергии.
19. Приведите пример тепло-механической комбинированной обработки.
20. Что такое критические условия использования метода обработки.
21. Назовите виды ориентации заготовки в рабочей зоне станка.
22. Назовите виды агрегатного состояния рабочей среды.

4. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ПОИСКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

4.1. Общие положения

ИБ

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, о применяемом технологическом оборудовании, оснастке и инструментах, о 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 систему 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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Какая информация должна содержаться в описании технического решения компонента устройства?
2. Какая информация должна содержаться в описании технического решения компонента технологического процесса?
3. Когда техническое решение является допустимым?
4. Какие цели ставятся при поиске технических решений?
5. Назовите ситуации, которые могут возникнуть у заказчика проекта технической системы?
6. Назовите основные причины недостатков технической системы.

4.2. Информационный поиск

ИБ

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 проектировщика.

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 карто-тека 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, конструктивным 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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Что такое конструктивная и технологическая преемственность?
2. Что такое типовое техническое решение?
3. Какие подходы существуют при разработке массивов технических решений?
4. К чему сводится проектирование с использованием массива типовых технических систем?
5. К чему сводится проектирование с использованием массива типовых технологических процессов?
6. К чему сводится морфологическое проектирование с использованием массива типовых компонентов?

4.3. Морфологический синтез технических систем при информационном поиске функциональных компонентов

ИБ

Источником информации в данном случае является массив типовых компонентов, организованный по функциональному признаку. Т.е. 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 табл. 4.1, где Φ_i – код i -й функции, TR_{ij} – код j -ого технического решения для выполнения i -ой 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

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

где k_i – число вариантов технических решений для i -ой функции.

Таблица 4.1

Абстрактная морфологическая таблица

Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	...	Φ_i	...	Φ_n
TR ₁₁	TR ₂₁	TR ₃₁	TR ₄₁	...	TR _{i1}	...	TR _{n1}
TR ₁₂	TR ₂₂	TR ₃₂	TR ₄₂		TR _{i2}		TR _{n2}
TR ₁₃	TR ₂₃	TR ₃₃	TR ₄₃		TR _{i3}		TR _{n3}
TR ₁₄	TR ₂₄	TR ₃₄	TR ₄₄		TR _{i4}		TR _{n4}
TR ₁₅	TR ₂₅	TR ₃₅	TR ₄₅		TR _{i5}		
TR ₁₆		TR ₃₆	TR ₄₆		TR _{i6}		
TR ₁₇		TR ₃₇			TR _{i7}		
TR ₁₈					Tr _{ik}		

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 эффективный способ сокращения числа рассматриваемых вариантов путем исключения наихудших комбинаций технических решений. Поясняется он следующим абстрактным примером.

В таблице 4.2 показаны возможные варианты (всего 120) технических решений для добавляемых четырех функций. Выберем два столбца Φ_1 и Φ_3 с наименьшим количеством вариантов технических решений и образуем из них все возможные парные комбинации (табл. 4.3). Сравнительный анализ этих комбинаций позволил две из них (подчеркнутые) отнести к наилучшим и включить в дальнейшее рассмотрение, а остальные – исключить.

Таблица 4.2

Исходная морфологическая таблица

Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4
TR ₁₁	TR ₂₁	TR ₃₁	TR ₄₁
TR ₁₂	TR ₂₂	TR ₃₂	TR ₄₂
TR ₁₃	TR ₂₃		TR ₄₃
	TR ₂₄		TR ₄₄
			TR ₄₅

Таблица 4.3

Сокращение комбинаций из двух компонентов

	TR ₁₁	TR ₁₂	TR ₁₃
TR ₃₁	TR _{11,31}	TR _{12,31}	TR _{13,31}
TR ₃₂	TR _{11,32}	TR _{12,32}	TR _{13,32}

Из исходной таблицы выбираем следующий столбец Φ_2 с наименьшим из оставшихся числом вариантов технических решений и составим из них и отобранных парных комбинаций все возможные тройные комбинации (табл. 4.4). Сравнительный анализ опять позволит выделить и отбросить неэффективные сочетания и оставить те, которые имеют максимальную эффективность (подчеркнутые). Затем аналогично поступаем с последним столбцом Φ_4 , с максимальным числом вариантов технических решений.

Таблица 4.4

Сокращение комбинаций из трех компонентов

	TR _{11,32}	TR _{13,32}
TR ₂₁	TR _{11,32,21}	TR _{13,32,21}
TR ₂₂	TR _{11,32,22}	TR _{13,32,22}
TR ₂₃	<u>TR_{11,32,23}</u>	<u>TR_{13,32,23}</u>
TR ₂₄	TR _{11,32,24}	TR _{13,32,24}

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, т. е. согласования входов и выходов объединяемых компонентов;

2) возможность объединения элементов различных компонентов (использования побочных свойств или действий элементов 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 разделе 4.5.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Назовите варианты постановки задачи морфологического синтеза технической системы.
2. Какие ограничения относятся к главным?
3. Что такое морфологическая таблица?
4. Чему равно максимальное количество вариантов технических решений при морфологическом синтезе технической системы?
5. Назовите методы сокращения числа рассматриваемых вариантов технических решений при морфологическом синтезе технической системы.
6. Опишите алгоритм метода проб и ошибок.
7. Опишите алгоритм первого метода выборочной комбинаторики.
8. Опишите алгоритм второго метода выборочной комбинаторики.
9. Опишите алгоритм третьего метода выборочной комбинаторики.

4.4 Пример морфологического синтеза устройства (станочного приспособления)

ИБ

На рис. 4.1. 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 $TB = 0.3$ мм, допускаемое отклонение от пересечения осей

отверстия и валика равно 0,15 мм, размер партии обрабатываемых заготовок $N = 20 \dots 100$ шт.

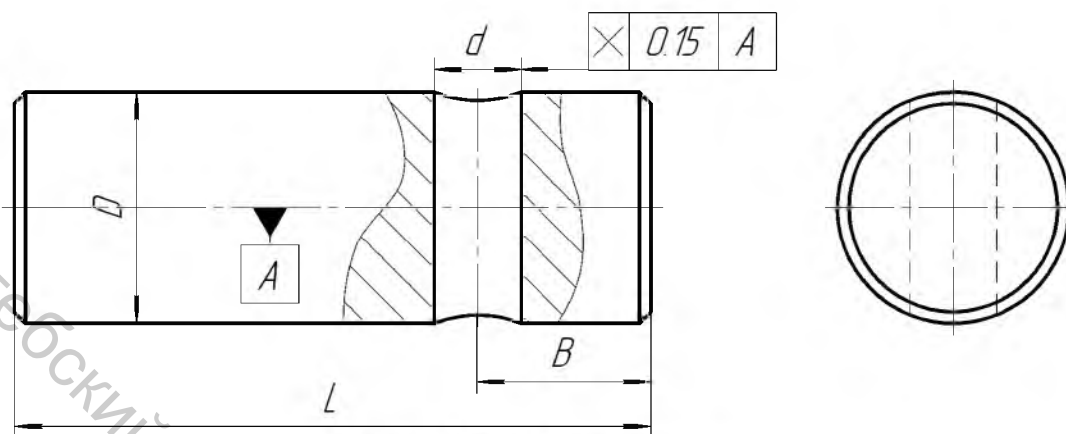


Рис. 4.1. Эскиз валика

В разделе 4.3 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 рис. 4.2.

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 взаимного 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.

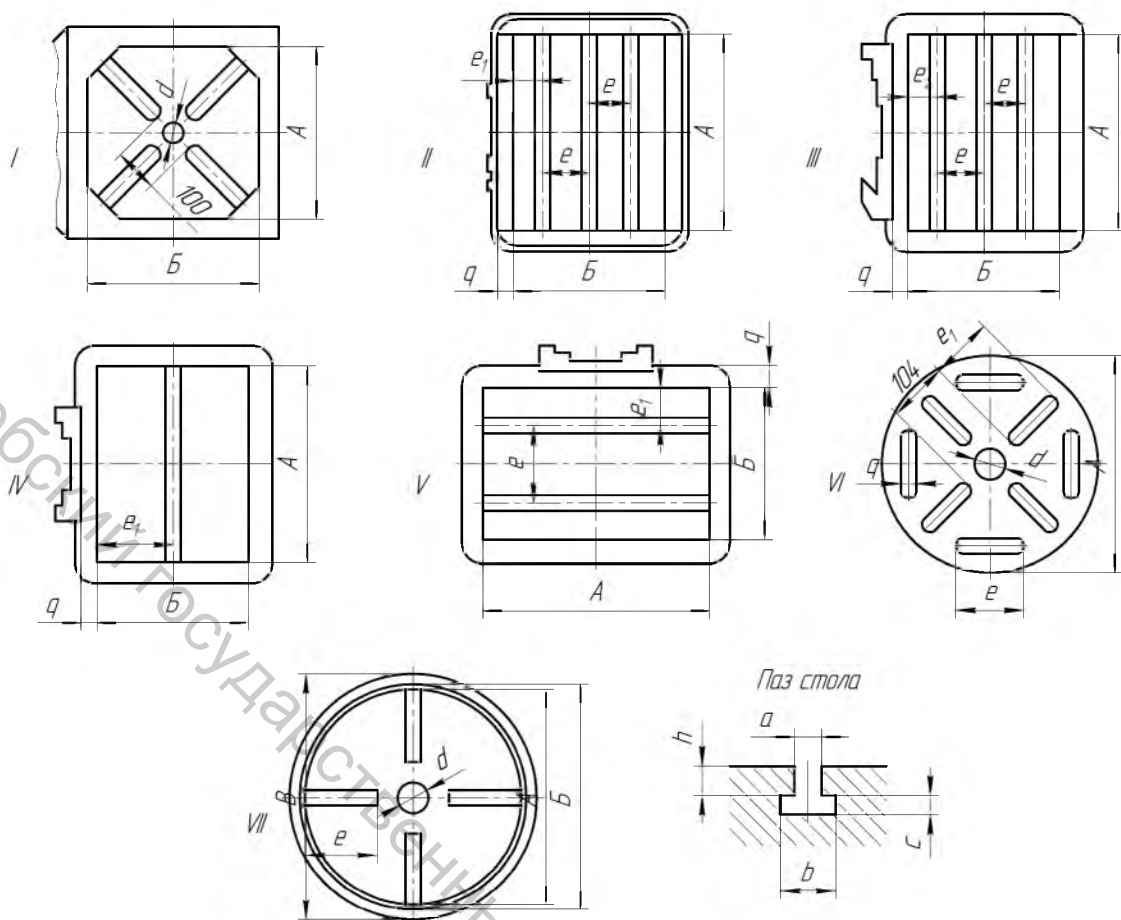


Рис. 4.2. Варианты конструкции стола сверлильного станка

Правило 3.

При определении вида компонента комплекта баз (числа накладываемых связей) самым важным показателем взаимного 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 взаимного (углового) расположения обеспечивают 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 взаимного расположения или расстояний более жесткий, должна накладывать больше связей. 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 накладывать 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.

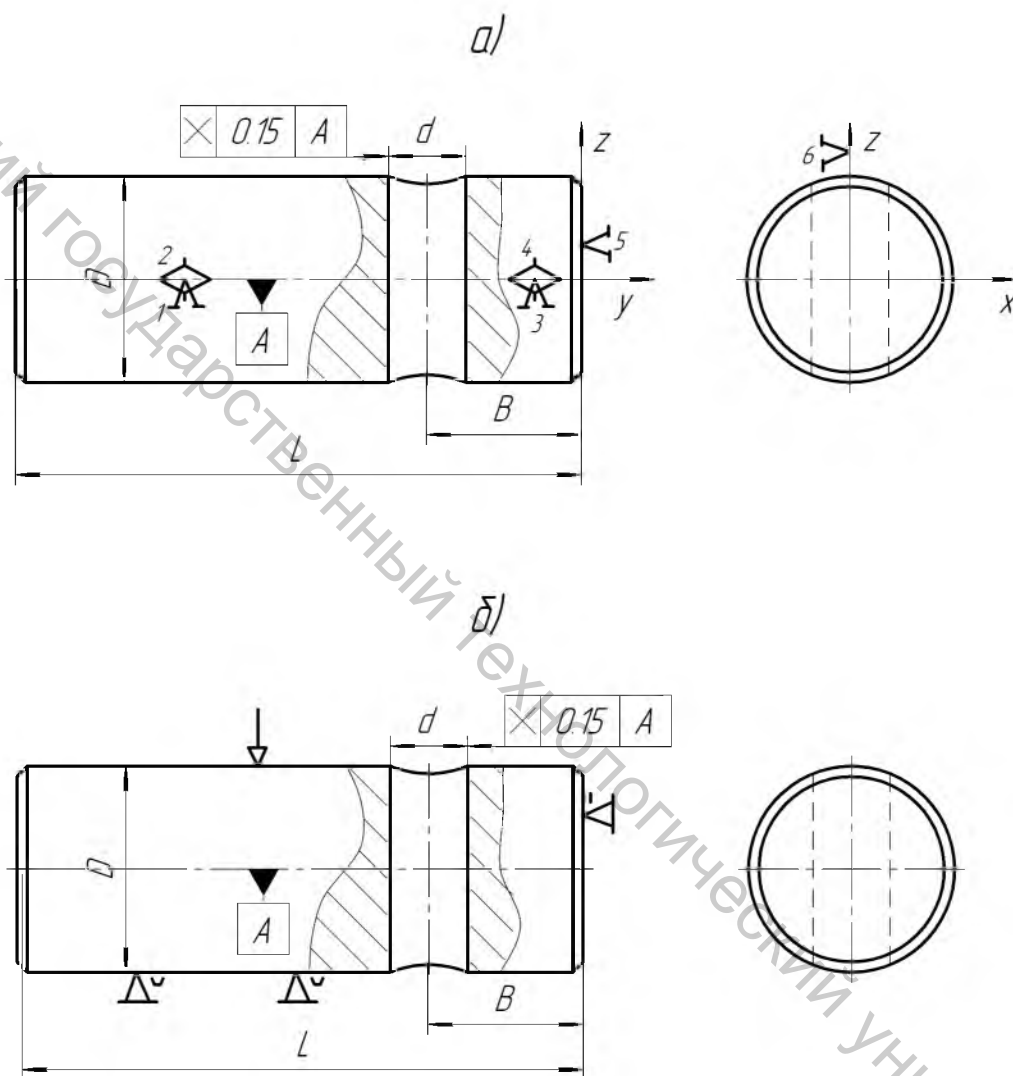


Рис. 4.3. Схема базирования (а) и схема установки (б)

Схема базирования, построенная в соответствии с указанным алгоритмом, показана на рис 4.3 а. Технологическими базами будут ось валика, торцовая плоскость и перпендикулярная ей плоскость, проходящая через ось валика.

Формально задачу синтеза схемы установки предлагается решать с помощью таблицы соответствия вида компонента комплекта технологических баз набору установочных (установочно-зажимных) элементов приспособления (см. приложение 1). Фрагмент этого приложения приведен в виде таблицы 4.5.

Таблица 4.5

Фрагмент таблицы соответствия установочных элементов виду технологической базы

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 рис. 4.3 б. 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.

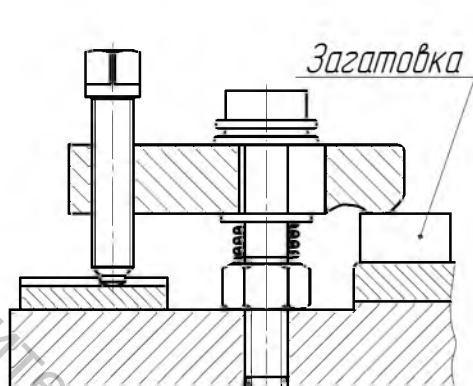
2.1. Следовательно, возникает необходимость в следующих основных функциях (ОФ):

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

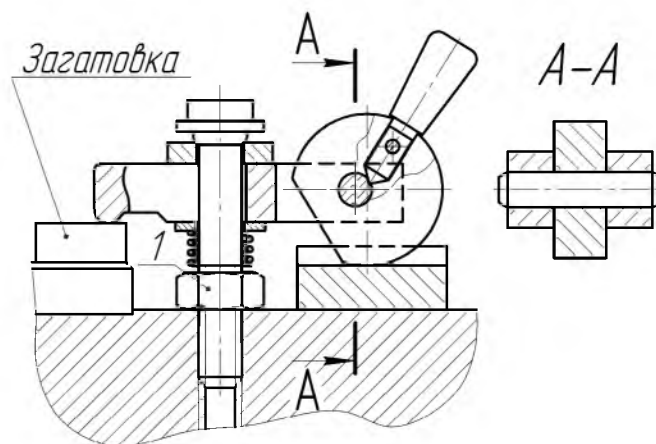
ОФ2 – регулируемая опора накладывает одну регулируемую связь для обеспечения размера B ;

ОФ3 – зажимной компонент закрепляет заготовку;

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



Tr 7.1



Tr 7.2

Рис. 4.6. Варианты закрепляющих компонентов

Варианты отобранных (из приложения 2) подходящих установочных компонентов для установки заготовки по цилиндрической поверхности (ОФ1) показаны на рис. 4.4. А варианты регулируемых упоров (ОФ2) – на рис. 4.5. На рис. 4.6 показаны отобранные (из приложения 3) подходящие варианты компонентов для закрепления заготовки (ОФ3). А варианты кондукторных втулок (ОФ4) (из приложения 4) показаны на рис. 4.7. Поскольку диаметр заготовки не является постоянным, а расстояние от ее поверхности до нижнего торца направляющей втулки должно быть равно $0,5 d$, то возникает необходимость в еще одной основной функции: регулировать и фиксировать положение кондукторной плиты по высоте (ОФ5). Варианты типовых устройств для ее выполнения показаны на рис. 4.8.

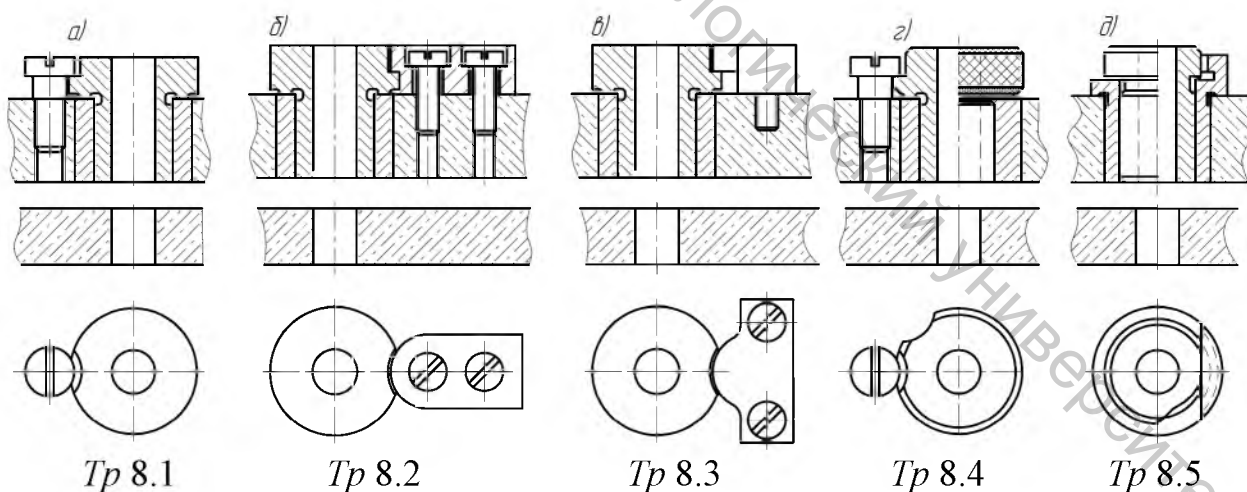


Рис. 4.7. Варианты сменных направляющих втулок

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 рис. 4.9 и 4.10.

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, не-

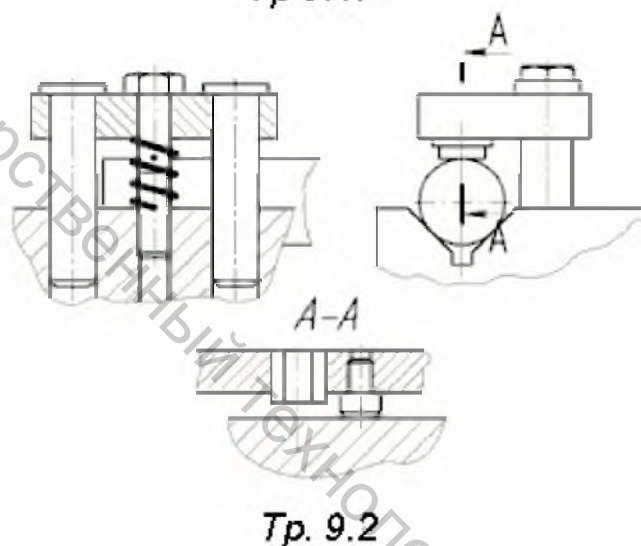
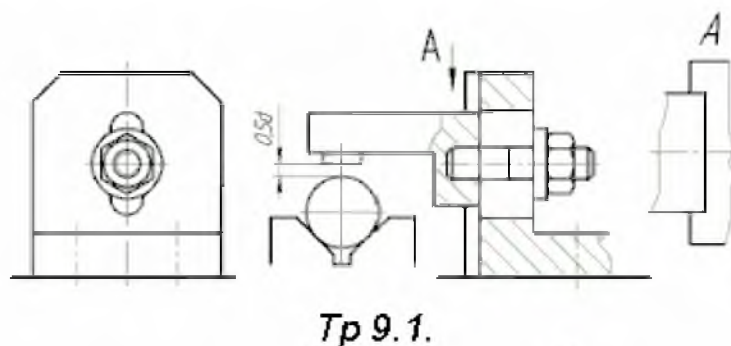


Рис. 4.8. Варианты способов регулирования положения кондукторной плиты

обходимо закрепить само приспособление на столе (ДФ2). Варианты компонентов для выполнения этих дополнительных функций показаны на рис. 4.11 и 4.12.

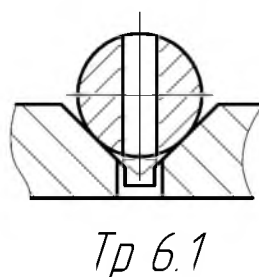


Рис. 4.9. Схема обеспечения выхода сверла

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

Морфологическая таблица функций и вариантов типовых технических решений для их реализации имеет номер 4.5. 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

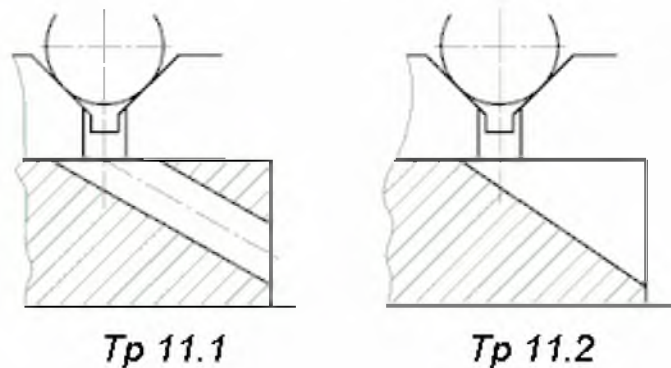


Рис. 4.10. Схемы каналов для удаления мелкой стружки

символом Тр и двумя цифрами. Первая соответствует номеру функции, а вторая – номеру варианта. Тр34 соответствует решению передать функции закрепления либо зажимным компонентам либо сверлу. Аналогично, Тр83 состоит в предложении ориентировать корпус выверкой путем совмещения сверла с направляющей втулкой, т.е. без специальных компонентов. А Тр93 также состоит в отказе от закрепления корпуса приспособления на столе. Выполнение этой функции передается сверлу (осевой силе резания).

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.

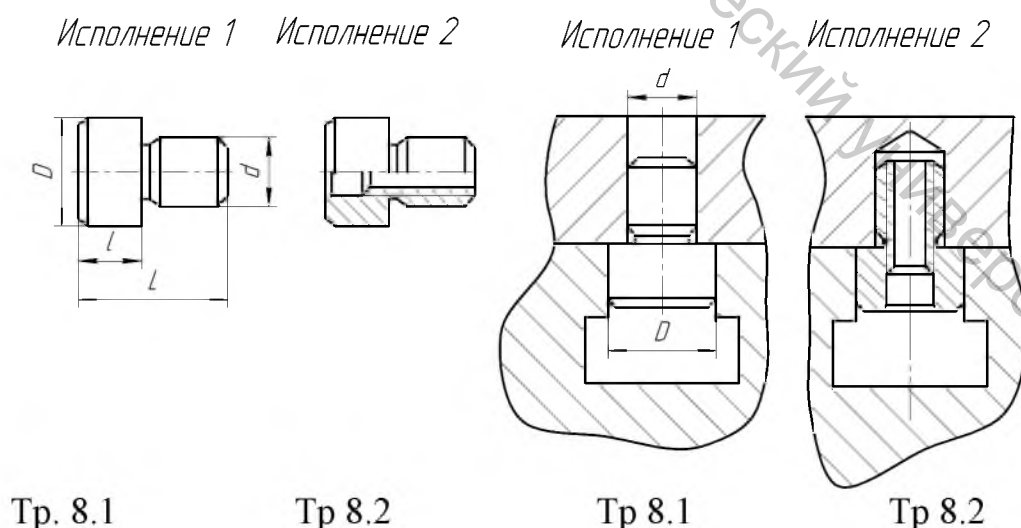
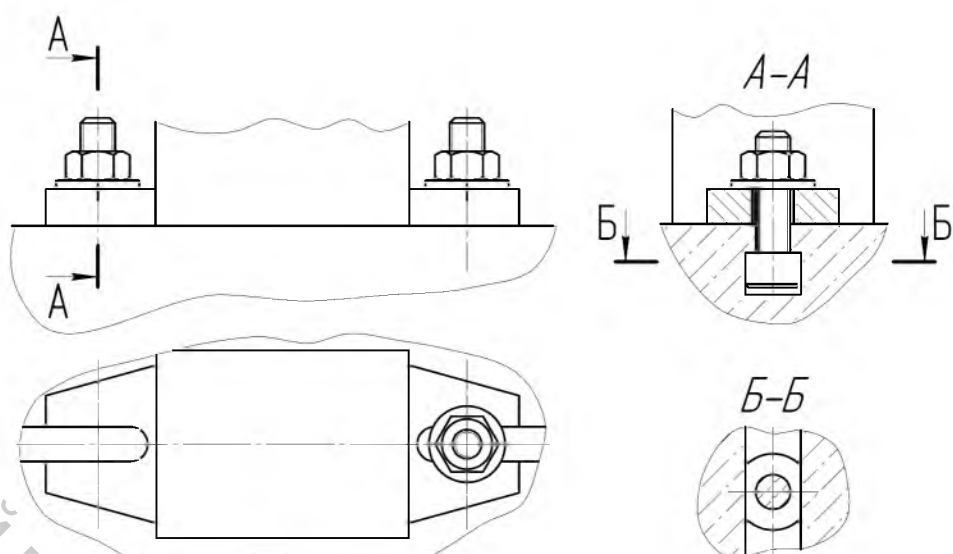
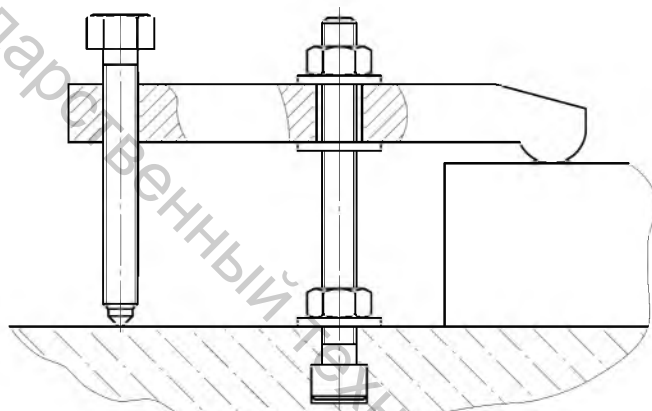


Рис. 4.11. Схемы элементов для базирования приспособления



Тр 91



Тр 92

Рис. 4.12. Схемы закрепления приспособлений

Всего возможно реализовать 4212 вариантов сочетаний технических решений (табл. 4.6). 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 4.6

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 (см. табл. 4.7). 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 одного мм.

Таблица 4.7

Промежуточная таблица уменьшения вариантов

	Тр 11	Тр12
Тр 21	Тр 11,21	Тр 12,21
Тр 22	Тр 11,22	Тр 12,21
Тр 23	Тр 11,23	Тр 12,21

Самым простым техническим решением для выполнения ОФ1 является Тр11, 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. 4.6).

В промежуточной таблице 4.8 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 выделенных в таблице 4.8 варианта сочетаний.

Таблица 4.8

Промежуточная таблица уменьшения вариантов

	Тр 31	Тр 32	Тр 33
Тр 11,21	Тр 11,21,31	Тр 11,21,33	Тр 11,21,34

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 рис. 4.8 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 (закрепление) 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.

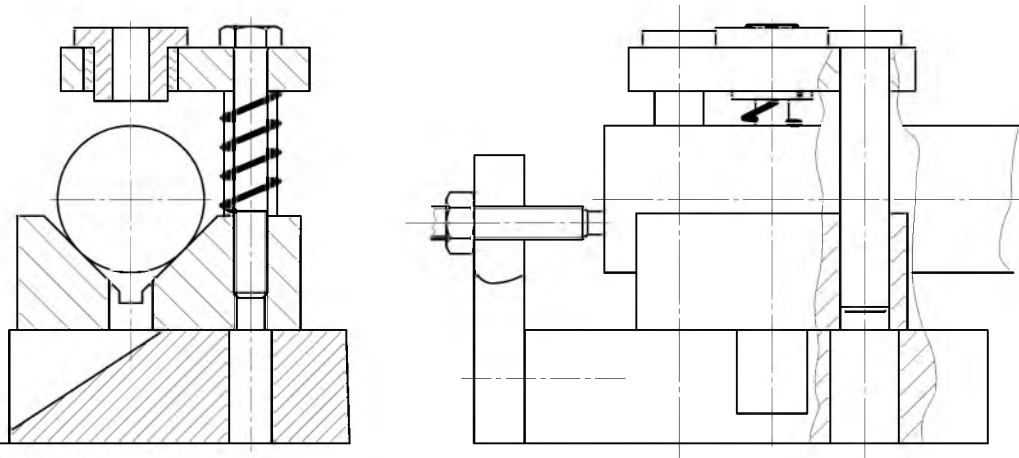


Рис. 4.13. Схема пространственной компоновки приспособления

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, кстати, 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 4.9 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 4.9

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	Тр Б,93

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 рис. 4.13.

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

ПБ

Разработайте пространственную компоновку приспособления для фрезерования плоскости детали, эскиз которой показан на рис. 4.14.

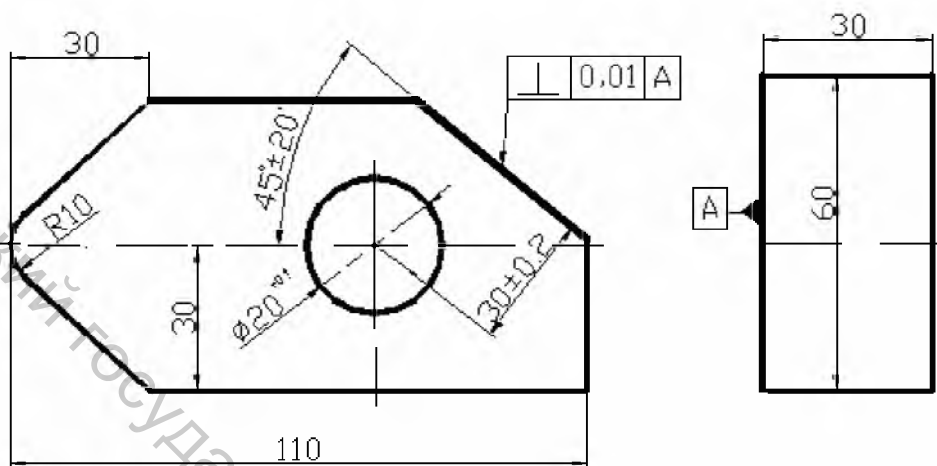


Рис. 4.14. Задача

4.5. Пример синтеза маршрута обработки типовых компонентов детали

ИБ

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

$$C_i = \langle K\Phi_i, \{A_j, TA_j\}_i, Ra_i, H_i \rangle,$$

где $K\Phi_i$ – код формы поверхности в i -ом состоянии; A_j – элемент множества размеров, характеризующих поверхность и ее относительное расположение; TA_j – параметр точности размера A_j ; Ra_i – параметр шероховатости поверхности в i -ом 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

ми 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 рис.4.15. 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. Как это было сказано ранее (см. раздел 1.1), различают следующие виды

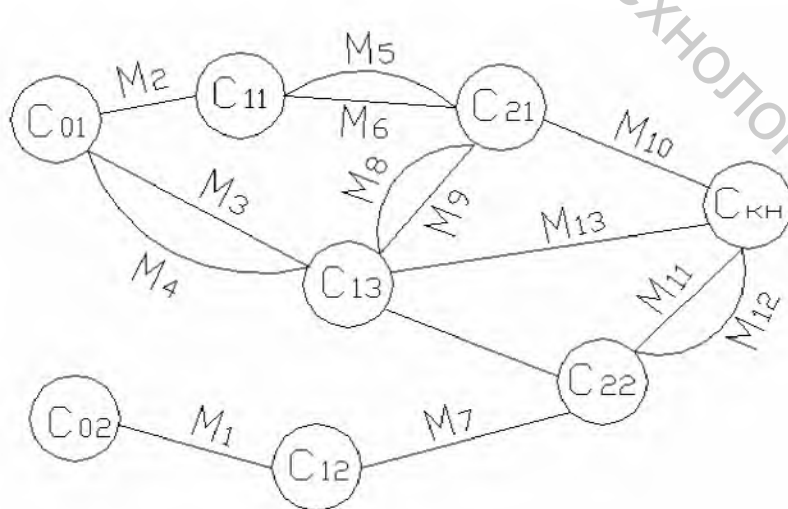


Рис. 4.15. Граф возможных вариантов маршрутов обработки типовой поверхности

переходов: 1) элементарный; 2) инструментальный; 3) блочный.

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 – резьбобрабаты-

вающие; 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 4.10 показан фрагмент классификатора (приложение 7) элементарных переходов и их трехзначные коды.

Таблица 4.10

Классификатор переходов механической обработки

№	Наименование переходов
	токарные (в операциях: <i>токарно-револьверная; токарно-карусельная; токарно-копировальная; токарная с ЧПУ; токарно-винторезная; токарно-автоматная</i>)
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 "замыкающим" 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 (см. приложение 7).

Выбор вариантов последовательности переходов обработки заданной поверхности осуществляется следующим образом:

Шаг 1. Согласно классификатору типовых поверхностей (рисунки 1...5 приложения 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 $HRC = 28 \dots 30$, относящейся классу тел вращения (рис. 4.16). Заготовка получена на горизонтальноковочной машине. Тогда согласно рисунку 1 приложения 8 код обрабатываемой поверхности будет 111212.

Шаг 2. С помощью таблицы соответствия (приложение 9, фрагмент которой приведен в таблице 4.11) выбираются коды переходов, соответствующие сформированному коду обрабатываемой поверхности.

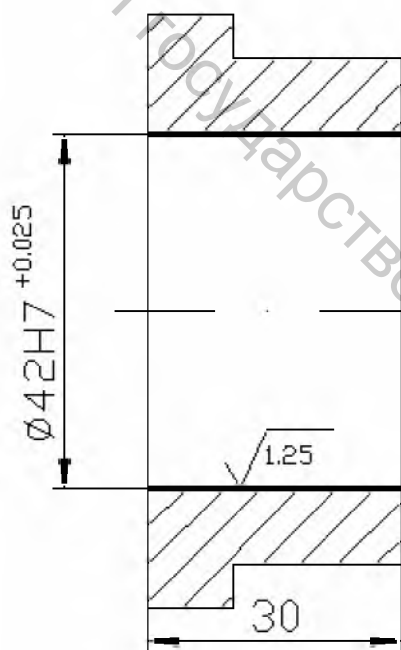


Рис. 4.16. Операционный эскиз

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 (полирование 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 качество (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 4.12.

Таблица 4.11

Таблица соответствия кода поверхности коду переходов

№	Код поверхности	Коды (номера) переходов
1	2	3
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;

Таблица 4.12

Показатели качества, индивидуальные условия выбора

Код пере- хода	Размеры	При- пуск на сторону	Показатели качества				Условия (HRC)
			Вход		Выход		
			IT	Ra	IT	Ra	
1	2	3	4	5	6	7	8
0014	D(10-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 20
0010	L(30-1000)	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)	Напуск	14...17	12,5...25	9...14	3,2...6,3	< 20
0021	L(2...30)	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 уточненные 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. 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 (таблица 4.13). В нее не включаются ранее отброшенные перехо-

ды, 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 4.13

Промежуточная таблица

Уточненные коды переходов	Характеристики точности из таблицы 8 приложения		Характеристики точности «округленно»	
	На входе	На выходе	На входе	На выходе
1	2	3	4	5
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
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 качества точности, так как они соответствуют точности заготовки. Соответственно, меньшими также выбраны качества 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

Таблица А (шаг 4)

Вы-ход	Код пере-хода	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

(«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 квалитета точности из четвертого (на входе) столбца промежуточной таблицы, а также соответствующий код перехода (из столбца 1). Значение квалитетов точности из столбца «Вход» этой таблицы сравнивается с квалитетом 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 квалитета 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 5)

Вы-ход	Код пере-хода	Вход
9	0034	16
9	0372	11
9	0431	13
9	0161	13

Таблица Б (шаг 5)

Вы-ход	Код пере-хода	Вход
10	0341	16
10	0154	16
10	0032	13

Таблица В (шаг 5)

Вы-ход	Код пере-хода	Вход
12	0031	16
12	0144	16

Шаг 6. Повторяется предыдущий шаг, только в качестве выходного показателя принимают значение качества точности из столбца «вход» предыдущих таблиц. Повторение продолжается до тех пор, пока в полученных таблицах либо качество точности в столбцах «вход» будет соответствовать качеству точности заготовки, либо качество точности столбца «Вход» данных таблиц отсутствует в столбце «на входе» промежуточной таблицы.

В таблице $(i + 1)$ -го шага в столбцы «Вход» не включатся те качества

Таблица А (шаг 6)

Вы-ход	Код перехода	Вход
13	0151	16

Таблица Б (шаг 6)

Вы-ход	Код перехода	Вход
11	0371	14

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 качеств точности «входа» из таблицы i – го шага с «выходом» таблицы $(i + 1)$ -го шага, при этом образуется цепочки переходов. Если они заканчиваются качеством точности, меньшим, чем у заготовки, то такие цепочки отбрасываются. В примере это цепочка 0372 – 0371, которая заканчивается 14-м качеством точности.

Результаты выполнения данного шага для рассматриваемого примера показаны в таблице вариантов маршрута обработки (таблица 4.14).

Таблица 4.14

Таблица вариантов маршрута обработки отверстия

№	Варианты последовательности кодов	№	Варианты последовательности кодов
1	–0034—0162–	11	–0031—0032—0033–
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–
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)

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

- 2) зенкерование однократное (0154) – растачивание тонкое (0033)

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

- 3) прошивание предварительное (0371) – прошивание окончательное (0373)

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

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 (приложение 11), фрагмент которой показан в таблице 4.15. 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.

Таблица 4.15

Типовые маршруты обработки типовых поверхностей

Коды мате- ри- алов	Ква- ли- тет точн.	Пока- затель Ra	Последовательность кодов переходов	Доп. условия
1	2	3	4	5
1. Тела вращения				
1.1. наружные поверхности вращения (цилиндрические и конические)				
СН, Ч, ЦС	12-14 10-12 8-10 —	6,3-12,5 3,2-6,3 2,5-3,2 —	0011(0061); 0014 (0064); 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 — 6-7 — — —	0,8-1,25 — 0,2-0,8 — 0,2-1,25 0,03-0,16	0011 (0061), 1084, 0012 (0062); 0011 (0061), 1084, 0394 (0404); 0011 (0061), 1084, 0012 (0062), 0013 (0063); 0011 (0061), 1084, 0012 (0062), 0392 (0402); 0011 (0061), 1084, 0012 (0062), 0394 (0404); 0011 (0061), 1084, 0012 (0062), 0392 (0402), 0614;	

Фрагмент приложения 10, соответствующий рассматриваемому примеру, показан в таблице 4.16. Сравнивая ее с таблицей 4.14, видим, что в маршрут включены лишние переходы сверления (0134), рассверливания (0144), программного растачивания (0072).

Таблица 4.16

Варианты маршрутов обработки поверхности, заданной в примере

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

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Какими показателями характеризуется состояние типовой поверхности?
2. С помощью чего можно отразить множество состояний поверхности и методов их достижения?
3. Какие методы назначения маршрута обработки типовых поверхностей Вы знаете?
4. Опишите шаги назначения маршрута обработки типовых поверхностей методом последовательного уточнения?
5. Как осуществляется сокращение числа вариантов маршрута обработки типовых компонентов детали?
6. Охарактеризуйте метод назначения маршрута обработки типовых поверхностей с помощью типовых маршрутов.

5. МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

5.1. Индивидуальное техническое творчество

ВВ

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 зависит 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, однако, 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 по-

следовательности. Важно, чтобы будущий проектант сформировал верное представление о творческой стороне умственной деятельности.

ИБ

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, во всяком случае, 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 дозревать 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 пытаясь 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 эксперимента, 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 опасно-

сти 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, и, 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 проблемы мы сразу же переходим к фактам и тем самым слишком быстро беремся за ее непосредственное решение. Преждевременный упор на детали губит всякую возможность творчества. (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 находят-ся 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 рожают необычные идеи. Чем ярче эти способности, тем необычнее идеи. Если проектанта постоянно занимает вопрос, приемлемы ли его находки для других, то это может лишь подавить в нем творческое начало. (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. Осборна 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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы

1. Перечислите этапы творческого процесса.
2. В чем состоят препятствия творчеству личного порядка?
3. Назовите препятствия творчеству организационного порядка.
4. Как преодолеть отсутствие гибкости и силу привычки?
5. Как преодолеть узкопрактический подход и чрезмерную специализацию?
6. Как преодолеть влияние авторитетов и боязнь критики?
7. В чем назначение и суть метода контрольных вопросов?

5.2. Методы группового технического творчества

ИБ

«Прямая мозговая атака» (мозговой штурм) – наиболее известный и широко применяемый метод генерирования 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, т.е. 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, т.е. 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 обще-

го 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. 5.1).

Таблица 5.1

Форма положительно-отрицательной оценки идей

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

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, т.е. 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*» – комплексный метод стимулирования творческой деятельности. Слово синектика обозначает объединение разнородных частей. 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 производит сильное впечатление на любого наблюдателя. Затем группа получает задание предложить способы получения отверстий в пенопласте, и рано или поздно кто-либо предлагает прожечь отверстие горячей сигаретой. После этого руководитель начинает обсуждать с группой получение более детального описания устройства, позволяющего достичь той же цели в космическом пространстве.

В общем случае 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, т.е. 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 обсуждаемую 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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Каковы цели прямой мозговой атаки?
2. Каковы цели обратной мозговой атаки?
3. В чем суть первого этапа прямой мозговой атаки?
4. В чем суть второго этапа прямой мозговой атаки?
5. Каковы, по Вашему, преимущества комбинирования прямой и обратной мозговой атаки?
6. Каковы, по Вашему, преимущества прямой мозговой атаки с оценением идей?
7. Какая разница между методами мозговой атаки и синектики?

5.3. Эвристический поиск технических решений

ИБ

Эвристический поиск базируется на эвристике – науке о творческом мышлении и психологии творчества. Эвристический поиск часто приводит к решениям с элементами абсолютной новизны, т. е. 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 мето-

дов: 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 уяснения ее сущности.

Эвристический прием представляет собой по сути дела обобщенное типовое техническое решение, которое не является подробно описанным 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 общетраслевой 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 таблица 5.2.

Таблица 5.2

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		17
8	Преобразование конфигурации (структуры)	16
9	Приемы дифференциации и интеграции	8
10	Использование профилактических мер	8
11	Использование резервов	9
12	Преобразование по аналогии	8
	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.

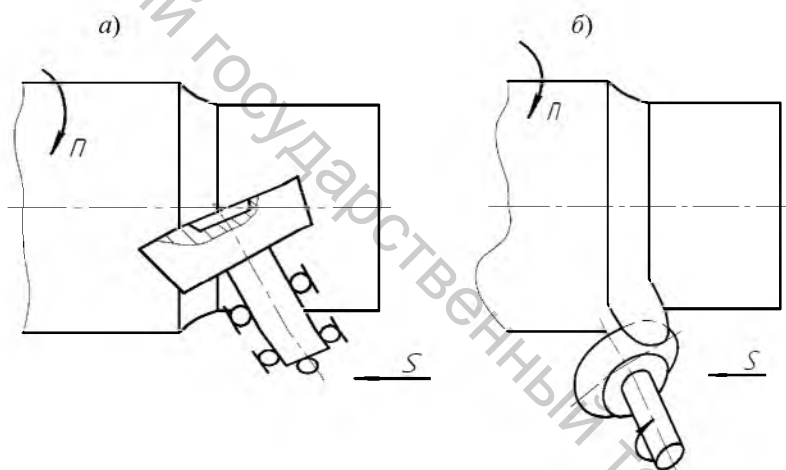


Рис. 5.1. Схемы прямого (а) и обратного (б) ротационного точения.

Например, необходимо повысить скорость резания при точении, чтобы повысить производительность процесса. Но при этом увеличивается скорость изнашивания режущей части резца, т. е. 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 рис. 5.1. Чашечная режущая пластина вращается сходящей стружкой и благодаря кратковременности нахождения ее рабочей части в зоне резания не успевает нагреться до высокой

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

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 [9] предлагают набор эвристических приемов, направленных на ликвидацию некоторых обнаруженных нежелательных эффектов (приложение 15), что так же, как и таблица выбора приемов преодоления технических противоречий Г. С. Альтшуллера несколько увеличивает направленность поиска. В таблице 5.3 приведена краткая характеристика фонда эвристических приемов для решения некоторых типовых задач.

Таблица 5.3

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 общепромышленного отбираются наиболее подходящие для проектировщика приемы. Выбор определяется спецификой предполагаемых для решения задач, проверенностью определенными приемами 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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. На какие классы делятся методы эвристического поиска технических решений?
2. Чем методы направленного эвристического поиска отличаются от методов ненаправленного эвристического поиска технических решений?
3. Назовите недостатки общепромышленного фонда технических приемов.
4. Как Г.С. Альтшуллер предлагает устранить один из недостатков общепромышленного фонда технических приемов?
5. Как В. И. Голдовский и М. Н. Вайнерман предлагают устранить другой недостаток общепромышленного фонда технических приемов?

5.4. Принципы поиска новых технических решений

РБ

Основные группы эвристических приемов поиска нового технического решения были систематизированы Р.П. Повилейко. Весь массив эвристических приемов удалось свести к 10 основным принципам: *неология* (перенос), *адаптация*, *мультипликация*, *дифференциация*, *интеграция*, *инверсия*, *импульсация*, *динамикация*, *аналогия*, *идеализация*. Эвристические приемы каждого из принципов предназначены для улучшения следующих показателей: *геометрических*, *физико-механических*, *энергетических*, *конструктивно-технологических*, *художественно-конструкторских*, *надежности*, *эксплуатационных*, *экономических*, *удобства обслуживания*.

Принцип неологии (от латинского – знание нового, новизна) – это использование (заимствование) разработчиком процессов, конструкций, форм, материалов и т.д., 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. Общеиз-

вестно, как много дает самым разным, казалось бы, отраслям техники аппарата 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, приноровление) 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 системы, 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 – «тяже-

лую» 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 гилянские 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 др. 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, скажем, 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. «Возвеличивание» 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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. В чем заключается принцип неологии?

2. В чем заключается принцип адаптации?
3. В чем заключается принцип мультипликации?
4. В чем заключается принцип интеграции?
5. В чем заключается принцип аналогии?
6. В чем заключается принцип идеализации?
7. В чем заключается принцип импульсации?
8. В чем заключается принцип динамизации?

5.5. Техническое и физическое противоречия

ИБ

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** (U_k), а характеризующий его показатель – **узловым показателем** (P_u). 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_c). 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 P_k) 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.5.2,а);

5) один показатель качества увеличивается, а другой уменьшается при увеличении узлового показателя (рис. 5.2,б).

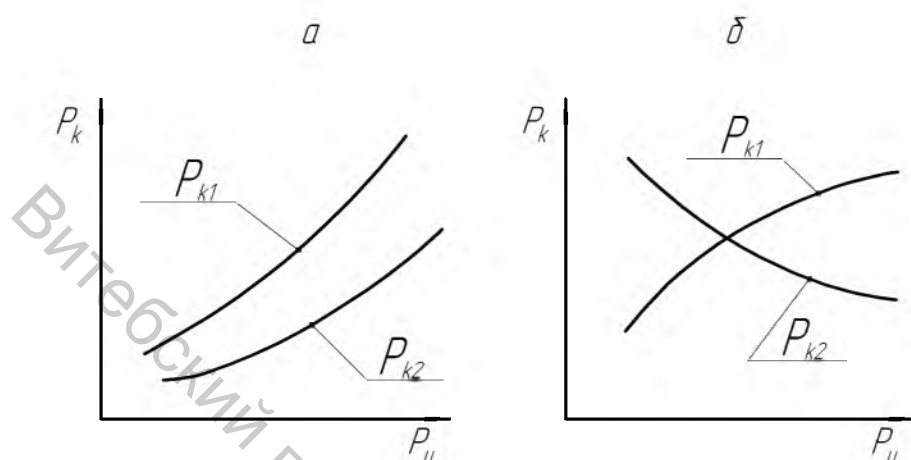


Рис. 5.2. Варианты зависимости количественных показателей качества (P_k) от узлового показателя (P_u)

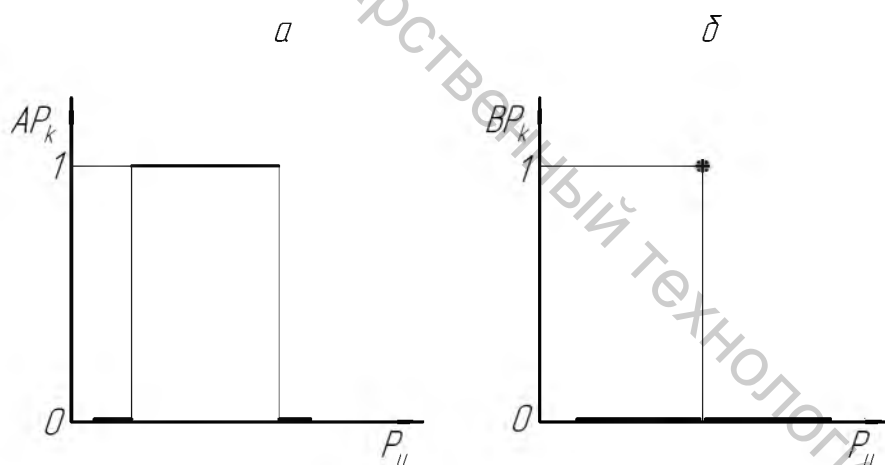


Рис. 5.3. Варианты зависимости качественных показателей (AP_k и BP_k) от узлового показателя (P_u)

могут быть положительными и их следует обеспечить, добиться, создать и т. д., или отрицательными, которых нужно избежать, от которых отказаться, без которых обойтись. По характеру зависимости от P_u различают два вида качественных показателей AP_k и BP_k (рис. 5.3). 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 типа BP_k ;
- 2) количественный показатель и качественный показатель типа AP_k противоположных знаков;
- 3) качественные показатели типа AP_k разных знаков;
- 4) качественные показатели типа BP_k ;
- 5) качественные показатели разных типов.

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

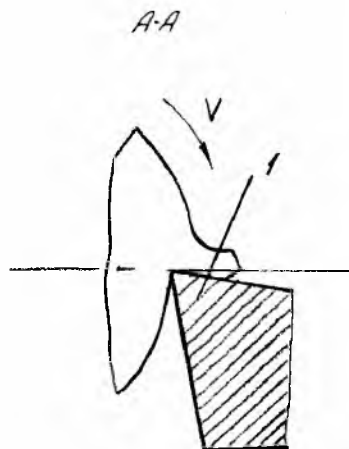
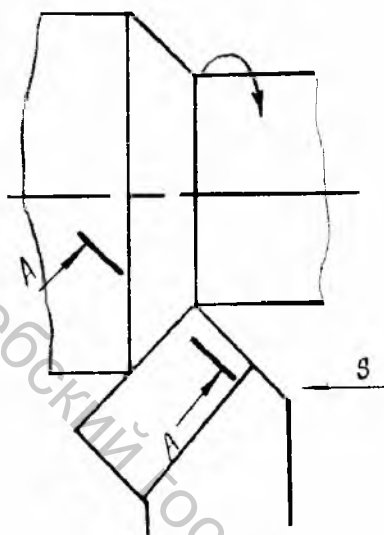
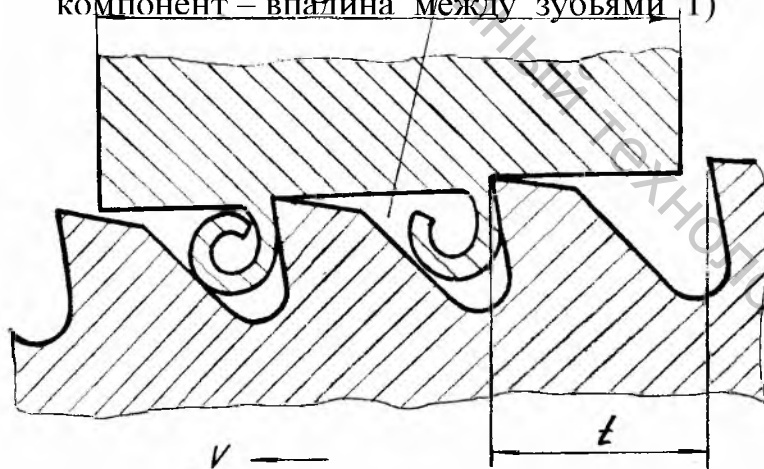


Рис. 5.4. Схема точения (узловой компонент – режущий клин 1)

Рис. 5.5. Схема зоны протягивания (узловой компонент – впадина между зубьями 1)



На рис. 5.4 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. 5.5), 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.

На рис. 5.6 показана схема фрезерования впадины на фрезерном станке с ЧПУ. Узловым компо-

нентом в этом случае будет режущая кромка фрезы, а узловым показателем – ширина фрезерования B . Если B будет больше некоторого критического значения B_k , возникают автоколебания (отрицательный качественный показатель типа AP_k). 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.*

В некоторых случаях у узлового компонента системы узловой показатель не может превышать или стать меньше какого либо предельного значения, то есть $P_i \leq P_{i_{\max}}$ или $P_i \geq P_{i_{\min}}$. Хотя можно было бы улучшить показатель качества системы за счет, например, увеличения P_i до значений больших $P_{i_{\max}}$, но этого нельзя делать из-за ограничений, которые носят надсистемный или физический характер. Например, желательно 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.

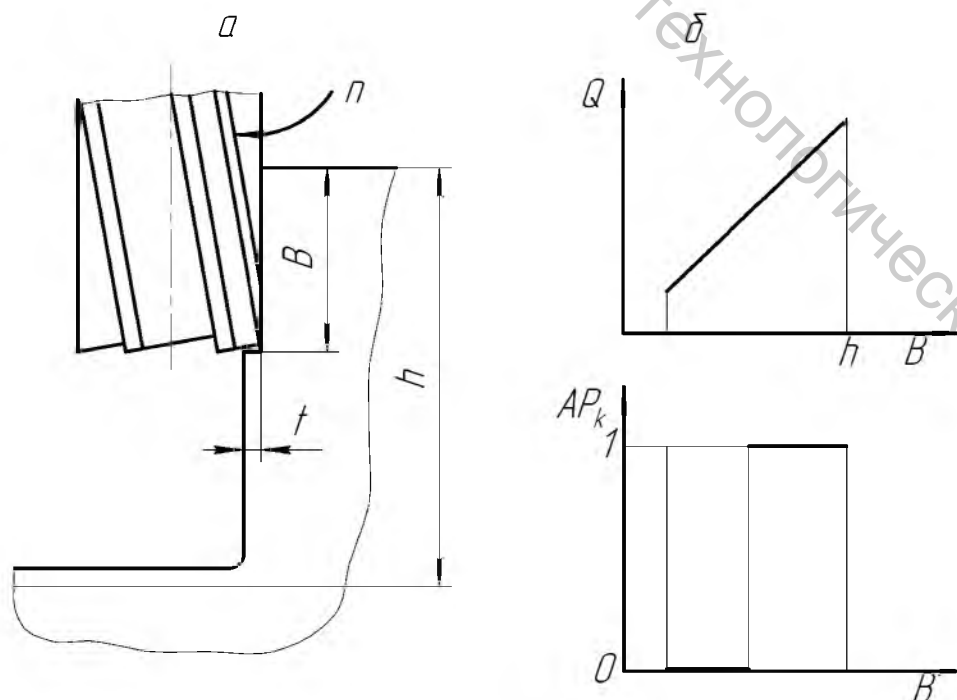


Рис. 5.6. Схемы многопроходного фрезерования впадины а) и зависимости показателей качества от ширины фрезерования б)

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.

РБ

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 по-

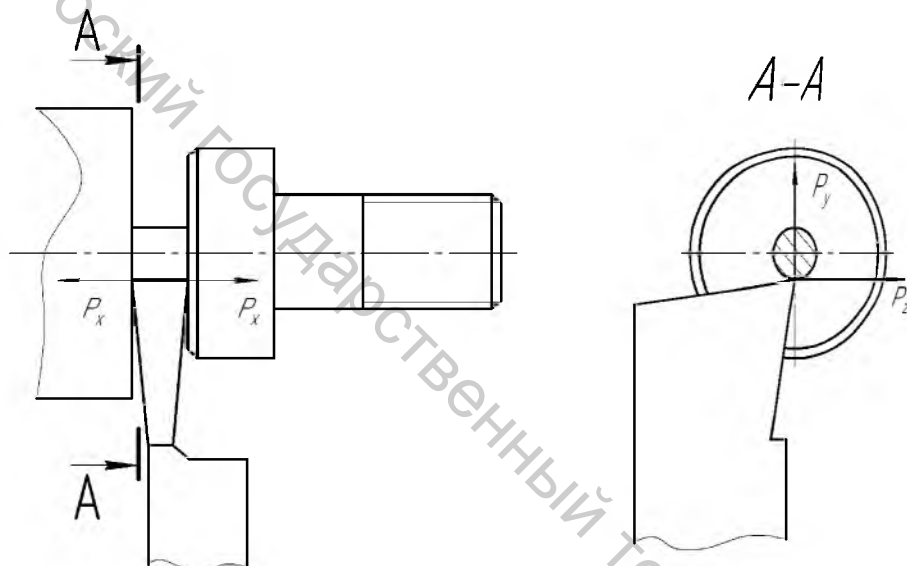


Рис. 5.7. Схема отрезания детали от групповой заготовки

ложительный эффект.

Например, при отрезании детали от групповой заготовки (рис. 5.7) последняя отламывается преимущественно в сечении А-А, что является нежелательным эффектом, т. к. 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

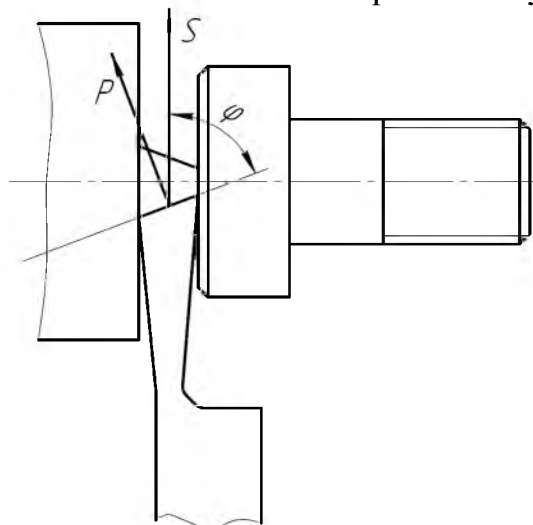


Рис. 5.8. Схема отрезания детали от групповой заготовки резцом с углом в плане

в сечении В-В, где отламывание желательно действует только момент от распирающей силы P_x . Т. к. диаметр остатка в обоих сечениях одинаков, то отламывание происходит в сечении А-А.

Для того, чтобы ослабить остаток в сечении В-В, применяют резец с углом в плане ϕ , меньшим 90° (рис. 5.8). 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° , что позволит обеспечить условие его устойчивости (понижения вероятности поломки); угол в плане отрезного резца должен быть меньше 90° , что позволит устранить дополнительную операцию по удалению остатка.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Дайте определение понятию техническое противоречие.
2. Дайте определение понятию физическое противоречие.
3. Дайте определение понятию узловой компонент.
4. Дайте определение понятию узловой показатель.
5. Запишите структуру формулирования любого физического противоречия.
6. Когда имеет место физическое противоречие, если оба показателя качества, на которые влияет узловой показатель, количественные.
7. Когда имеет место физическое противоречие, если узловой показатель влияет на количественный и качественный показатели качества.
8. Изобразите графически варианты наличия физического противоречия, если оба показателя качества, на которые влияет узловой показатель, количественные.
9. Что нужно сделать, чтобы выявить физическое противоречие?
10. Как выявить физическое противоречие путем построения причинно-следственной цепочки?

5.6. Методы разрешения физических противоречий

ИБ

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 $L1$ и $L2$ при условии, что: форма его – спираль (кольцо),

1. $L1$ – длина спирали (длина окружности кольца),
2. $L2$ – габаритный размер спирали (диаметр кольца).

Или – компонент характеризуется двумя линейными скоростями $V1$ и $V2$ при условии, что: компонент – пружинный маятник,

1. $V1$ – линейная скорость груза маятника,
2. $V2$ – линейная скорость элементов крепления пружины.

Массив компонентов с парными свойствами состоит из компонентов шести классов. К первому классу относятся компоненты, состоящие из одного элемента (О), который характеризуется двумя однотипными свойствами ($C1$, $C2$). Ко второму классу относятся компоненты, состоящие из одного элемента, который характеризуется одним свойством, изменяющимся в зависимости от про-

странственной 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. 5.4).

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

Таблица 5.4

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

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.

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.

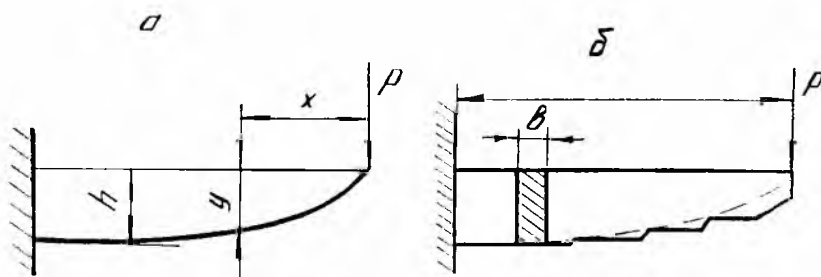


Рис. 5.9. Схемы балки с оптимальной продольной формой (разрешение физического противоречия): а) гиперболической; б) ступенчатой.

Силовая конструкция должна быть изготовлена из материала типа К (коррозионностойкий), что позволит увеличить длительность ее эксплуатации; силовая конструкция должна быть изготовлена из материала типа Д (некоррозионностойкий), что позволит уменьшить ее стоимость.

Принципиальное решение. Заменить силовую конструкцию, изготовленную из коррозионностойкого материала, на конструкцию, изготовленную из "дешевой" стали, но имеющую коррозионностойкое 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 рис. 5.9. 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".

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 ткань 2 используется электрошина 3, часть которой выполнена в виде иглы (рис. 5.10-а). Эта система характеризуется такими показателями, как сила тока, протекающего по электрошине, и степень повреждения диэлектрической ткани.

Если взять в качестве узлового компонента электрошину, а в качестве узлового показателя –

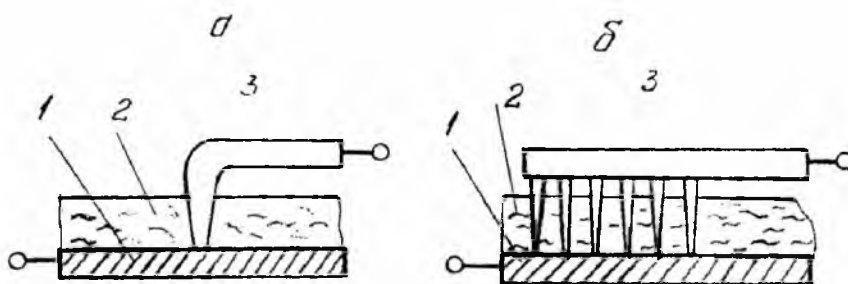


Рис. 5.10. Схемы исходного (а) и производного (б) технических решений, полученных разрешением ФПр при помощи приема 3

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. 5.10-б).

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; т.е. 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, функционирование, ремонт, утилизация и т. д. Например, при круглом врезном шлифовании (см. рис. 1.6) показатель шероховатости шлифованной поверхности (R_a) 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 R_a ". 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 R_a .

Прием 7. Заменить узловой компонент компонентом третьего класса, который на различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной систе-

мы 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 узловой 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° 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°C . 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 узловый компонент, таким образом, чтобы он превратился в компонент с парными свойствами первого класса, т.е. 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.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Назовите способы преодоления (разрешения) физических противоречий.
2. Что такое компонент с парными свойствами?
3. Дайте характеристику и приведите пример компонента с парными свойствами класса 1.
4. Дайте характеристику и приведите пример компонента с парными свойствами класса 2.
5. Дайте характеристику и приведите пример компонента с парными свойствами класса 3.
6. Дайте характеристику и приведите пример компонента с парными свойствами класса 4.
7. Дайте характеристику и приведите пример компонента с парными свойствами класса 5.
8. Дайте характеристику и приведите пример компонента с парными свойствами класса 6.
9. Попробуйте сформулировать физическое противоречие и с помощью приема № 1 решить следующую задачу. При выплавке стали расплав необходимо периодически перемешивать со шлаком (находится на поверхности расплава), чтобы интенсифицировать процесс удаления примесей. Мешалка (стержень), сделанная из стали, быстро плавится. Тугоплавкая мешалка (из керамики или специальных сплавов) дорога. Из чего изготовить мешалку.
10. Попробуйте сформулировать физические противоречия и найти приемы их преодоления для примеров, показанных на рис. 5.4, 5.5 и 5.6.

5.7. Эвристические методы направленного поиска

РБ

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). Эвристи-

ческий 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 7×7 , по механизму поиска близка к морфологическому, который является методом 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 (физикотехнические 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 самостоятельно (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:

- 1) Дано (указать изделие ТС, т. е. то, на что она воздействует). Необходимо построить ТС, выполняющую ГПФ (указать).
- 2) Даны компоненты ТС (указать их). Необходимо достроить ТС для выполнения требуемой дополнительной функции.
- 3) 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, т. е. ее окончательная формулировка. Поэтому, как и всякая задача, формулиров-

ка 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 выделяется 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 "Х", которому дозволено придать нужные свойства. Последующий анализ позволит конкретизировать средство модели решения.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Назовите направленные методы эвристического поиска технических решений.
2. Дайте определение понятию «эвристический алгоритм».
3. Назовите недостатки метода эвристического поиска АРИЗ-77.
4. Какие типы задач решаются обобщенным эвристическим методом?
5. Назовите типы моделей задач, которые используются в комплексном методе эвристического поиска.
6. Дайте определение понятию «оперативная модель решения».

5.8. Синтез технических решений методом разрешения противоречий

5.8.1. Общий алгоритм синтеза

ИБ

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.
 - 1.7.3. 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 элемент 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 про-

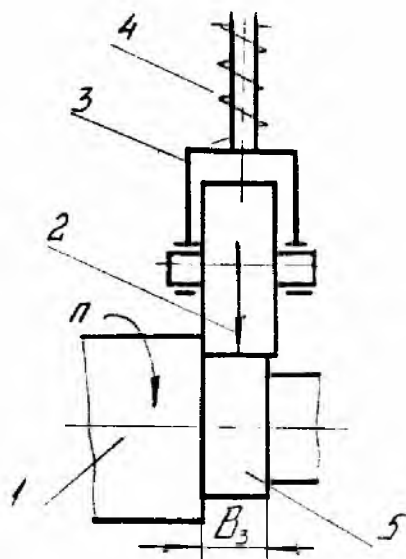


Рис. 5.11. Схема обкатывания роликом 2 поверхности 5 заготовки 1: 3 – державка ролика; 4 – пружина.

странстве 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).

5.8.2. Примеры синтеза

Ролик для обкатки на токарно-револьверном автомате

Известен метод выглаживания поверхности заготовки путем ее пластического деформирования (ППД) обкаткой роликом (рис. 5. 11), который прижимается к обкатываемой поверхности с силой P_H . 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 требуемая (оптимальная) сила P_H . Однако, каждому сочетанию размеров заготовки и способа ее закрепления соответствует некоторое предельно допустимое значение $P_H = P_{H, \text{доп}}$, ограниченное допустимой упругой деформацией технологической системы.

Поэтому на обычных токарных станках ведут обкатывание с продольной подачей (рис. 5.12), что позволяет уменьшить длину контакта "В" до необходимых пределов для обеспечения неравенства $P_H < P_{H, \text{доп}}$. Но на токарно-револьверном автомате этот переход выполняется роликом, установленным на одном из боковых суппортов, который может совершать только радиальную подачу.

Следовательно, длина рабочей части его образующей должна быть больше (или равна) длины обкатываемого участка поверхности

(см. рис. 5.11). Как быть, если требуется обкатать поверхность значительной длины на токарно-револьверном автомате?

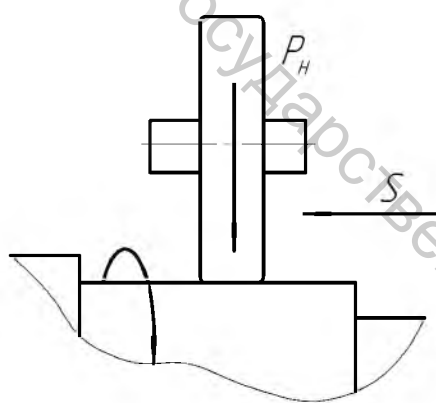


Рис. 5.12. Схема обкатывания с продольной подачей

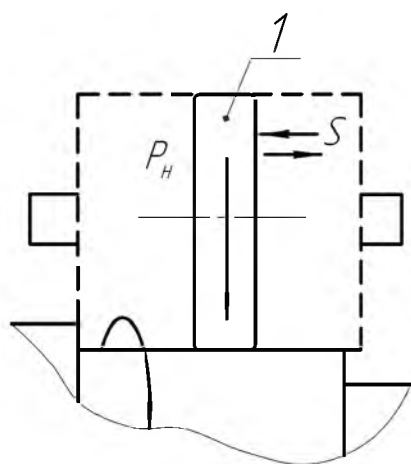


Рис. 5.13. Схема идеального решения: 1) "активный" участок ролика

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;

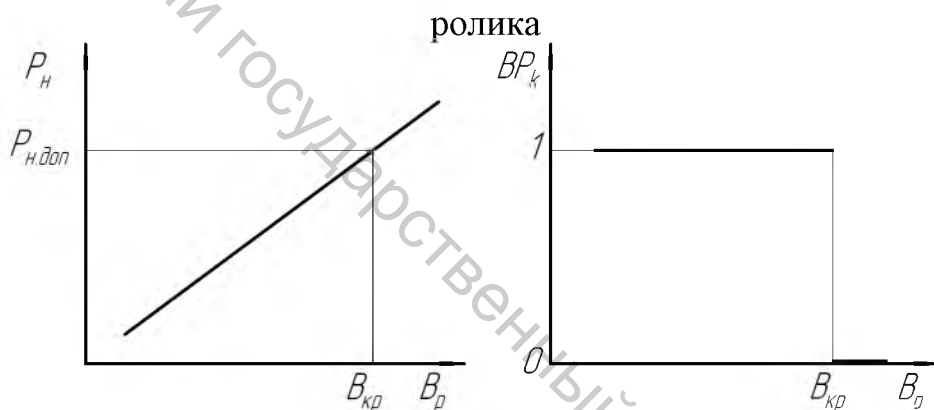
б) конструкцию автомата менять нельзя (очень дорого);

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. 5.14. Зависимость показателя качества от ширины ролика



допустимого предела удельная сила и либо понижается производительность, либо невозможно достигнуть заданного качества поверхности.

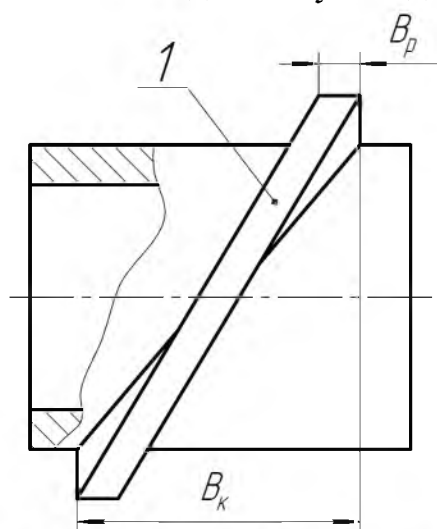


Рис. 5.15. Схема "косого" ролика:

1) активный участок ролика

Следовательно, техническое противоречие можно сформулировать следующим образом.

Увеличение длины образующей ролика в соответствии с требуемой длиной обкатываемой поверхности приводит 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.

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 (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.

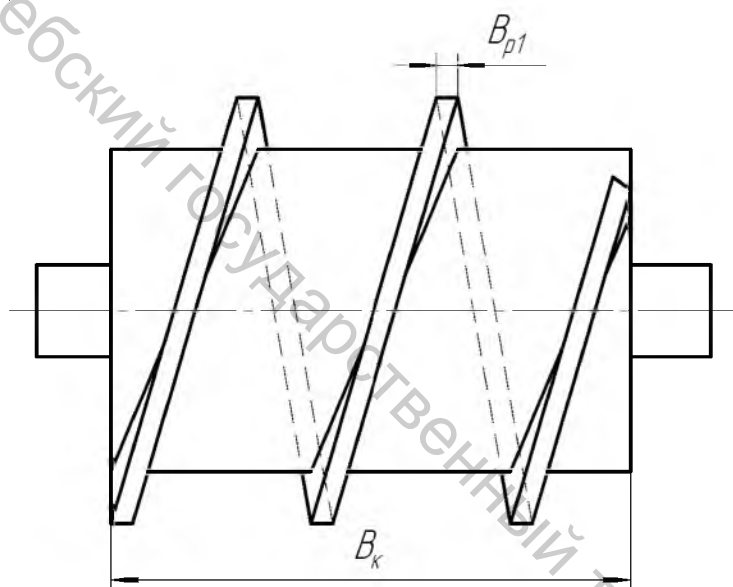


Рис. 5.16. Схема "винтового" ролика

Активный короткий участок контакта ролика при его вращении совершает возвратно-поступательное движение на заданную длину обкатываемого участка заготовки (рис. 5.13).

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. 5.14). Первым показателем качества следует выбрать силу P_n . А вторым будет качественный показатель типа AP_k , 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_k , должна иметь продольную подачу, чтобы получить возможность обработать требуемую ширину заготовки.

У.4.1. Указанные ФПр можно разрешить одним из приемов, указанных в разделе 5.6. В рассматриваемой задаче подходящим будет прием 4. Заменить узловой компонент компонентом, который характеризуется двумя показателя-

ми, 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. 5.15) или на нем нарезана винтовая канавка (рис. 5. 16). В первом случае V_p мало, а V_k на много больше. Во втором случае V_p будет равна сумме ширин выступов, а V_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

Как известно, при шлифовании в рабочей зоне (зона контакта шлифовального круга и заготовки) развиваются высокая температура (рис.

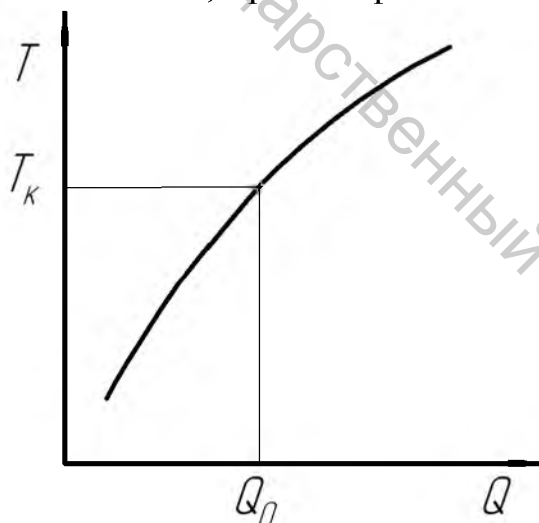


Рис. 5.17. Схема зависимости максимальной температуры T поверхности шлифования от интенсивности удаления материала Q , $\text{мм}^3 / \text{с}$

рис. 5.17). В зависимости от интенсивности процесса она может достигать значений, больших 1000°C . Если температура в подповерхностном слое шлифуемой детали превышает некоторую критическую (T_k), то это приводит к дефектам при шлифовании закаленной детали, 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 рис. 5.18. 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 рис. 5.19.

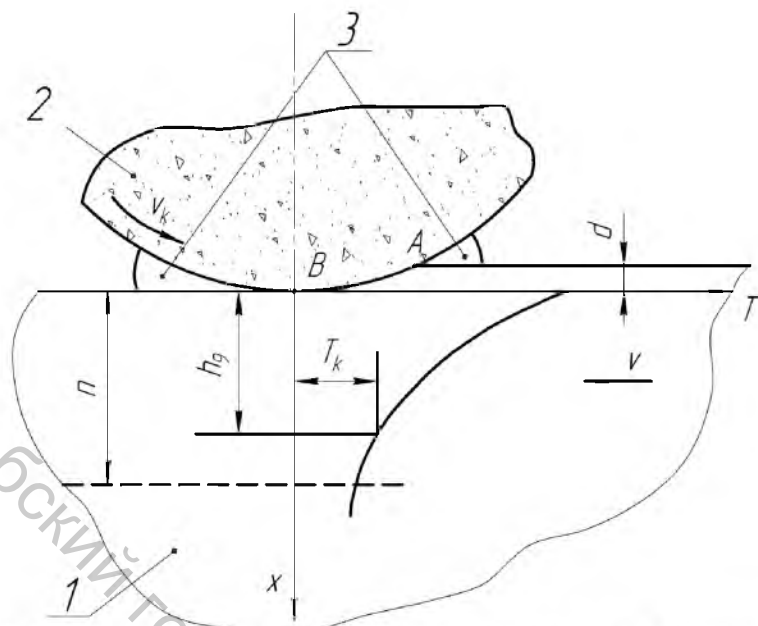


Рис. 5.18. Схема зависимости максимальной температуры (под точкой В) от расстояния X от поверхности шлифования: 1) заготовка; 2) шлифовальный круг; 3) зона повышенного давления

эффективности охлаждения поливом является зона высокого давления 3 (см. рис. 5.18), которая образуется из-за того, что пористый шлифовальный круг 2, засасывает с торцов и выбрасывает на периферию поток воздуха.

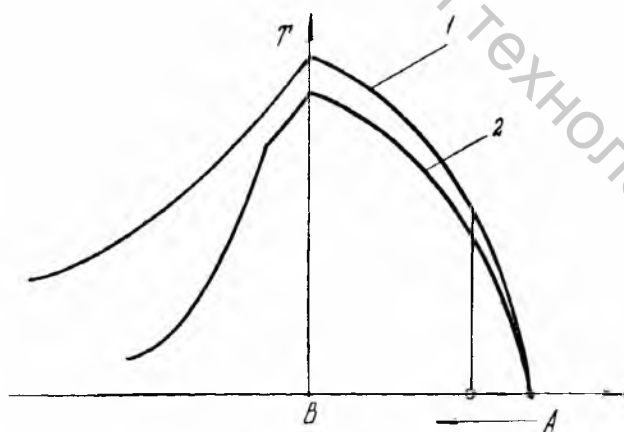


Рис. 5.19. Схема изменения температуры поверхности заготовки при шлифовании без охлаждения (1) и с охлаждением поливом (2)

Для предотвращения прижогов необходимо снизить производительность шлифования до Q_0 , что экономически не выгодно. Как повысить эффективность процесса шлифования закаленных сталей?

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 ограни-

Графики на этом рисунке ясно показывают, что обычное охлаждение поливом мало эффективно, так как максимальная температура в рабочей зоне снижается только на 10%. Поливание быстро понижает температуру на поверхности после ее выхода из рабочей зоны, препятствуя накоплению тепла в шлифуемой заготовке. Причиной низкой

Как показали эксперименты, глубина дефектного слоя (прижогов) зависит от показателя интенсивности удаления материала с поверхности заготовки (Q мм³/с). Характер этой зависимости показан на рис. 5.20. Из графика на этом рисунке следует, что для предотвращения

чения: 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 1.4,в 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 ста-

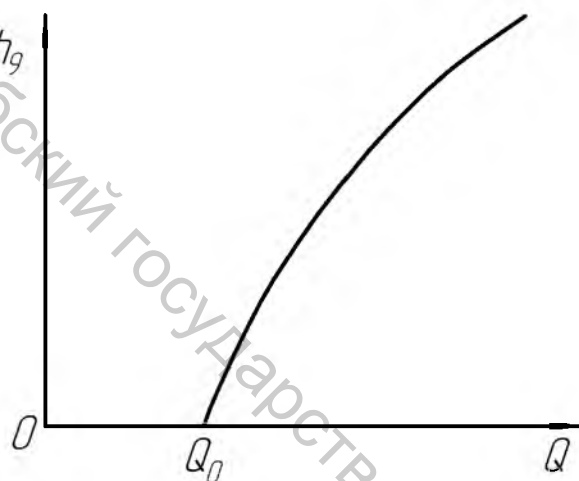


Рис. 5.20. Схема зависимости глубины h_d дефектного слоя от интенсивности шлифования Q

ли 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. Необходи-

тельно: 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 рис. 5.19, 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 рис. 5.21.

б) Рабочей зоной, в которой должна быть реализована модель решения, является слой материала,

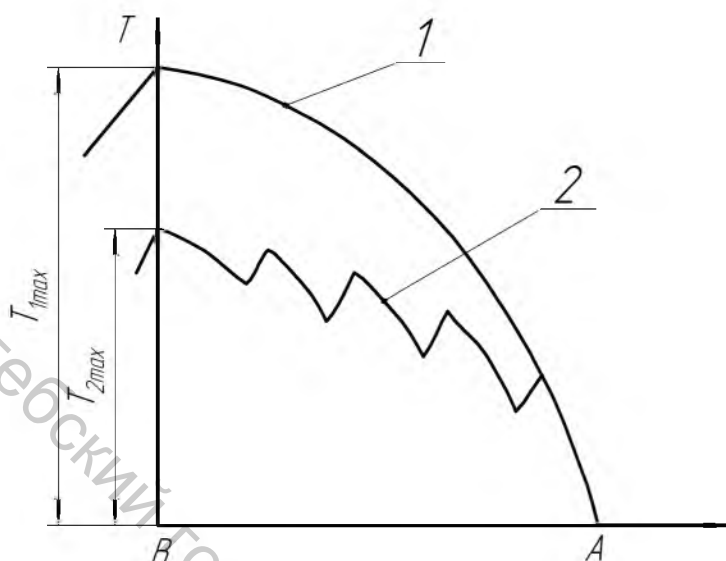


Рис. 5.21. Схема изменения температуры поверхности заготовки при непрерывном (1) и прерывистом (2) шлифовании

подлежащий удалению — припуск Π (см. рис. 5.18). 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.

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 Π 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.

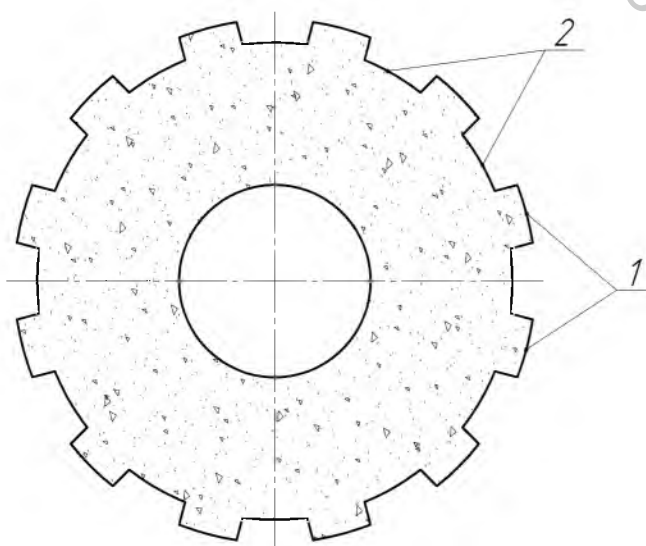


Рис. 5.22. Схема шлифовального круга для прерывистого шлифования.
1) рабочие участки; 2) впадины

У.4.1. Модель решения (а) можно реализовать, если рабочую поверхность шлифовального круга выполнить прерывистой (рис. 5.22). Но если канавки будут параллельны оси вращения круга, то шлифование будет сопровождаться вибрациями, которые существенно увеличат параметр шероховатости R_a шлифованной поверхности, что недопустимо.

Поэтому канавки, прерывающие процесс шлифования, следует делать винтовыми (рис. 5.23). Такая форма канавок имеет еще одно преимущество. Винтовые выступы в зоне шлифования будут работать как лопасти насоса, нагнетая туда охлаждающую жидкость.

Модель решения (б) можно реализовать, если управление интенсивностью шлифования будет осуществляться в соответствии с оставшимся припуском Π и фактическим значением Q . Согласно графику на рис. 5.20 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, Π . Тогда получаем

$$Q \leq Q_0 + \Pi / K_d.$$

Для такого управления круглошлифовальный станок должен быть снабжен прибором активного контроля (ИУ на рис. 1.5), счетно-логическим устройством (СЛУ), которое принимает от ИУ сигнал, пропорциональный Π , и дифференцирует его по времени τ , получая фактическую производительность

$$Q_{\phi} = p \cdot D \cdot B \cdot (d\Pi / d\tau),$$

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_{ϕ} и Q сравниваются и исполнительное устройство (ИсУ на рис. 1.5) 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.

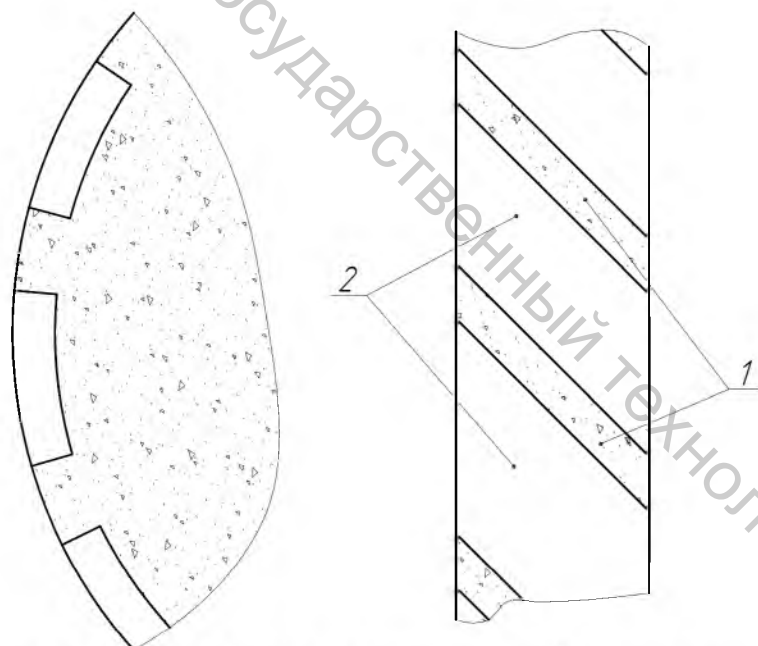


Рис. 5.23. Схема участка шлифовального круга для безударного прерывистого шлифования: 1) рабочие участки; 2) впадины

Оправка для растачивания

Тонкое растачивание отверстия в заготовке корпусной детали осуществляется на специализированном расточном станке (рис. 5.24). 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

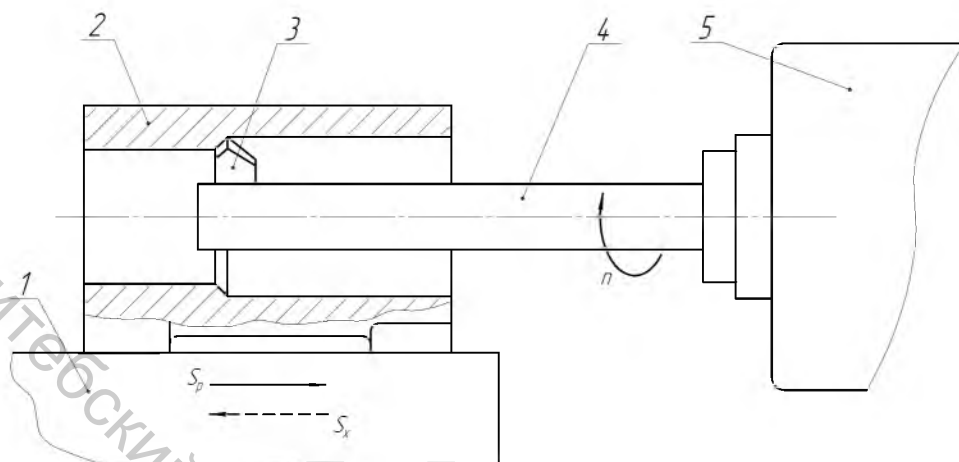


Рис. 5.24. Схема тонкого растачивания:
1) стол; 2) заготовка; 3) резец; 4) оправка;
5) бабка шпинделя

нужно сделать, чтобы при холостом выводе оправки 4 с резцом 3 не образовывалась риска.

1.2.1. В данном случае подходит следующий вариант проблемы.

1.2.1.2. В технической системе нет компонента для отвода резца

во время холостого хода (т. е. обнаружена функциональная неполнота).

1.2.2. Оправка с резцом входит составным компонентом в шпиндельную бабку 5 (см. рис. 5.24) расточного станка. Характер связи оправки со шпинделем показан на рис. 5.25.

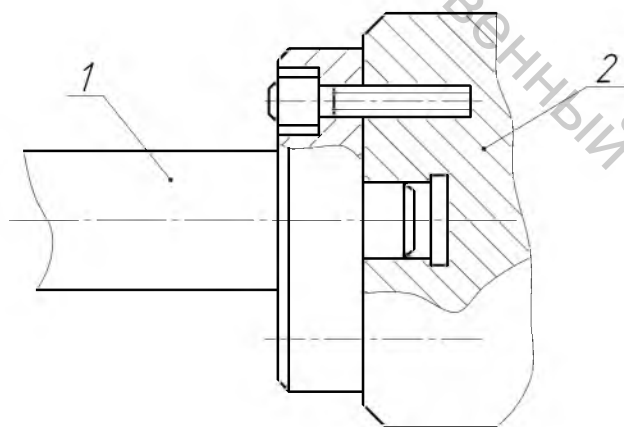


Рис. 5.25. Схема крепления расточной оправки 1 к шпинделю 2

1.3. 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,

т. е. составлять 0,1...0,15 мм.

1.4. 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).

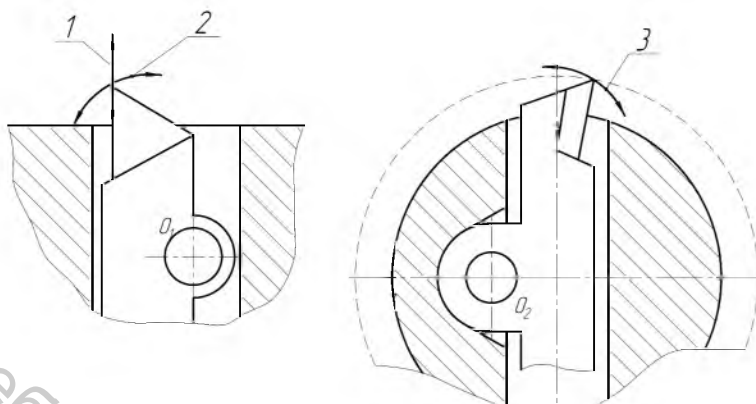
1.5. Кроме использования компонента для отвода резца можно получить отверстие без дефектов, если обратный ход проводить на рабочей подаче. Но при этом существенно уменьшается цикловая производительность операции, так как вывод будет производиться так же медленно, как и рабочий проход.

1.6. 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.



1.7.2. Дана техническая система, состоящая из расточного станка, оправки с резцом, рабочее положение вершины которого по отношению к оси оправки настраивает-

1— оправка; 2— втулка-копир; 3— заготовка; 4— корпус пластины 5; 6— плоская
Ри жина; 7— винт; 9— упор регулируемый; 10— контргайка; 13— палец
м

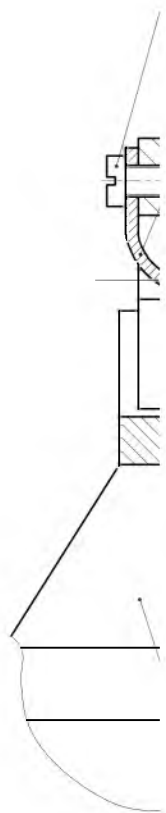


Рис. 5.2/. Схема управления положением вершины режущей кромки пластины 5 при помощи упоров 8 и 12, закрепленных на столе 11 расточного станка.

ся предварительно, и заготовки. Для отвода резца перед холостым ходом и для его возврата в рабочее положение нет компонента, который нужно выбрать (синтезировать).

1.8. 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

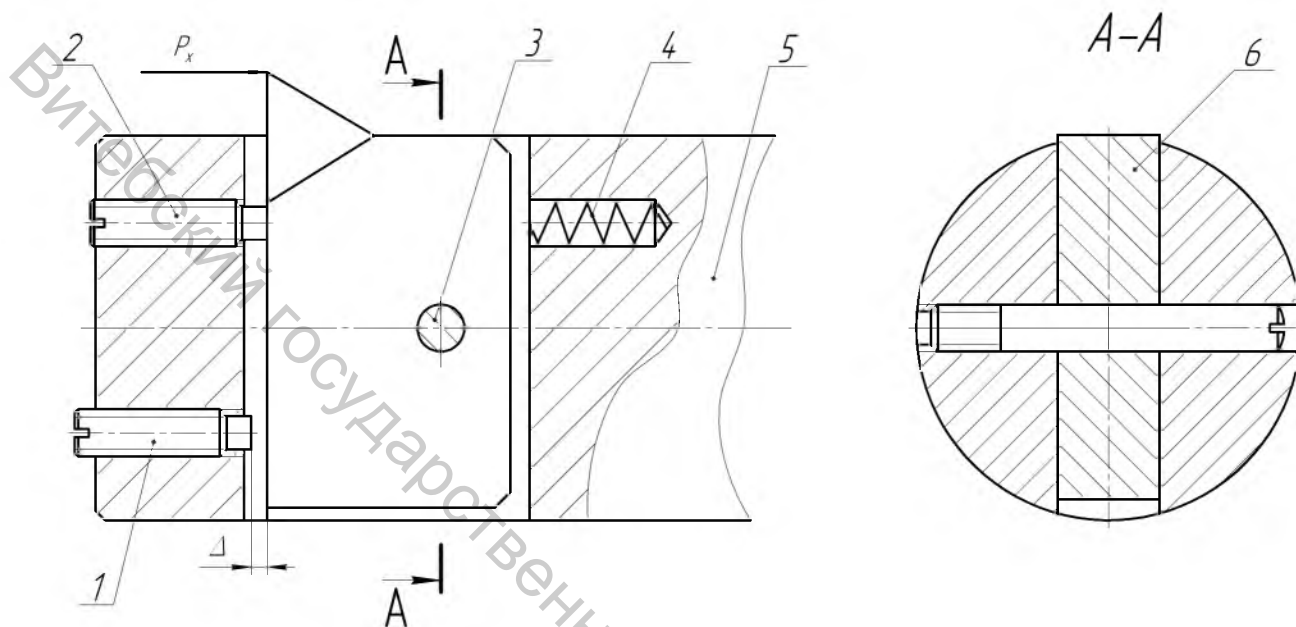


Рис. 5.28. Схема расточной оправки с автоматическим отводом вершины резца перед обратным ходом с помощью пружины 4 и автоматическим подводом ее в рабочее положение силой P_x : 1) винт, определяющий рабочее положение резца; 2) винт, определяющий холостое положение резца; 3) ось; 4) отводящая пружина; 5) оправка; 6) держатель режущей пластины.

шпиндельную бабку.

С.2.1. 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).

С.2.2. Выходами проектируемой ТС являются перемещения вершины резца. Возможные перемещения показаны на рис. 5.26. Это радиальные (прямолинейные) перемещения и повороты вокруг полюсов O_i 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.

На рис. 5.27 показана схема технического решения, в котором использован первый энергетический источник радиального перемещения резца. При выходе резца 4 за пределы детали 3 упор 8 сдвигает втулку 2 и пружина 6 отводит ре-

зец. 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 резца на размер.

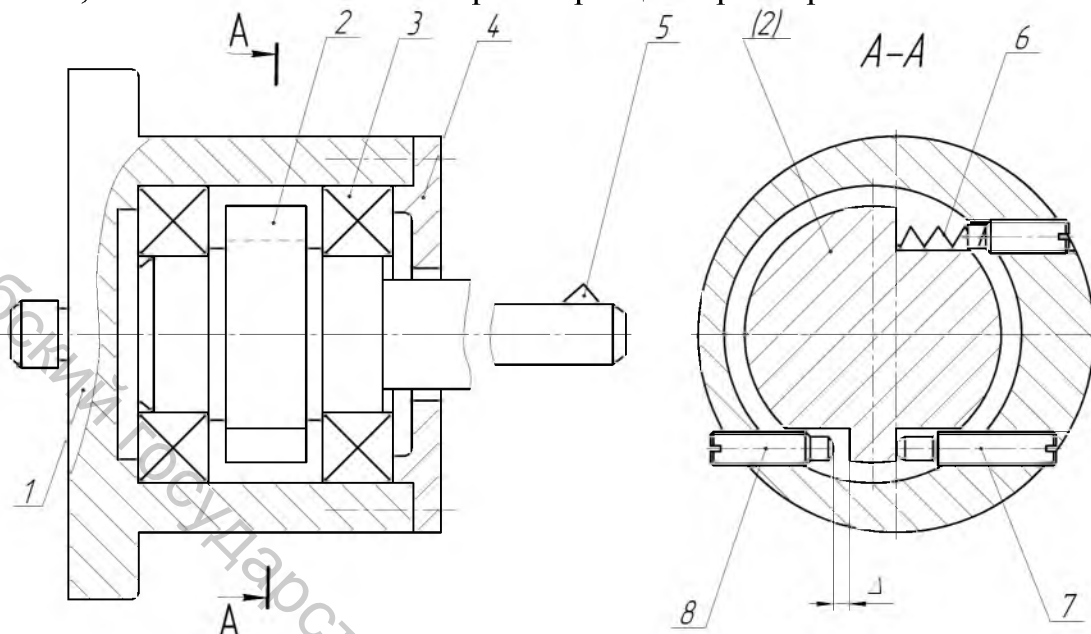


Рис. 5.29. Схема расточной оправки с автоматическим отводом вершины резца перед обратным ходом с помощью пружины 6 и автоматическим переводом ее в рабочее положение силой P_z : 1) корпус оправки; 2) оправка; 3) радиально-упорный подшипник; 4) крышка; 5) резец; 6) пружина отвода; 7) винт ограничения отвода; 8) винт регулировки размера.

Поле сил инерции через грузы и рычаги может вывести вершину резца 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 резца, 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 рис. 5.28. Зазор Δ должен обеспечить отвод больший, чем упругая деформация оправки во время растачивания, но меньший, чем половина припуска на сторону.

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 рис. 5.29. 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.

6. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

6.1. Синтез математических моделей технических систем

6.1.1. Общие положения

ИБ

Синтез математической модели состоит в определении ее конфигурации (число и характер факторов, а также отношений между ними) и параметров (неизменяемых численных коэффициентов).

Как это было сказано ранее, по способу получения различают теоретические, эмпирические и теоретико-эмпирические математические модели. *Теоретические модели* отражают физические процессы, происходящие в компоненте системы. При этом их параметры имеют определенный физический смысл. *Эмпирические модели* синтезируют на основании изучения системы как "черного ящика", то есть по ее отклику на изменение входных показателей (факторов). При этом реакции на внешние воздействия могут изучаться как на реальной системе, так и с помощью более точных математических моделей (например, микромоделей). *Теоретико-эмпирические модели* получаются, когда в процессе их теоретического синтеза используются готовые эмпирические модели (см. раздел 1.2.4).

Известные модели простых элементов системы позволяют теоретически получить модели более сложных ее компонентов (например, нескольких шарнирно связанных тел, переливного клапана, насоса и т.д.).

Примером получения теоретико-эмпирической модели, приведенной в разделе 1.2.4, является синтез функции цели для оптимизации режима предварительного точения. Критерием предпочтения в данном случае будет уровень затрат денег на обработку одной детали. Предположим, что операция состоит из одного перехода точения цилиндрической поверхности диаметром d и длиной L . Исходя из теоретических рассуждений можем синтезировать модель затрат в следующем виде:

$$C = E \cdot t_{\text{шт}} + C_{\text{и}} / N_{\text{Т}}, \quad (6.1)$$

где C – себестоимость обработки одной детали; $t_{\text{шт}}$ – штучное время обработки одной детали; E – минутные затраты на эксплуатацию рабочего места (включает затраты на амортизацию станка и приспособления, а также на оплату труда оператора); $C_{\text{и}}$ – затраты на эксплуатацию режущего инструмента за период его стойкости (времени работы между переточками); $N_{\text{Т}}$ – количество деталей, обработанных за период стойкости T .

Известно, что $t_{\text{шт}}$ состоит из следующих компонентов:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{о}} + t_{\text{в}} + t_{\text{с}} / N_{\text{Т}}, \quad (6.2)$$

где t_o – основное время или время движения с рабочей подачей; t_b – вспомогательное время (на вспомогательные переходы); t_c – время смены затупившегося инструмента; t_b и t_c не зависят от режима резания.

Из кинематической модели точения следует, что

$$t_o = L / (s \cdot n), \quad (6.3)$$

где s – подача на один оборот заготовки (шпинделя); n – частота вращения шпинделя;

$$n = 1000 \cdot V / (\pi \cdot d), \quad (6.4)$$

V – скорость резания.

Очевидно, что

$$N_T = T / t_o. \quad (6.5)$$

Тогда, подставив (6.2) ... (6.5) в (6.1), получим

$$C = E \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot L}{1000 \cdot s \cdot V} \cdot \left(1 + \frac{t_c + C_u / E}{T} \right) + E \cdot t_e. \quad (6.6)$$

Чтобы получить необходимую модель, необходимо знать зависимость между стойкостью и показателями режима точения. Известна следующая эмпирическая модель стойкости при точении:

$$T^m = \frac{C_v}{V \cdot a^x \cdot s^y}, \quad (6.7)$$

где a – глубина резания; C_v , m , x , y – параметры эмпирической модели (не имеют физического смысла).

Если подставить (6.7) в (6.6), то получим функцию цели, которая позволяет оптимизировать значение скорости резания (значения глубины резания и подачи определяются ограничениями).

При этом ограничение глубины резания $a \leq \Pi$, где Π – припуск на сторону.

Ограничения по станку $n_{\min} \leq \frac{1000V}{\pi d} \leq n_{\max}$, $s_{\min} \leq s \leq s_{\max}$.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Как отличаются математические модели по способу получения?
2. Чем теоретические модели отличаются от эмпирических?
3. Приведите несколько примеров теоретических моделей.
4. Приведите несколько примеров эмпирических моделей.
5. Получите функцию цели для предварительного точения на основании моделей 6.6 и 6.7.

6.1.2. Синтез эмпирических моделей

6.1.2.1. Понятия и определения

ИБ

Эксперимент – система операций и (или) наблюдений, направленных на получение информации об объекте исследования. Составной частью эксперимента является **опыт** – воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях, при возможности измерения, регистрации и количественной оценки состояния или результатов функционирования исследуемой системы. Эксперимент проводится на промышленном оборудовании, лабораторной установке, физической или имитационной модели. При этом механизм изучаемого процесса обычно известен частично или совсем неизвестен.

План эксперимента – совокупность данных, определяющих число, условия и порядок реализации опытов. План эксперимента обычно записывается в виде матрицы плана – прямоугольной таблицы, строки которой отвечают отдельным опытам, а столбцы – факторам. Элементами матрицы плана обычно являются уровни факторов. Матрица плана может иметь совпадающие строки (т.е. опыт повторяется).

Измерение дает количественную оценку физической величины (показателя) на основе измерительного преобразования, при котором устанавливается взаимно однозначное соответствие между уровнями измеряемого и преобразованного показателя, сохраняющее для некоторого множества уровней измеряемого показателя все определенные для него отношения и операции. Например, при измерении силы динамометром упругая деформация измерительного преобразователя (пружины), возникшая под действием силы и пропорциональная ей, преобразуется в перемещение ножки индикатора или в электрический сигнал.

Размерность показателя – это выражение, отражающее его связь с основными физическими величинами. Размерность показателя представляет собой произведение основных величин, возведенных в соответствующие степени. В машиностроении используются следующие основные физические величины: масса (M), длина (L), время (T), температура (θ) и сила тока (I). Например, размерность силы F будет

$$[F] = [M] [L]/[T]^2.$$

По способу получения значения измеряемого показателя измерения делятся на прямые, косвенные, совокупные и совместные. При **прямом измерении** уровень показателя определяют непосредственно из опыта. **Косвенным** называют измерение, при котором уровень показателя определяют на основании известной зависимости между этим показателем и величинами, которые подвергаются прямым измерениям. Например, на рис. 6.1 показан пример косвенного измерения расстояния A между осями отверстий по результатам прямого измерения размеров A_1 , A_2 и A_3 . Другим примером косвенного измерения является определение радиуса кривизны R по замерам хорды L и ее высоты h . Радиус вычисляется по следующей модели:

$$R = \sqrt{\frac{4 \cdot h^2 + l^2}{8 \cdot h}}$$

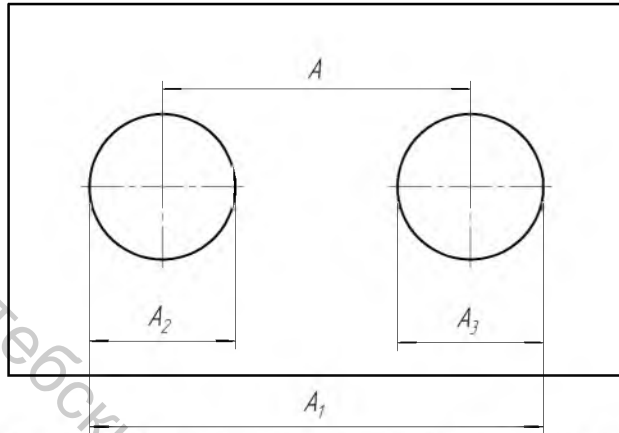


Рис. 6.1. Расчетная схема косвенного измерения

Совокупным называют прямое измерение нескольких одноименных показателей для вычисления уровня заданного показателя путем решения системы уравнений. Например, для определения поля рассеяния зазора ωZ между валом и втулкой измеряются размеры некоторой совокупности валов и втулок. Затем определяются поля рассеяния размеров вала ωB и втулки ωA . Тогда

$$\omega Z = \sqrt{(\omega B)^2 + (\omega A)^2}.$$

Совместными называют одновременные измерения двух или нескольких неоднородных показателей для нахождения зависимости между ними. Например, одновременно измеряются глубина резания a , подача s , скорость резания v и составляющие силы резания P_x , P_y и P_z для определения следующих зависимостей:

$$P_x = f_1(a, s, v); \quad P_y = f_2(a, s, v); \quad P_z = f_3(a, s, v).$$

При измерениях обязательно имеют место погрешности. В зависимости от источника возникновения их разделяют на погрешности *классификации*, *методические*, *алгоритмические*, *инструментальные* и *внешние*.

Погрешность классификации обусловлена несоответствием реального (исследуемого) объекта или процесса приписываемой ему модели. Например, измеряя диаметр детали, предполагаем, что она представляет собой идеальный цилиндр. Но поверхность реальной детали имеет отклонения от цилиндричности. Это несоответствие называют *пороговым*. Чтобы измерение было адекватным, необходимо, чтобы погрешность, вызванная *пороговым* несоответствием, была меньше полной погрешности измерения.

Методическая погрешность возникает вследствие недостаточной разработанности теории тех явлений, которые положены в основу процесса измерения, и тех математических моделей, которые используются для оценки уровня измеряемого показателя.

Алгоритмическая погрешность зависит от степени соответствия алгоритма измерения математическому определению измеряемой характеристики (чаще всего это относится к измерению показателей случайных процессов).

Инструментальная погрешность обусловлена несовершенством средств измерений, их схемного решения, недостаточной точностью реализации принятого алгоритма измерений.

Внешние погрешности возникают под действием различных факторов, внешних по отношению к средству измерения. К ним часто относят ошибки экспериментатора при настройке средств измерения и при снятии показаний.

Погрешности измерения проявляются как систематически, так и случайным образом.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одного и того же показателя. Обнаруженная и оцененная систематическая погрешность исключается из результата измерения путем введения поправки. Однако полностью устранить таким способом систематическую погрешность невозможно. Чем ближе к нулю систематическая погрешность, тем правильнее измерения.

Случайная погрешность – индивидуально непредсказуемая составляющая погрешности измерения, характеристики и закономерности изменения которой проявляются только при значительном числе повторных измерений. Чем меньше случайные погрешности при измерениях, выполненных в одинаковых условиях, тем выше **сходимость** процесса измерения. Чем ближе результаты измерения, выполненные в различных условиях (в разное время, в разных местах), тем выше **воспроизводимость** измерений.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Дайте определение понятию «эксперимент».
2. Дайте определение понятию «опыт».
3. Дайте определение понятию «план эксперимента».
4. Дайте определение понятию «измерение».
5. Дайте определение понятию «размерность показателя».
6. Чем отличается прямое измерение от косвенного?
7. Зачем производят совместные измерения?
8. Когда имеет место погрешность классификации?
9. Приведите примеры систематической погрешности.
10. Дайте определение понятию «случайная погрешность измерения».
11. Приведите пример случайной погрешности измерения.
12. Дайте определение понятию «сходимость процесса измерения».
13. Дайте определение понятию «воспроизводимость процесса измерения».

6.1.2.2. Оценка результатов измерения показателя

ИБ

Способ оценки зависит от природы показателя (случайная или неслучайная величина) и точности измерения. Основной задачей в данном случае является получение выводов о действительном значении показателя с учетом погрешностей измерения при ограниченном числе измерений. Возможны следующие подходы к оценке значения показателя.

1. Показатель является неслучайной величиной и ошибки измерения малы по сравнению с заданной точностью измерения. В таких случаях истинным значением показателя считается результат первого измерения.

2. Показатель является неслучайной величиной, но погрешностью измерения нельзя пренебречь. Для уменьшения влияния случайных погрешностей измерения производится многократное измерение показателя в одинаковых условиях. Тогда точечной оценкой истинного значения Y показателя будет среднее арифметическое значение результатов параллельных измерений (Y_{cp}):

$$Y_{cp} = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_i + \dots + Y_m) / m; \quad (6.8)$$

где m – число параллельных измерений; Y_i – результаты i -го измерения.

Точность такой оценки зависит от числа измерений и характеристики погрешности измерений (стандартное отклонение или поле рассеяния). Истинное значение показателя находится внутри следующего интервала

$$Y_{cp} - \frac{t(P, m) \cdot S}{\sqrt{m}} < Y < Y_{cp} + \frac{t(P, m) \cdot S}{\sqrt{m}}, \quad (6.9)$$

где $t(P, m)$ – критерий Стьюдента; P – доверительная вероятность, значение которой выбирается в зависимости от требуемой достоверности оценки (обычно $P = 0,90 \dots 0,98$); S – оценка стандартного отклонения погрешности измерения, которая определяется из следующего выражения:

$$S^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - Y_{cp})^2; \text{ и } S = \left(\sqrt{\sum_{i=1}^m (Y_i - Y_{cp})^2} \right) / \sqrt{(m-1)}. \quad (6.10)$$

Значение критерия Стьюдента определяется из таблицы П.20.1 (приложение 20).

3. Показатель является случайной величиной, а размах ошибок измерения очень мал по сравнению с полем рассеяния значений измеряемого показателя. В данном случае наиболее полной характеристикой показателя будет закон распределения его значений. Но в большинстве практических задач достаточными считаются такие числовые характеристики случайной величины, как математическое ожидание $M(Y)$ и дисперсия $D(Y)$ (или связанные с ней стандартное отклонение и размах).

В качестве оценки математического ожидания принимается среднее арифметическое значение результатов параллельных измерений Y_{cp} . Точечную оценку дисперсии можно вычислить по формуле (6.10).

Если число параллельных измерений мало ($m < 15$), то оценку стандартного отклонения лучше производить по размаху R_m ($R_m = Y_{\max} - Y_{\min}$).

$$S = R_m / d_m, \quad (6.11)$$

где d_m – выбирается из таблицы П.20.2 (приложение 20).

Если ($m > 15$), то

$$S \cdot (1-q) < \sigma < S \cdot (1+q); \text{ или } (m-1) \cdot S^2 / \chi_1^2 < \sigma^2 < (m-1) \cdot S^2 / \chi_2^2, \quad (6.12)$$

где q – критерий, который определяется из табл. С.3 в зависимости от P и m ;

значение критерия Пирсона $\chi^2 / (m-1)$ определяется из табл. П.20.4 (приложение 20); S – определяется из (6.10).

РБ

Если в полученной группе результатов измерений одно-два резко отличаются от остальных, следует проверить, не являются ли они грубыми погрешностями и их следует исключить. Грубые погрешности возникают при случайном резком изменении условий измерения.

Для решения этой задачи в имеющихся результатах измерения выделяются наибольшие (наименьшие) значения показателя Y_m . Сначала вычисляются для всей совокупности результатов измерения значения Y_{cp} и S согласно моделям 6.8 и 6.10. Затем определяется наблюдаемое значение критерия v .

$$v_n = |Y_{cp} - Y_m| / S. \quad (6.13)$$

Задавшись доверительной вероятностью P , определяем по таблице П.20.5 (приложение 20) критическое значение критерия v_k , которое зависит также от числа измерений m . Если $v_n \leq v_k$, то выделенное значение Y_m не является грубой ошибкой. Если это неравенство нарушается, т. е. $v_n > v_k$, то подозрительный результат Y_m следует исключить из дальнейшего рассмотрения. Если в выборке несколько «подозрительных» результатов, то данная процедура применяется поочередно к каждому в отдельности.

Пример 6.1. Результаты измерения выборки деталей, обработанных на бесцентровом шлифовальном станке, образуют следующий ряд отклонений от номинала (мкм): 26; 30; 25; 28; 40; 32; 26; 22; 28; 31. Требуется определить с доверительной вероятностью 0,95, является ли отклонение в 40 мкм грубой погрешностью.

Решение.

$$Y_{cp} = 288 / 10 = 28,8; \quad S^2 = 219,6 / 9 = 24,4;$$

$$v_n = |28,8 - 40| / \sqrt{24,4} = 2,267.$$

Согласно таблице П.20.5, $v_k = 2,294$. Так как $v_n < v_k$, то отклонение в 40 мкм не является грубой ошибкой.

Если число параллельных опытов очень велико ($m > 30$) и результаты измерения группируют по интервалам одинаковой длины, то оценку математического ожидания Y_{cp} и дисперсии S^2 следует проводить по следующим моделям:

$$Y_{cp} = Y_0 + \frac{h}{m} \cdot \sum_{i=1}^k \left(i - \frac{k+1}{2} \right) \cdot m_i; \quad (6.14)$$
$$S^2 = \frac{h^2}{m-1} \cdot \sum_{i=1}^k \left(i - \frac{k+1}{2} \right)^2 \cdot m_i - \frac{m \cdot h^2}{m-1} \cdot (Y_0 - Y_{cp})^2.$$

Минимально необходимое количество параллельных опытов, необходимое для оценки отклика с заданной точностью Δ_0 , можно определить из выражения

$$m \geq t^2(P, m) \cdot S^2 / \Delta_0^2. \quad (6.15)$$

Если значение S заранее не известно, то проводится последовательный эксперимент. Сначала проводится серия m_1 параллельных опытов, позволяющая в первом приближении определить S^2 . Затем согласно (6.15) вычисляется значение m_2 . При этом критерий Стьюдента определяется в предположении, что $m = m_1$. При $m_2 \gg m_1$ после проведения $(m_2 - m_1)$ дополнительных опытов уточняется значение S^2 и, согласно (6.15) вычисляется m_3 . Если $m_3 < m_2$ или незначительно больше, то испытание заканчивается.

Таблица 6.1
Распределение частот и результаты вычислений для примера 6.2

i	T_i	m_i	j_i	$m_i \cdot j_i$	j_i^2	$m_i \cdot j_i^2$
1	48	3	-4	-12	16	48
2	50	17	-3	-51	9	153
3	52	75	-2	-150	4	300
4	54	194	-1	-194	1	194
5	56	228	0	0	0	0
6	58	155	1	155	1	155
7	60	91	2	182	4	364
8	62	23	3	69	9	207
9	64	5	4	20	16	80
Итого:		791	0	19		1501

где $j_i = i - \frac{9+1}{2}$.

Пример 6.2. Требуется оценить математическое ожидание T_{cp} и среднее квадратическое отклонение S стойкости резцов с пластинками твердого сплава марки T15K6 при обработке деталей из стали 18ХГТ с глубиной резания $a=2$ мм, подачей $s=0,23$ мм/об и скоростью резания $V=80$ м/мин. Испытывалась партия резцов из 791 шт.

Решение. Результаты испытания и вычислений приведены в таблице 6.1. Диапазон рассеивания отклика разбит на 9 интервалов с шагом $h=2$ мин. Во втором столбце таблицы 6.1 приведена стойкость резцов T_i , соответствующая середине интервала.

В данном случае середине среднего интервала соответствует отклик $T_0=56$ мин. По формулам (6.14)

$$T_{cp} = T_0 + \frac{h}{m} \cdot \sum_{i=1}^k \left(i - \frac{k+1}{2} \right) \cdot m_i = 56 + \frac{2}{791} \cdot 19 = 56,05;$$

$$S^2 = \frac{2^2}{791-1} \cdot (1501 - 791 \cdot 0,05^2) = 7,6; \quad S = 2,76.$$

Пример 6.3. В результате испытания партии из 30 сверл получены следующие характеристики их стойкости T : среднее значение $T = 18,76$ мин, наблюдаемая дисперсия $S^2 = 5,63$. Требуется найти доверительные интервалы для математического ожидания $M(T)$ и среднего квадратического отклонения σ с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

Решение. По заданной P при данном числе измерений из табл. П.20.1 находим значение критерия Стьюдента $t = 2,045$, а из табл. П.20.3 и П.20.4, соответственно, значения критериев $q = 0,28$; $\chi_1^2 / (m-1) = 1,577$; $\chi_2^2 / (m-1) = 0,533$. По формуле (6.9) определяем ошибку в оценке математического ожидания ε :

$$\varepsilon = \pm t(P, m) \cdot \sqrt{m} = \pm 2,045 \cdot 5,63 / \sqrt{30} = \pm 0,855.$$

Тогда $M(T) = 18,76 \pm 0,885$ мин.

По формуле (6.12) доверительный интервал для σ согласно критерию q будет:

$$\sqrt{5,63} \cdot (1 - 0,28) < \sigma < \sqrt{5,63} \cdot (1 + 0,28) \quad \text{или} \quad 1,71 < \sigma < 3,04;$$

а согласно критерию Пирсона (формула 6.12):

$$5,63 / 1,577 < \sigma^2 < 5,63 / 0,533 \quad \text{или} \quad 1,89 < \sigma < 3,25.$$

Критерий Пирсона дает такой же доверительный интервал для σ , что и критерий q , но незначительно смещенный вверх.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Что принимается за точечную оценку неслучайного показателя по результатам его измерения?
2. От чего зависит точность точечной оценки неслучайного показателя?
3. Назовите числовые характеристики показателя, который является случайной величиной.
4. Как найти доверительный интервал оценки математического ожидания?
5. При помощи каких критериев оценивается доверительный интервал дисперсии случайного показателя?
6. Как выделить «грубую» погрешность измерения?

РБ

6.1.2.3. Статистическая проверка гипотез

Основные определения. В процессе исследования технологических процессов часто возникает необходимость на основании ограниченных выборок результатов измерений получить информацию о фактическом соотношении между их показателями. Для этого высказываются и проверяются *статистические гипотезы*, например, о равенстве (или неравенстве) математических ожиданий или дисперсий, о стабильности процесса и т. д.

Основная проверяемая гипотеза (нулевая гипотеза) обычно обозначается H_0 . Одновременно формулируется альтернативная или конкурирующая гипотеза H_1 . Например, если проверяется равенство математического ожидания генеральной совокупности некоторому значению μ_0 , нулевая гипотеза $H_0 - M(Y) = \mu_0$, а альтернативная гипотеза $H_1 - M(Y) \neq \mu_0$.

Статистические гипотезы проверяются путем сравнения наблюдаемого и критического значений соответствующих статистических критериев (Стьюдента, Фишера, Кохрена и т. д.).

Принимая или отклоняя гипотезу H_0 , можно допустить ошибки двух видов. Ошибка первого рода состоит в том, что гипотеза H_0 отвергается, в то время как в действительности она верна, ошибка второго рода — гипотеза H_0 принимается, в то время как верна гипотеза H_1 .

Проверка гипотезы о равенстве средних значений. Пусть выборки наблюдений объемом m_1 и m_2 берутся из двух генеральных совокупностей с нормальным распределением, причем дисперсии генеральных совокупностей σ_1^2 и σ_2^2 равны. Необходимо проверить гипотезу H_0 о равенстве математических ожиданий $M(Y_1) = M(Y_2)$.

По данным выборок определяются оценки математических ожиданий Y_{1cp} и Y_{2cp} , а также дисперсий S_1^2 и S_2^2 . Объединенная оценка дисперсии генеральных совокупностей определяется согласно выражению

$$S^2 = [S_1^2 \cdot (m_1 - 1) + S_2^2 \cdot (m_2 - 1)] / (m_1 + m_2 - 1). \quad (6.15)$$

Для проверки нулевой гипотезы вычисляется наблюдаемое значение критерия Стьюдента

$$t_n = \frac{|Y_{1cp} - Y_{2cp}|}{S} \sqrt{\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}}. \quad (6.16)$$

Критическое значение критерия определяется по таблице С.1 для данной доверительной вероятности P и $m = m_1 + m_2$. При $t_n < t_k$ гипотеза принимается; если $t_n > t_k$, она отвергается.

Пример 6.4. В одинаковых условиях было обработано по 25 втулок развертками диаметром 6 и 10 мм. Результаты измерений показали, что средняя величина разбивки отверстий (разность диаметра развертки и диаметра отверстия) для разверток диаметром 6 мм составляет 10,9 мкм, а диаметром 10 мм – 9,8 мкм. Оценки дисперсий в обоих случаях соответственно $S_1^2 = 3,8$ мкм²; $S_2^2 = 4,76$ мкм². Необходимо установить, влияет ли диаметр развертки на разбивку отверстия.

Решение. Согласно (6.15)

$$S^2 = \frac{3,8 \cdot 24 + 4,76 \cdot 24}{49} = 4,19;$$

согласно (6.16)

$$t_n = \frac{10,9 - 9,8}{\sqrt{4,19}} \sqrt{\frac{25 \cdot 25}{25 + 25}} = 1,9.$$

По таблице П.20.1 при $P=0,95$ и $m=50$ находим $t_k = 2,01$. Поскольку $t_n < t_k$ ($1,9 < 2,01$), можно считать, что изменение диаметра развертки в пределах от 6 до 10 мм не оказывает существенного влияния на величину разбивки развернутого отверстия.

Проверка гипотезы о равенстве дисперсий. При обработке экспериментальных данных часто требуется выяснить вопрос об однородности выборочных дисперсий, т. е. их равенстве дисперсии генеральной совокупности.

Пусть для двух независимых выборок из нормальной генеральной совокупности с объемами m_1 и m_2 вычислены согласно (6.10) или (6.11) оценки S_1^2 и S_2^2 . Требуется проверить нулевую гипотезу (H_0) $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ относительно альтернативной гипотезы (H_1) $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$. Проверка проводится при помощи критерия Фишера F .

Наблюдаемое значение критерия

$$F_n = S_1^2 / S_2^2 \quad (S_1^2 > S_2^2) \quad (6.17)$$

сравнивается с критическим F_k , которое определяется из табл. С.6 для выбранных доверительной вероятности и m_1 и m_2 . Если $F_n < F_k$, то выборочные данные не противоречат нулевой гипотезе.

При анализе выборочных данных могут выдвигаться гипотезы об однородности дисперсий в нескольких выборках. В этом случае можно использовать критерий Кохрена. Наблюдаемое значение критерия G_n определяется по формуле

$$G_n = S_{i, \max}^2 / \sum_{i=1}^n S_i^2, \quad (6.18)$$

где $S_{i, \max}^2$ — максимальная оценка дисперсии среди n сравниваемых дисперсий (все n выборок имеют одинаковый объем m).

Критическое значение критерия определяется из табл. С.8 в зависимости от принятых доверительной вероятности P , объема выборок m и их числа n .

Пример 6.5. Проверить гипотезу о равенстве дисперсий в примере 6.4.

Решение. По формуле (6.17) определяем наблюдаемое значение критерия Фишера $F_n = 4,76/3,8 = 1,25$. Из табл. П.20.6 для $P=0,95$, $m_1 = m_2 = 20$ находим $F_k = 2,16$, а для $m_1 = m_2 = 30$ — $F_k = 1,84$. Искомое значение F_k для $m_1 = m_2 = 25$ находим линейной интерполяцией:

$$F_k = (1,84 + 2,16)/2 = 2.$$

Так как $F_n < F_k$ ($1,25 < 2$), нулевая гипотеза о равенстве дисперсий принимается.

Пример 6.6. С четырех автоматов, настроенных на обработку одних и тех же деталей, взято по одной текущей выборке объемом $m = 10$. Оценки дисперсий их размеров имели следующие значения: $S_1^2 = 106$ мкм²; $S_2^2 = 294$ мкм²; $S_3^2 = 216$ мкм²; $S_4^2 = 410$ мкм². Требуется определить, одинакова ли точность автоматов, т. е. можно ли принять гипотезу об однородности дисперсий.

Решение. Согласно (6.18)

$$G_n = \frac{410}{106 + 294 + 216 + 410} = 0,3996$$

По табл. П.20.8 для $P=0,95$, $m=10$ и $n=4$ находим $G_k = 0,502$. Поскольку $G_n < G_k$ ($0,3996 < 0,502$), то можно считать точность автоматов практически одинаковой.

Проверка случайности и независимости результатов измерений в выборке. До статистической обработки результатов измерения отклика необходимо убедиться в том, что они являются стохастически независимыми. Альтернативной гипотезой может быть предположение о наличии монотонного или циклического смещения (дрейфа) значения отклика, вызванного неконтролируемым фактором. Подобный случай может иметь место при анализе размеров деталей, обрабатываемых на настроенном станке, когда вследствие изнашивания инструмента или нагрева станка центр группирования размеров постепенно смещается при неизменной стандартной погрешности. Наиболее мощным критерием проверки нулевой гипотезы будет критерий последовательных разностей τ .

Наблюдаемое значение критерия τ

$$\tau_n = c^2 / S^2, \text{ где } c^2 = \frac{1}{2 \cdot (m-1)} \cdot \sum_{i=1}^{m-1} (Y_{i+1} - Y_i)^2 \quad (6.19)$$



Рис. 6.2. Пример временного ряда (изменение размеров деталей, обработанных на автомате)

m — объем выборки;
 i — порядковый номер измерения отклика в выборке; S^2 — оценка дисперсии, вычисляемая по формулам (6.10), (6.11) или (6.12).

Критическое значение τ_k определяется из табл. С.7 в зависимости от принятой доверительной вероятности P и объема выборки m . Если $\tau_n < \tau_k$, то гипотеза о

независимости и случайности измерений в выборке отвергается.

Пример 6.7. По результатам измерения деталей, обработанных на токарно-револьверном автомате (см. рис. 6.2), необходимо проверить наличие или отсутствие дрейфа размеров. Объем выборки $m=40$.

Решение.

$$Y_{cp} = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{40} Y_i = 45 \text{ мкм}, \quad S^2 = \frac{1}{39} \sum_{i=1}^{40} (Y_i - Y_{cp})^2 = 267,95 \text{ мкм}^2,$$

$$c^2 = \frac{1}{2 \cdot 39} \sum_{i=1}^{39} (Y_i - Y_{cp})^2 = 114,74 \text{ мкм}^2, \quad \tau_n = 114,74 / 267,95 = 0,428$$

По табл. П.20.7 для $m=40$ и $P=0,95$ получаем $\tau_k=0,742$. Так как $\tau_n < \tau_k$ ($0,428 < 0,742$), гипотезу об отсутствии дрейфа следует отклонить. Следовательно, размер обрабатываемых деталей зависит от неучтенного фактора, вызвавшего циклическое смещение центра группирования размеров.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Дайте определение понятию «статистическая гипотеза».
2. Какая разница между нулевой и альтернативной гипотезами?
3. Что такое критерий статистической гипотезы?
4. Какие ошибки могут появиться, если принять или отвергнуть нулевую гипотезу?
5. При помощи какого критерия проверяется гипотеза о равенстве средних значений?
6. От чего зависит значение наблюдаемого критерия Стьюдента?
7. От чего зависит значение критического критерия Стьюдента?
8. По каким критериям проверяется гипотеза об однородности выборочных дисперсий?
9. Как определяется наблюдаемое значение критерия Фишера?
10. Как определяется критическое значение критерия Фишера?
11. Как определяется наблюдаемое значение критерия Кохрена?
12. Как определяется критическое значение критерия Кохрена?
13. Когда принимается гипотеза о равенстве средних значений?
14. Когда принимается гипотеза о равенстве дисперсий?
15. Когда принимается гипотеза об однородности дисперсий?
16. Как проверить гипотезу о случайности и независимости результатов измерений в выборке?

6.1.2.4. Синтез однофакторной модели, линейной по параметрам

ИБ 1

Задача синтеза – определить конфигурацию и параметры математической модели. Для решения этой задачи только на основании экспериментальных данных пока еще нет формализованных методов. Если нет теоретических соображений о конфигурации однофакторной математической модели, то ее обычно представляют в виде степенного полинома

$$Y = \sum_{i=0}^n b_i \cdot X^i = b_0 + b_1 \cdot X + b_2 \cdot X^2 + \dots + b_n \cdot X^n, \quad (6.20)$$

параметры которого (b_i) входят в модель линейно. В данном случае необходимо оценить необходимое с точки зрения точности моделирования значение степени полинома (n) и значения параметров b_i .

Если значение n задано, то параметры b_i определяются **методом наименьших квадратов** – путем минимизации суммы квадратов отклонений, измеренных (и оцененных) значений отклика Y_{cp} и вычисленных с помощью модели, то есть путем минимизации функционала

$$S^2 = \sum_{j=1}^N (Y_{cp} - \sum_{i=0}^n b_i X_j^i)^2, \quad (6.21)$$

где j – номер уровня фактора X_j ; N – число уровней фактора X . Рассматривая b_i как переменные, приравниваем нулю частные производные от S по b_i , откуда

получаем систему уравнений для вычисления искомых значений параметров модели.

$$b_0 N + b_1 \sum X_j + b_2 \sum X_j^2 + \dots + b_n \sum X_j^n = \sum Y_{cj}; \quad (6.22)$$

$$b_0 \sum X_j + b_1 \sum X_j^2 + b_2 \sum X_j^3 + \dots + b_n \sum X_j^{n+1} = \sum Y_{cj} X_j;$$

$$b_0 \sum X_j^2 + b_1 \sum X_j^3 + b_2 \sum X_j^4 + \dots + b_n \sum X_j^{n+2} = \sum Y_{cj} X_j^2;$$

.....

$$b_0 \sum X_j^N + b_1 \sum X_j^{N+1} + b_2 \sum X_j^{N+2} + \dots + b_n \sum X_j^{N+n} = \sum Y_{cj} X_j^N;$$

где суммирование производится по всем N сериям опытов. Решение этой системы, обычно называемой системой нормальных уравнений, можно проводить любым известным способом.

Чтобы определить правильность выбора значения степени полинома, необходимо оценить адекватность модели результатам эксперимента. Это осуществляется сравнением дисперсии воспроизводимости и остаточной дисперсии.

Дисперсия воспроизводимости S_B^2 оценивает рассеивание результатов опытов, проведенных в одинаковых условиях (при одинаковых значениях фактора X). Если на нескольких (H) уровнях фактора проведено по m параллельных опытов, то дисперсия воспроизводимости вычисляется по формуле:

$$S_B^2 = \frac{1}{H(m-1)} \cdot \sum_{j=1}^H \sum_{q=1}^m (Y_{cj} - Y_{jq})^2, \quad (6.23)$$

где Y_{cj} – среднее значение отклика при j -ом уровне фактора X ;

Y_{jq} – q -ое значение отклика при j -ом уровне фактора X ; $1 \leq H \leq N$.

Остаточная дисперсия S_o^2 характеризует отклонения измеренных в эксперименте значений Y_{cj} от вычисленных при помощи модели Y_j . Она вычисляется по следующей формуле:

$$S_o^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{j=1}^N (Y_{cj} - Y_j)^2. \quad (6.24)$$

Модель считается адекватной результатам эксперимента, если S_o меньше или равна S_B . Но если даже $S_o > S_B$, то это превышение может быть статистически незначимым. Статистическая проверка этой гипотезы (о равенстве дисперсий) осуществляется при помощи критерия Фишера (F). Наблюдаемое значение критерия определяется по формуле

$$F_H = (S_o^2 / S_B^2) \quad (6.25)$$

и сравнивается с критическим F_k , которое выбирается из таблицы 6.4 в зависимости от доверительной вероятности P и числа измерений m_1 и m_2 , где $m_1 = N$; $m_2 = H \cdot m$; H – число уровней фактора, на которых проводилось по m параллельных опыта.

Таким образом, для определения оптимальной степени полинома следует повторять обработку результатов эксперимента (при последовательном увеличении степени полинома n) до тех пор, пока полученная модель не станет адек-

ватной. Обработку лучше всего проводить с помощью стандартных программ на ЭВМ.

Можно производить расчёт параметров модели и при отсутствии повторных опытов (т.е. при наличии только одного опыта в каждой точке факторного пространства, когда дисперсия воспроизводимости неизвестна). Для оценки адекватности предлагается коэффициент R , характеризующий степень отклонения координат расчётных от координат фактических точек факторного пространства:

$$R = 1 - \left[\sqrt{\sum_{i=1}^m (Y_{\text{э}i} - Y_{\text{р}i})^2} \right] / (m \cdot Y_{\text{ср}}), \quad (6.26)$$

где $Y_{\text{э}i}$ – экспериментальное значение (i – ый отклик); $Y_{\text{р}i}$ – расчётное значение (по модели); $Y_{\text{ср}}$ – среднее значение (по модели); m – число опытов.

Адекватность модели характеризуется степенью близости коэффициента R к единице. R является грубой оценкой адекватности и для более точного определения параметров модели, следует провести серию повторных опытов, хотя бы в одной точке факторного пространства, определив тем самым дисперсию воспроизводимости.

КБ 1

Ответьте на следующие вопросы:

1. В чем суть метода наименьших квадратов?
2. Что характеризует дисперсия воспроизводимости?
3. Что характеризует остаточная дисперсия?
4. Когда модель считается адекватной результатам эксперимента?
5. Чему равно наблюдаемое значение критерия Фишера?
6. От чего зависит критическое значение критерия Фишера?
7. Как определить адекватность модели, если нет возможности оценить дисперсию воспроизводимости?

РБ 1

Существенно сокращается объем вычислений при определении параметров моделей, имеющих вид полинома, если уровни факторов будут предварительно нормализованы, так чтобы они принимали только целочисленные значения. Нормализация может быть симметричной и несимметричной. В первом случае расчетная формула для нормализации имеет вид:

$$x_u = (X_u - X_{\text{ср}}) / \Delta X, \quad (6.27)$$

где x_u – нормализованный u -ый уровень фактора, X_u – натуральный u -ый уровень фактора, ΔX – постоянный шаг изменения натурального значения фактора, $X_{\text{ср}}$ – среднее значение фактора, которое определяется по формуле

$$X_{cp} = (\sum_{u=1}^N X_u) / N, \quad (6.28)$$

где N – число уровней фактора. Чтобы нормализованный фактор принимал только целочисленные значения (например, -2, -1, 0, 1, 2), число уровней должно быть нечетным.

При несимметричной нормализации

$$x_u = 1 + (X_u - X_{\min}) / \Delta X. \quad (6.29)$$

Тогда для оценки параметров моделей, имеющих вид нормализованных полиномов, применяются следующие формулы:

1) для полинома первого порядка

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x;$$

$$a_0 = (\sum_{u=1}^N Y_{u.cp}) / N; \quad a_1 = (\sum_{u=1}^N x_u \cdot Y_{u.cp}) / (\sum_{u=1}^N x_u^2); \quad (6.30)$$

где $Y_{u.cp} = (\sum_{i=1}^m Y_{u,i}) / m; \quad x_u = 0; \pm 1; \pm 2 \dots \pm (N-1) / 2;$

2) для полинома второго порядка

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2;$$

$$a_0 = \frac{1}{D_2} \cdot [(\sum Y_{u.cp} \cdot \sum x_u^4) - (\sum (x_u^2 \cdot Y_{u.cp}) \cdot \sum x_u^2)];$$

$$a_1 = (\sum x_u \cdot Y_{u.cp}) / \sum x_u^2; \quad (6.31)$$

$$a_2 = \frac{1}{D_2} \cdot [(N \cdot \sum x_u^2 \cdot Y_{u.cp}) - (\sum x_u^2) \cdot (\sum Y_{u.cp})];$$

$$D_2 = \frac{N^2(N^2-1)(N^2-4)}{180};$$

3) для полинома третьего порядка

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3;$$

$$a_1 = \frac{1}{D_3} \cdot [(\sum x_u^6 \cdot \sum (x_u \cdot Y_{u.cp})) - (\sum (x_u^3 \cdot Y_{u.cp}) \cdot \sum x_u^4)];$$

$$a_3 = \frac{1}{D_3} \cdot [(\sum x_u^2 \cdot \sum x_u^3 \cdot Y_{u.cp}) - (\sum x_u^4 \cdot \sum x_u^4 \cdot Y_{u.cp})]; \quad (6.32)$$

$$D_3 = [N^2 \cdot (N^2-1) \cdot (N^2-4) \cdot (N^2-9) / 33600]$$

а значения a_0 и a_2 можно определить по формулам 6.31.

Значения некоторых величин, подставляемых в формулы 6.30...6.32, можно определять из таблицы 6.5 в зависимости от числа экспериментальных точек:

для линейной модели

$$b_0 = a_0 - a_1 \cdot X_{cp} / \Delta X; \quad b_1 = a_1 / \Delta X; \quad (6.33)$$

для модели второго порядка

$$b_0 = a_0 - a_1 \cdot X_{cp} / \Delta X + a_2 \cdot (X_{cp} / \Delta X)^2; \\ b_1 = (a_1 - 2 \cdot a_2 \cdot X_{cp} / \Delta X) / \Delta X; \quad b_2 = a_2 / (\Delta X)^2. \quad (6.34)$$

Таблица 6.2

Значения параметров D и стандартных сумм

N	$\sum x_u^2$	$\sum x_u^4$	$\sum x_u^6$	D_2	D_3
5	10	34	130	70	144
7	28	196	1588	588	6048
9	60	708	9780	2772	85539
11	110	1958	41030	9438	697536
13	182	4550	134342	26026	3747744
15	280	9352	369670	61880	16039296

для модели третьего порядка

$$b_0 = a_0 - a_1 \cdot X_{cp} / \Delta X + a_2 \cdot (X_{cp} / \Delta X)^2 - a_3 \cdot (X_{cp} / \Delta X)^3; \\ b_1 = (a_1 - 2 \cdot a_2 \cdot X_{cp} / \Delta X + 3 \cdot a_3 \cdot (X_{cp} / \Delta X)^2) / \Delta X; \quad (6.35) \\ b_2 = (a_2 - 3 \cdot a_3 \cdot X_{cp} / \Delta X) / (\Delta X)^2; \quad b_3 = a_3 / (\Delta X)^3.$$

Представление моделей в виде обычных многочленов имеет следующие недостатки: а) с повышением степени многочлена увеличивается погрешность оценки его параметров; б) при необходимости повысить степень многочлена (например, при уточнении модели) расчет значений всех параметров нового многочлена приходится начинать сначала.

Этих недостатков лишена модель в виде суммы ортогональных полиномов Чебышева[5].

Пример 6.8. Для оптимизации режимов чистового точения чугуновых деталей по размерной стойкости инструмента определить зависимость удельной интенсивности изнашивания $\omega = h / l$ резцов с режущей пластиной из ВК8 от скорости резания v , где (h (мкм) — радиальный износ задней грани; l (м) — путь резания; период приработки инструмента не учитывается).

Решение. Опыты проводились при глубине резания $a = 0,5$ мм и подаче $s=0,1$ мм/об. Предполагалось, что модель имеет вид полинома, степень и параметры которого следует определить. В таблице 6. 6. приведены результаты эксперимента.

Таблица 6.3

Результаты эксперимента

u	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
v	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210
x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ω	3,52	2,72	1,94	1,14	0,51	0,3	0,5	1,45	2,5	4	6,5

Чтобы получить возможность проверить адекватности модели при скоростях 30 90 и 170 м/мин, проводилось по 5 испытаний. Наблюдаемые дисперсии в каждой из этих серий имели соответственно значения $S_1^2 = 0,02$; $S_2^2 = 0,012$; $S_3^2 = 0,025$. Наблюдаемое значение критерия Кохрена в данном случае будет:

$$G_H = 0,025 / (0,02 + 0,012 + 0,025) = 0,43.$$

Критическое значение критерия Кохрена при доверительной вероятности $P = 0,95$, согласно приложению П.20, равно 0,707. Так как $G_H < G_K$, то различие между дисперсиями незначимо и можно считать, что дисперсия воспроизводимости

$$S_e^2 = (0,02 + 0,012 + 0,025) / 3 = 0,019.$$

Анализ результатов эксперимента показывает, что моделью процесса изнашивания инструмента может быть полином не ниже второго порядка.

Из таблицы 6.4 определяются значения стандартных сумм и параметров D :

$$N = 11; \sum x_u^2 = 110; \sum x_u^4 = 1958; \sum x_u^6 = 41030; D_2 = 9438; D_3 = 697536.$$

В соответствии с формулами 6.30 определяются значения сумм произведений. Для удобства расчеты проводятся в таблице 6.6. Предположим, что результаты экспериментов можно отразить полиномом второй степени. Тогда в соответствии с моделями 6.30 можно записать

$$a_0 = \frac{1}{D_2} \cdot [(\sum \omega \cdot \sum x_u^4) - (\sum (x_u^2 \cdot \omega) \cdot \sum x_u^2)] = \frac{1}{9438} \cdot [25,08 \cdot 1958 - 409,71 \cdot 110] = 0,427;$$

$$a_1 = (\sum x_u \cdot \omega) / \sum x_u^2 = 22,31 / 110 = 0,203;$$

$$a_2 = \frac{1}{D_2} \cdot [(N \cdot \sum x_u^2 \cdot \omega) - (\sum x_u^2) \cdot (\sum \omega)] = \frac{1}{9438} \cdot [11 \cdot 409,71 - 110 \cdot 25,08] = 0,1852.$$

И модель второго порядка будет иметь вид

$$\omega_p = 0,427 + 0,203 \cdot x + 0,1852 \cdot x^2.$$

Для проверки адекватности этой модели определим остаточную дисперсию согласно формуле 6.24

$$S_o^2 = \sum_{j=1}^N (\omega - \omega_p)^2 / (N - 1).$$

Таблица 6. 4

Вычисление параметров полинома

x	ω	$x \cdot \omega$	$x^2 \cdot \omega$	$x^3 \cdot \omega$	$x^4 \cdot \omega$	$(\omega - \omega_p)^2$
-5	3,52	-5 · 3,52	25 · 3,52	-125 · 3,52	625 · 3,52	0,2725
-4	2,72	-4 · 2,72	16 · 2,72	-64 · 2,72	256 · 2,72	0,0201
-3	1,94	-3 · 1,94	9 · 1,94	-27 · 1,94	81 · 1,94	0,1894
-2	1,14	-2 · 1,14	4 · 1,14	-8 · 1,14	16 · 1,14	0,1430
-1	0,51	-1 · 0,51	1 · 0,51	-1 · 0,51	1 · 0,51	0,0102
0	0,30	0 · 0,30	0 · 0,30	0 · 0,30	0 · 0,30	0,0161
1	0,50	1 · 0,50	1 · 0,50	1 · 0,50	1 · 0,50	0,0994
2	1,45	2 · 1,45	4 · 1,45	8 · 1,45	16 · 1,45	0,0153
3	2,50	3 · 2,50	9 · 2,50	27 · 2,50	81 · 2,50	0,0411
4	4,00	4 · 4,00	16 · 4,00	64 · 4,00	256 · 4,00	0,0409
5	6,50	5 · 6,50	25 · 6,50	125 · 6,50	625 · 6,50	0,1832
итого	25,08	22,31	409,71	427,01	8384,91	1,0312



Рис. 6.3. Зависимость удельной интенсивности изнашивания от скорости резания (результаты эксперимента и построение модели)'

ном третьей степени. Тогда согласно формулам 6.31 и 6.30 $a_0 = 0,427$, $a_1 = 0,1137$, $a_2 = 0,1852$, $a_3 = 0,004714$.

Проверку адекватности нормализованной модели проводим по критерию Фишера. Остаточная дисперсия согласно формуле 6.24 будет равна $S_o = 0,0353$. Тогда наблюдаемое значение критерия Фишера будет $F_n = \frac{0,0353}{0,019} = 1,859$.

Ранее определенное критическое значение критерия Фишера F_k будет равное 2,65. Так как $F_n < F_k$ ($1,859 < 2,65$), то модель в виде полинома второй степени адекватна. Результаты эксперимента и расчета по полученным моделям показаны на рис. 6.3.

КБ 2

Ответьте на следующие вопросы:

1. Для чего проводят нормализацию фактора?
2. Назовите виды нормализации фактора.

6.1.2.5. Синтез однофакторной модели, нелинейной по параметрам ИБ

Из теоретических соображений или если в результате обработки данных эксперимента получен полином большой степени, лучше выбрать другую конфигурацию математической модели, в которую параметры будут входить нелинейно. В нелинейной по параметрам однофакторной модели могут быть использованы: дробнорациональные, иррациональные, показательные, логарифмические или тригонометрические функции, а также их комбинации.

Например:

$$Y = \frac{X}{a_0 + a_1 \cdot X^2}; \quad Y = b_0 \cdot X^{b_1}; \quad Y = b_0 \cdot X \cdot \exp(b_1 \cdot X^2); \quad Y = b_0 \cdot \ln[b_1 \cdot (1 + X)]$$

Предварительная гипотеза о конфигурации модели может быть высказана на основе сравнения графика, построенного по данным эксперимента, с типовыми графиками (см. при-

Для удобства квадраты разностей вычисляются в таблице 6.4. Тогда $S_o^2 = 0,10312$.

Наблюдаемое значение критерия Фишера согласно формуле 6.25 будет равно $F_n = S_o^2 / S_b^2 = 0,10312 / 0,019 = 5,427$. Согласно таблице С.6 при доверительной вероятности 0,95, $m_1 = N = 11$, $m_2 = H \cdot m = 3 \cdot 5 = 15$ критическое значение критерия Фишера F_k будет равное 2,65. Так как $F_n > F_k$ ($5,427 > 2,65$), то модель в виде полинома второй степени неадекватна.

Предположим, что моделью процесса будет поли-

ложение 21). Следует выбирать несколько конкурирующих моделей, начиная с простейших с двумя параметрами. Для предварительного определения параметров конкурирующих моделей следует применять метод спрямления, то есть выравнивание экспериментального графика путем соответствующей замены координат.

Например, если предполагается, что модель имеет вид

$$Y = b_0 \cdot X \cdot \exp(-b_1 \cdot X),$$

то после деления правой и левой ее части на X и логарифмирования получаем

$$\ln(Y/X) = \ln b_0 - b_1 \cdot X, \text{ или } Z = c_0 + c_1 \cdot U,$$

где $Z = \ln(Y/X)$, $c_0 = \ln b_0$, $c_1 = b_1$ и $U = X$.

Если предположение верно, то в координатах U и Z экспериментальные точки будут расположены близко к прямой линии. Методом наименьших квадратов или лучше графическим (приближенным) способом производится предварительная оценка параметров c_0 и c_1 . Затем определяются приближенные значения параметров исходной модели

$$b_1 = c_1; \quad b_0 = \exp(c_0).$$

Для окончательной уточненной оценки параметров модели лучше всего воспользоваться одним из методов многофакторного поиска оптимума, где функцией цели будет выражение (6.21). Для данного примера это

$$S_0^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{j=1}^N (Y_{cj} - b_0 \cdot X_j \exp(-b_1 \cdot X_j))^2,$$

где b_0 и b_1 – факторы, оптимальное значение которых определяется.

Уточнение параметров модели предлагается выполнять в соответствии со следующим алгоритмом. *Первый шаг*: формирование начальной области неопределенности. Для этого к полученным предварительно значениям b_0 и b_1 прибавляются и отнимаются величины e_0 и e_1 , которые составляют 20...30% от предварительных значений искомых параметров. *Второй шаг*: полученная область неопределенности ($b_{0min} \dots b_{0max}; b_{1min} \dots b_{1max}$) делится на четыре равные части (рис. 6.4). Таким образом, формируется девять узловых точек. Каждой i -ой точке соответствует определенное значение параметров b_{0i} и b_{1i} . *Третий шаг*: для всех девяти точек вычисляется остаточная дисперсия $(S_0^2)_i$ и из них выбирается точка с минимальным согласно критерию Фишера значением остаточной дисперсии (например, на рис. 6.4 это будет точка 6). *Четвертый шаг*: подобласть, окружающая точку с минимальной остаточной дисперсией делится на четыре равные части. В результате получаем новые девять узловых точек. Затем третий и четвертый шаги повторяются до тех пор, пока ребро очередной полученной области неопределенности не станет меньше наперед заданного числа (например, 0.000001).

Данный алгоритм лучше всего реализовать на компьютере с помощью соответствующей программы.

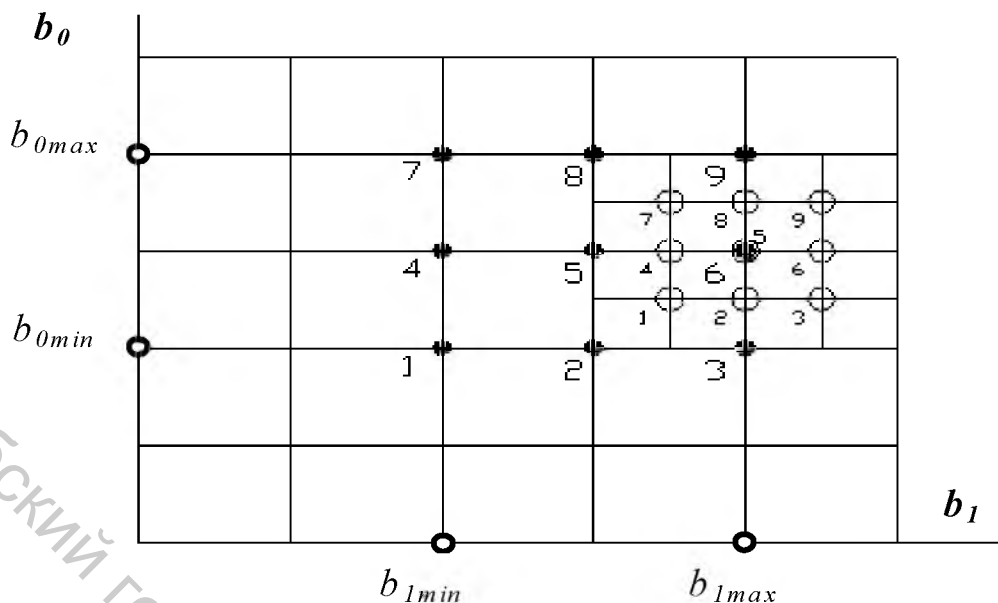


Рис. 6.4. Схема метода поиска оптимального сочетания значений b_0 b_1

Пример 6.9. Для оптимизации процесса магнитно-абразивного полирования определить модель зависимости удельной интенсивности съема металла q от рабочего зазора δ .

Решение. Остальные параметры процесса не изменяются. На каждом уровне фактора проводилось по 5 параллельных опытов. Результаты измерений (средние значения q и его стандартное отклонение S) приведены ниже и на рис. 6.5.

u	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
δ_u	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
q_u	2,60	3,35	3,75	4,00	4,10	4,05	3,95	3,75	3,55	3,35	3,10
S_u	0,10	0,15	0,12	0,15	0,08	0,17	0,10	0,20	0,07	0,12	0,10

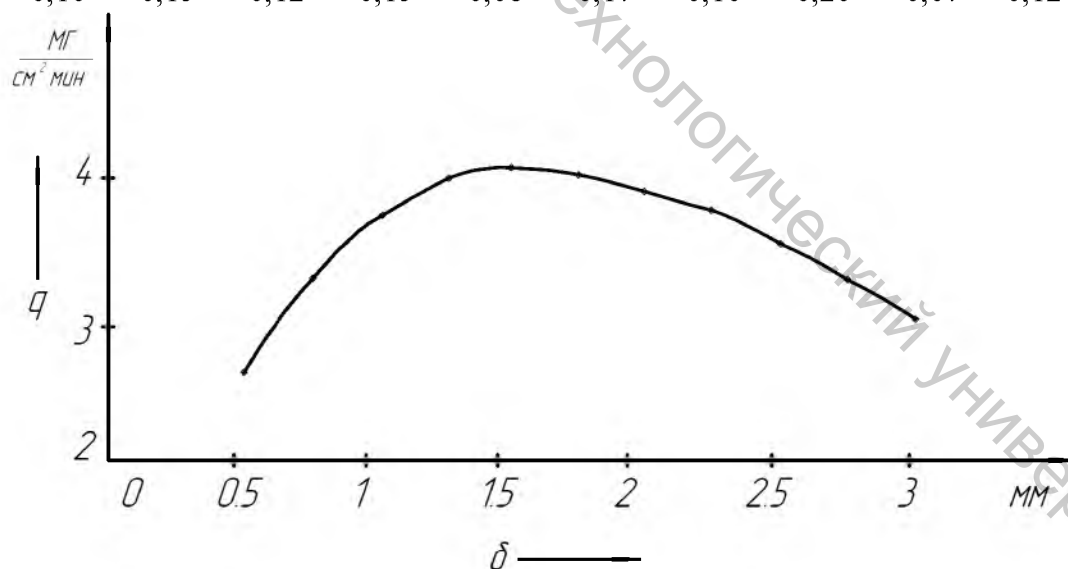


Рис. 6.5. Зависимость удельной интенсивности съема от рабочего зазора при магнитно-абразивном полировании (результаты эксперимента)

Данному графику могут соответствовать модели:

$$Y = b_0 \cdot X \cdot \exp(b_1 \cdot X) \text{ и } Y = X / (b_0 + b_1 \cdot X).$$

Спрямление конкурирующих моделей проводилось с помощью соответствующих подстановок; Z_1 соответствует первой модели, Z_2 – второй. Анализ данных графиков показывает, что в первом приближении экспериментальным данным соответствуют обе модели, так как экспериментальные точки после спрямления достаточно близко располагаются около прямой линии. Однако спрямленные графики не позволяют отдать предпочтение одной из этих моделей. Для выбора одной из двух конкурирующих моделей были определены их параметры, остаточная дисперсия и адекватность. Согласно рис. 6.6: для первой модели $a_0=1,98$; $a_1 = -0,655$; для второй модели $a_0=0,17$; $a_1 = 0,0875$.

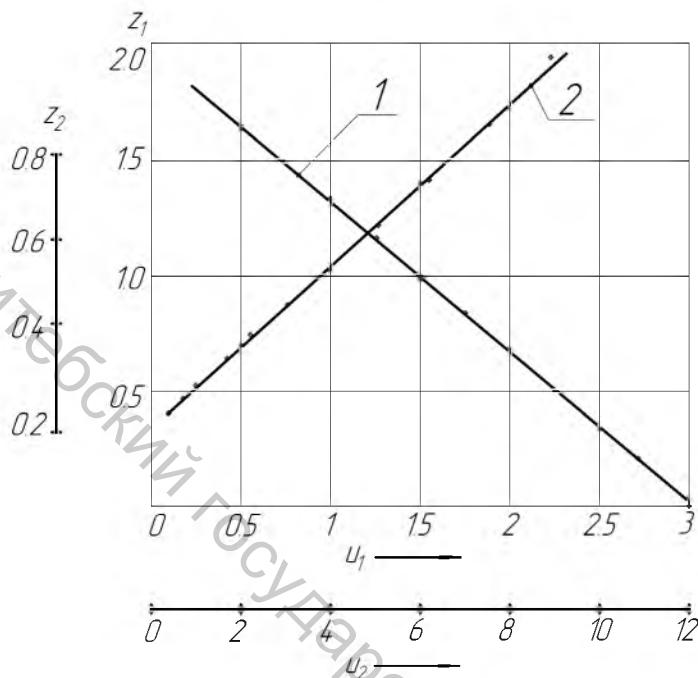


Рис. 6.6. Спрямление экспериментальных зависимостей (рис. 6.5)

Значения параметров b_i исходных моделей определялись по формулам, зависящим от их вида: для первой модели $b_1 = a_1 = 0,655$; $b_0 = \exp(a_0) = \exp(1,98) = 7,24$; и первая исходная модель имеет вид:

$$q_1 = 7,24 \cdot \delta \cdot \exp(-0,655 \cdot \delta);$$

а для второй модели $b_0 = a_0 = 0,17$;

$b_1 = a_1 = 0,0875$; и вторая исходная модель имеет вид:

$$q_2 = \frac{\delta}{0,17 + 0,0875 \cdot \delta^2}.$$

Остаточная дисперсия согласно формуле 6.24 для первой модели $S_{\text{в1}}^2 = 0,00124$; а для второй – $S_{\text{в2}}^2 = 0,00614$. Проверка однородности дисперсий проводилась с помощью критерия Кохрена. Наблюдаемое значение критерия Кохрена $G_{\text{н}} = 0,222$. Критическое значение критерия согласно таблице П.20.8 приложения 20 $G_{\text{к}} = (0,331 + 0,288) / 2 = 0,31$. Адекватность сравниваемых моделей проверяется с помощью критерия Фишера. Наблюдаемое значение критерия для первой модели $F_{\text{н1}} = 0,00124 / 0,0164 = 0,0756$; а для второй модели $F_{\text{н2}} = 0,00614 / 0,0164 = 0,374$. Табличное значение критерия Фишера для доверительной вероятности $P = 0,95$ и $m = m_1 = 55$ $F_{\text{н}} = (1,69 + 1,53) / 2 = 1,61$. Сравнение наблюдаемых и табличного значений критерия показывает, что обе модели адекватны результатам эксперимента. Поскольку остаточная дисперсия для первой модели меньше, то она и принимается для описания процесса магнитно-абразивного полирования.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Как предварительно определить конфигурацию однофакторной нелинейной по параметрам модели?
2. В чем суть метода спрямления?
3. Определите спрямляющую подстановку для модели $Y = b_0 \cdot X^{b_1}$.
4. Определите спрямляющую подстановку для модели $Y = b_0 \cdot \ln[b_1 \cdot (1 + X)]$.
5. Определите спрямляющую подстановку для модели $Y = b_0 \cdot X^{(1-b_1)} \cdot e^{-b_1 \cdot X}$.

6.1.2.6. Синтез многофакторной модели, линейной по параметрам ИБ

Предполагается, что в общем случае модель многофакторного полинома имеет вид

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot X_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^k b_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot X_i^2, \quad (6.36)$$

где i и j – номера факторов; k – количество факторов.

Обычно заранее порядок модели неизвестен. Поэтому в данном случае применяют последовательное планирование эксперимента. На первом этапе выдвигается гипотеза о линейности модели, то есть

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot X_i$$

и реализуется эксперимент, необходимый для определения ее параметров. Проверяется адекватность линейной модели и если она не адекватна, то выдвигается гипотеза о значимом влиянии взаимодействия факторов:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot X_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^k b_{ij} \cdot X_i \cdot X_j$$

Вычисляются параметры данной модели и производится проверка ее адекватности. Если и она неадекватна, то выполненные ранее опыты дополняются новой серией, позволяющей вычислить коэффициенты b_{ii} квадратичной модели.

С целью облегчения обработки результатов эксперимента факторы нормализуют. Эксперимент, в котором используются все возможные сочетания уровней факторов, называется **полным факторным экспериментом** (ПФЭ). План эксперимента и его результаты записываются в виде таблицы, которая называется **матрицей планирования** (МП). Если в МП не записываются результаты эксперимента, а только использованные уровни факторов, то она называется **факторным планом** (ФП).

Для определения параметров линейного многофакторного полинома достаточно поддерживать нормализованные факторы на двух уровнях: нижнем (-1) и верхнем (1). Пример ФП для такого случая приведен в таблице 4. Для большего числа факторов ФП получается достраиванием данного плана путем его повторения на нижнем и верхнем уровнях каждого следующего фактора.

Определение параметров нормализованной линейной модели производится с помощью следующих формул:

$$c_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u; \quad c_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} Y_u, \quad (6.37)$$

Факторные планы для двух и трех факторов

План для факторов		Номер серии опытов u	x_{1u}	x_{2u}	x_{3u}
3-х	2-х	1	-1	-1	-1
		2	1	-1	-1
		3	-1	1	-1
		4	1	1	-1
		5	-1	-1	1
		6	1	-1	1
		7	-1	1	1
		8	1	1	1

где c_i – параметры нормализованной модели; $i = 1, 2, \dots, k$ – номер фактора; N – число опытов в плане; u – номер опыта (серии опытов); x_{iu} – уровень нормализованного i -го фактора в u -ом опыте (серии параллельных опытов).

Таким образом, способ расчета параметров нормализованной модели очень прост: элементам столбца Y_u следует приписать знаки соответствующих элементов столбца x_i , алгебраически сложить их и поделить на N . Следовательно, параметры нормализованной модели определяются независимо друг от друга.

Для определения дисперсии воспроизводимости необходимо в H точках факторного пространства провести (в зависимости от требуемой точности) несколько (m) параллельных опытов. Тогда она вычисляется по формуле

$$S_B^2 = \frac{1}{H(m-1)} \sum_{u=1}^H \sum_{j=1}^m (Y_{uj} - Y_{cu})^2, \quad (6.38)$$

где Y_{uj} – значение отклика в j -ом опыте u -ой серии параллельных опытов; Y_{cu} – среднее значение отклика в u -ой серии.

Доверительный интервал Δc_i значений нормализованных параметров линейной модели определяется по формуле

$$\Delta c_i = t(P, mN) S_B / \sqrt{mN}, \quad (6.39)$$

где $t(P, mN)$ – критерий Стьюдента (см. таблицу С.1).

Параметр считается статистически значимым, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. Статистически незначимые параметры считаются равными нулю. Остаточная дисперсия определяется по одной из формул: если каждый опыт проводился только один раз –

$$S_0^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{u=1}^N (Y_u - f_u)^2; \quad (6.40)$$

если каждый опыт повторялся m раз –

$$S_0^2 = \frac{1}{N \cdot (m-1)} \sum_{u=1}^N \sum_{j=1}^m (Y_{uj} - f_u)^2, \quad (6.41)$$

где f_u и f_{uj} – значение отклика, вычисленное по модели в u -ой серии и j -ом опыте; Y_u и Y_{uj} – экспериментальные значения отклика при тех же уровнях факторов.

Таблица 6.6

Расширенная матрица планирования для трех факторов

u	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	Y _u
1	+	+	+	+	+	+	Y ₁
2	–	+	+	–	–	+	Y ₂
3	+	–	+	–	+	–	Y ₃
4	–	–	+	+	–	–	Y ₄
5	+	+	–	+	–	–	Y ₅
6	–	+	–	–	+	–	Y ₆
7	+	–	–	–	–	+	Y ₇
8	–	–	–	+	+	+	Y ₈

Адекватность линейной модели определяется при помощи критерия Фишера так же как для однофакторной модели, принимая

$$m_1 = N - k - 1, \text{ и } m_2 = m.$$

Так как число опытов ПФЭ больше числа параметров линейной модели, можно определить эффекты взаимодействия факторов, которые характеризуют влияние данного фактора в зависимости от уровней других. Для определения параметров моделей с парными взаимодействиями нужно построить расширенную матрицу планирования (для трехфакторного эксперимента такая матрица приведена в таблице 6.8). Знаки в столбцах взаимодействий получают путем перемножения единиц со знаками соответствующих сомножителей.

Вычисление параметров парных взаимодействий производится по формуле

$$c_{ij} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N (x_{ui} \cdot x_{uj} \cdot Y_u), \quad i \neq j, \quad (6.42)$$

где знаки произведения $x_{ui} \cdot x_{uj}$ находятся в соответствующих столбцах расширенной матрицы планирования. Таким образом, метод вычисления параметров модели с парными взаимодействиями принципиально аналогичен методу вычисления параметров линейной модели. Адекватность линейной модели с парными взаимодействиями также определяется с помощью критерия Фишера.

Чтобы получить модель второго порядка, к плану проведенных опытов, который называется "ядром" эксперимента, добавляется некоторое количество специальным образом расположенных точек. Центральным композиционным планом называется план, у которого несколько опытов ставится в центре плана и который строится последовательно. На рис. 6.7 показаны геометрические модели таких планов для двух и трех факторов, где "квадратные" точки – центр плана (основной уровень), зачерненные точки – ядро плана, а светлые – добавление, или "звездные" точки, на расстоянии "звездного плеча" L_p от центра

плана. Общее число опытов в центральном композиционном плане для k факторов определяется выражением

$$N = 2^k + 2k + n_0,$$

где n_0 – число параллельных опытов в центре плана; $2k$ – число звездных точек. Число уровней варьирования каждого фактора в данном случае равно 5:

$$-L_p; -1; 0; 1; L_p.$$

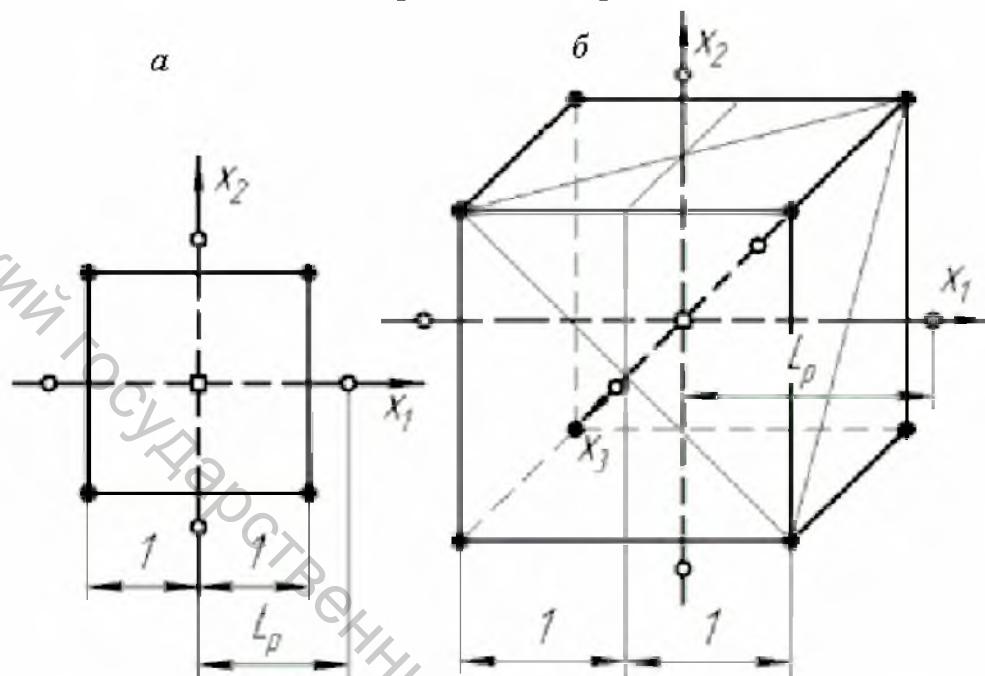


Рис. 6.7. Геометрические модели планов эксперимента для двух (а) и трех (б) факторов

Чтобы параметры квадратичной модели определялись независимо, необходимо, чтобы n_0 и L_p выбирались из таблицы 6.10, а вычисления проводились по формулам

Таблица 6.7

Значения L_p при заданных значениях n_0 и k

n_0	k			
	2	3	4	5
1	1	1,215	1,414	1,574
2	1,077	1,285	1,471	1,606
3	1,148	1,353	1,546	1,664
4	1,214	1,414	1,606	1,718
5	1,267	1,471	1,664	1,772
6	1,320	1,525	1,718	1,819

$$c_i = \sum_{u=1}^N x_{iu} Y_u / \sum_{u=1}^N x_{iu}^2; \quad c_{ij} = \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} Y_u / \sum_{u=1}^N (x_{iu} x_{ju})^2; \quad i \neq j; \quad (6.43)$$

$$c_{ii} = \sum_{u=1}^N z_{iu} Y_u / \sum_{u=1}^N z_{iu}^2; \quad z_{iu}^2 = x_{iu}^2 - \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2;$$

где

а последнее слагаемое данной формулы есть среднее значение x_{iu}^2 , которое при $k = 2; 3; 4; 5$ равно соответственно 0,667; 0,73; 0,80; 0,776 и обозначается x_{ci} :

$$c_o = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N Y_u - \sum_{i=1}^k c_{ii} x_{ci}. \quad (6.44)$$

Проверка адекватности квадратичной модели проводится также с помощью критерия Фишера. Чтобы перейти от нормализованной модели к натуральной, необходимо подставить значение нормализованного фактора

$$x_i = (X_i - X_{ci}) / \Delta X_i.$$

Кроме рассмотренных в зависимости от цели применяются другие композиционные и некомпозиционные планы, позволяющие повысить эффективность эксперимента.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Запишите линейную форму многофакторной модели, линейной по параметрам.
2. Запишите линейную форму многофакторной модели с парными взаимодействиями, линейной по параметрам.
3. Дайте определение понятию «полный факторный эксперимент».
4. Какая разница между факторным планом и матрицей планирования эксперимента?
5. Запишите факторный план для четырех факторов.
6. Когда определенный параметр многофакторной модели является статистически значимым?
7. Сколько нужно сделать дополнительных опытов, чтобы определить эффект парных взаимодействий факторов многофакторной модели?
8. Где располагаются «звездные точки»?

6.1.2.7. Синтез двухфакторной модели, нелинейной по параметрам

ИБ

Формализованных методов синтеза многофакторных моделей, нелинейных по параметрам, пока нет. Исключение составляет двухфакторная модель, синтез которой будет рассмотрен ниже.

Таблица 6.8

Комбинационный квадрат для 2-х факторов на 5-ти уровнях

	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
X_{21}	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}	Y_{51}
X_{22}	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Y_{42}	Y_{52}
X_{23}	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Y_{43}	Y_{53}
X_{24}	Y_{14}	Y_{24}	Y_{34}	Y_{44}	Y_{54}
X_{25}	Y_{15}	Y_{25}	Y_{35}	Y_{45}	Y_{55}

Для выяснения особенностей модели каждый фактор необходимо варьировать на достаточно большом количестве уровней. Так как конфигурация модели заранее неизвестна, то расстояние между уровнями факторов берется постоянным, а число уровней принимается одинаковым для обеих факторов. С увеличением числа уровней быстро растет трудоемкость эксперимента. Минимально необходимым считается 5 уровней. Результаты эксперимента следует заносить

в таблицу с двумя входами, которую называют комбинационным квадратом (табл. 6.8). Их обработка проводится следующим образом. Вначале строятся графики, определяются конфигурация и параметры частных однофакторных моделей

$$Y_1 = f(b_{0i}, b_{1i}, \dots, b_{ki}, X_1)$$

при постоянных значениях X_{2i} . Желательно выбирать модель с минимальным числом параметров. На втором этапе обработки результатов эксперимента строятся графики, определяется конфигурация и параметры частных моделей типа $b_i = q_i(X_2)$.

Окончательно, после подстановки этих моделей получаем:

$$Y = f\{q_1(X_2), q_2(X_2), \dots, q_k(X_2), X_1\}$$

Если при первичном анализе графиков частных моделей Y_i будет установлено что:

– графики параллельны, то полная двухфакторная модель имеет вид:

$$Y = f(X_1) + q(X_2);$$

– в исходной системе координат графики пересекаются, а в логарифмической системе координат $\{Z = \ln(Y); U = \ln(X)\}$ параллельны, то двухфакторная модель имеет вид:

$$Y = f(X_1) q(X_2).$$

Пример 6.10. Необходимо определить вид и параметры модели по результатам экспериментов, приведенных в комбинационном квадрате (табл. 6.9).

Таблица 6.9

Комбинационный квадрат для результатов экспериментов

Уровень фактора x_1	Уровень фактора x_2				
	1	2	3	4	5
1	1,00	1,43	1,67	1,82	1,92
2	1,25	2,00	2,50	2,86	3,12
3	1,36	2,30	3,00	3,53	3,94
4	1,43	2,50	3,33	4,00	4,55
5	1,47	2,62	3,56	4,35	5,00

Решение. Графики $f_i(x_i)$ показаны на рис. 6.6. Их вид соответствует следующей модели:

$$Y = x / (a_0 + a_1 \cdot x).$$

Применяя спрямляющую подстановку $Z = x_1 / Y$ и $U = x_1$ получаем графики, показанные на рис. 6.8-6.11. Поскольку все экспериментальные точки расположены близко к прямым, то модель выбрана правильно. Полученные частные модели имеют вид:

$$Y_1 = x_1 / (0,6 + 0,4 \cdot x_1); \quad Y_2 = x_1 / (0,6 + 0,2 \cdot x_1); \quad Y_3 = x_1 / (0,6 + 0,13 \cdot x_1);$$

$$Y_4 = x_1 / (0,6 + 0,1 \cdot x_1); \quad Y_5 = x_1 / (0,6 + 0,08 \cdot x_1),$$

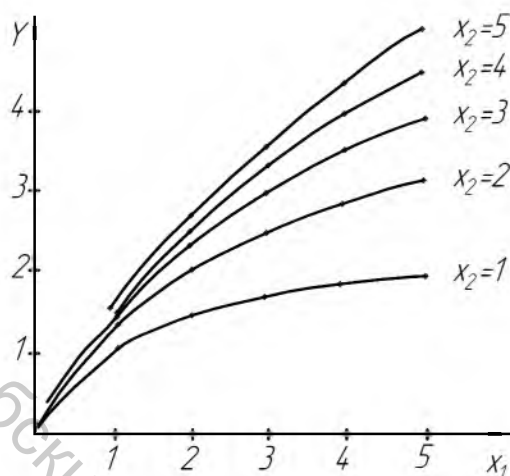


Рис. 6.8. Результаты двухфакторного эксперимента

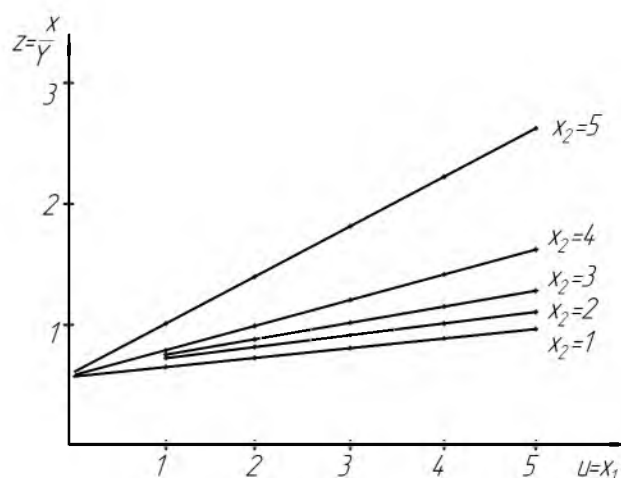


Рис. 6.9. Спряжение экспериментальной зависимости (рис. 6.6)

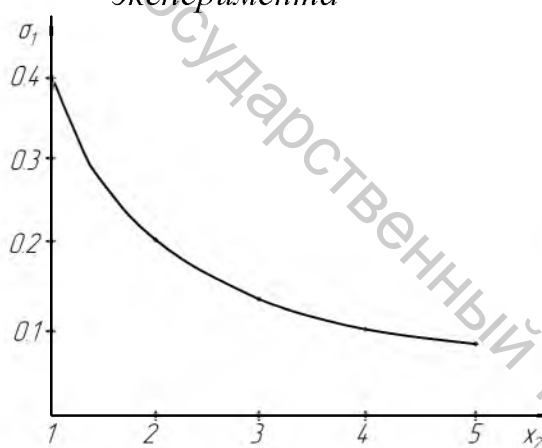


Рис. 6.10. Зависимость параметра модели от уровня фактора x_2

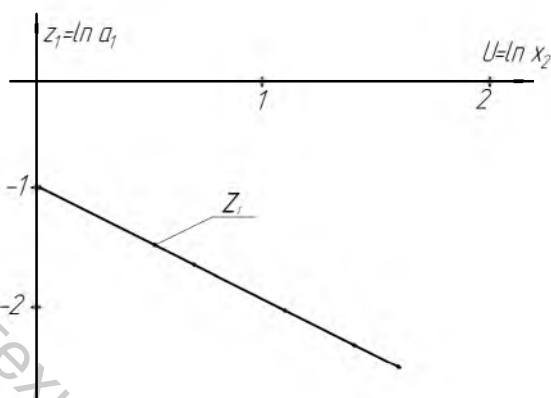


Рис. 6.11. Результаты спряжения экспериментальной зависимости (рис. 6.10)

где индексы при Y показывают, какому уровню фактора x_2 соответствует модель. Из анализа этих моделей следует, что $a_0 = \text{Const}$, а параметр a_1 зависит от уровня фактора x_2 (рис. 6.8). Эта зависимость ближе всего соответствует модели $a_1 = b_0 \cdot x_2^{b_1}$. Применяя соответствующую спрямляющую подстановку, получим график, показанный на рис. 6.9. Согласно этому графику, модель адекватна результатам эксперимента. Параметры этой модели: $b_0 = 0,4$; $b_1 = -1$. Тогда получаем окончательно

$$Y = \frac{5 \cdot x_1 \cdot x_2}{2 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2}.$$

6.1.2.8. Сокращение размерности факторного пространства

РБ

Размерность факторного пространства можно сократить, если модель с натуральными уровнями факторов, каждый из которых имеет определенную размерность, преобразовать в критериальную модель вида

$$Q_0 = q(Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_r),$$

где Q_i – безразмерный комплекс, или критерий подобия.

Критерием подобия называют произведение нескольких физических величин, возведенных в различные степени, составленное так, что оно приводится к произведению основных величин (масса, длина, время, температура) в нулевой степени. Например, при анализе механических колебаний может применяться следующий критерий:

$$Q = m \cdot x / (F \cdot t^2),$$

где m – масса, x – отклонение от точки равновесия, F – амплитуда внешней силы, t – время.

Из теории подобия известно, что *если отклик является функцией от k факторов, для описания которых используется h основных величин, то существует также функция (модель) от $(k - h)$ линейно независимых критериев подобия, составленных из этих факторов. Откликом в новой модели также будет критерий подобия Q_0 , содержащий в себе основной отклик Y .*

$$Q_0 = q(Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_r), \text{ где } r = k - h.$$

Линейная независимость критериев означает, что ни для одного из них невозможно образовать тождество.

В образовании критериев подобия могут участвовать не только факторы, но и фундаментальные константы (например, ускорение свободного падения).

При преобразовании исходной математической модели в критериальную форму необходимо учитывать все факторы, оказывающие существенное влияние на отклик. Одним из методов приведения модели к критериальной форме является **метод нулевых размерностей**. Сущность его заключается в следующем. Из исходной модели выбирается h факторов X_j (h – число основных физических величин в данной задаче). Эти факторы условно считаются новыми основными величинами, поэтому их нельзя выбирать произвольно. Предположим, в задаче используется четыре основных величины: масса M , длина L , время T и температура θ . Тогда размерность каждого фактора имеет вид:

$$[X_j] = [M]^{g_j} [L]^{v_j} [T]^{s_j} [\theta]^{e_j}.$$

При выборе четырех факторов в качестве новых основных величин должно соблюдаться условие

$$\begin{vmatrix} g_1 & v_1 & s_1 & e_1 \\ g_2 & v_2 & s_2 & e_2 \\ g_3 & v_3 & s_3 & e_3 \\ g_4 & v_4 & s_4 & e_4 \end{vmatrix} = 0$$

Новые основные величины позволяют преобразовать исходную модель к следующему виду (6.45)

$$\frac{Y}{X_1^{c_0} X_2^{b_0} X_3^{w_0} X_4^{u_0}} = f \left[\frac{X_5}{X_1^{c_5} X_2^{b_5} X_3^{w_5} X_4^{u_5}}, \dots, \frac{X_k}{X_1^{c_k} X_2^{b_k} X_3^{w_k} X_4^{u_k}} \right].$$

Значения показателей степени c , b , w и u находятся из условия, что каждый из входящих в критериальную модель комплексов является безразмерной величиной. Например,

$$Q_0 = \frac{Y}{X_1^{c_0} X_2^{b_0} X_3^{w_0} X_4^{u_0}}.$$

Величины, входящие в этот критерий, имеют следующие размерности:

$$[X_1]^{c_0} = [M]^{c_0 g_1} [L]^{c_0 v_1} [T]^{c_0 s_1} [\theta]^{c_0 e_1};$$

$$[X_2]^{b_0} = [M]^{b_0 g_2} [L]^{b_0 v_2} [T]^{b_0 s_2} [\theta]^{b_0 e_2};$$

$$[X_3]^{w_0} = [M]^{w_0 g_3} [L]^{w_0 v_3} [T]^{w_0 s_3} [\theta]^{w_0 e_3};$$

$$[X_4]^{u_0} = [M]^{u_0 g_4} [L]^{u_0 v_4} [T]^{u_0 s_4} [\theta]^{u_0 e_4};$$

$$[Y] = [M]^{g_0} [L]^{v_0} [T]^{s_0} [\theta]^{e_0}.$$

Отсюда следует, что для того, чтобы Q_0 был безразмерной величиной, необходимо соблюдение условий

$$g_0 = g_1 c_0 + g_2 b_0 + g_3 w_0 + g_4 u_0;$$

$$v_0 = v_1 c_0 + v_2 b_0 + v_3 w_0 + v_4 u_0;$$

$$s_0 = s_1 c_0 + s_2 b_0 + s_3 w_0 + s_4 u_0;$$

$$e_0 = e_1 c_0 + e_2 b_0 + e_3 w_0 + e_4 u_0.$$

При решении этой системы уравнений находятся показатели степени c_0 , b_0 , w_0 и u_0 . Аналогично определяются показатели степени при факторах в других критериях подобия. Полученные $(r + 1)$ линейно независимых критериев подобия можно путем умножения друг на друга легко преобразовать в $(r + 1)$ другие линейно независимые критерии.

Особенно просто критерии подобия находятся в том случае, когда имеется дифференциальное уравнение, описывающее поведение системы. Для получения критериев подобия в дифференциальном уравнении следует опустить знаки дифференцирования и поделить все члены уравнения на один из них. Получившиеся выражения, а также аргументы входящих в уравнение неоднородных функций являются критериями подобия. Например, поведение технологической системы токарного станка с фрикционным нелинейным виброгасителем описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$m \cdot \ddot{x} + F_1 \cdot \text{sign} \dot{x} + j \cdot \dot{x} + c \cdot x^3 = F \cdot \cos(\omega \cdot t),$$

где m — приведенная масса технологической системы; F_1 — сила сухого трения в виброгасителе; $\text{sign} \dot{x} = 1$ или -1 в зависимости от направления скорости относительного перемещения центра масс от положения равновесия; j — жесткость технологической системы при малых деформациях, когда нелинейностью можно пренебречь; x — отклонение центра масс от положения равновесия; c — коэффициент нелинейности; F — амплитуда отклонения силы резания от среднего значения F_0 ; ω — частота вынужденных колебаний; t — время.

Опустив знаки дифференцирования и функцию безразмерного комплекса $\omega \cdot t$, получим условное равенство

$$m \cdot \frac{x}{t^2} + F_1 + j \cdot x + c \cdot x^3 = F.$$

Поделив все члены этого равенства на его первый член, имеем следующие критерии:

$$\pi_0' = \frac{F_1 \cdot t^2}{m \cdot x}; \quad \pi_1' = \frac{j \cdot t^2}{m}; \quad \pi_2' = \frac{c \cdot x^2 \cdot t^2}{m}; \quad \pi_3' = \frac{F \cdot t^2}{m \cdot x}.$$

Вместо текущих значений координат x и времени t можно подставить некоторые их характерные значения: вместо x – амплитуду колебаний A , вместо t – период колебаний T ($T = 1 / \omega$). Тогда, учитывая, что $j / m = \omega_0^2$ (ω_0 – частота собственных колебаний), после несложных алгебраических преобразований получаем:

$$\pi_0 = \frac{F_1}{j \cdot A}; \quad \pi_1 = \frac{F}{F_1}; \quad \pi_2 = \frac{\omega}{\omega_0}; \quad \pi_3 = \frac{F_1^2 \cdot c}{j^3}.$$

Аналитическое исследование процесса работы нелинейного виброгасителя является сложной задачей. Экспериментальное исследование работы виброгасителя – определение оптимального сочетания его параметров, обеспечивающих наиболее эффективное гашение вибраций, легко провести, определив вид и параметры критериальной математической модели:

$$A \cdot \frac{j}{F_1} = \varphi \left(\frac{F}{F_1}, \frac{\omega}{\omega_0}, \frac{F_1^2 \cdot c}{j^3} \right) \quad \text{или} \quad A = \frac{F_1}{j} \varphi \left(\frac{F}{F_1}, \frac{\omega}{\omega_0}, \frac{F_1^2 \cdot c}{j^3} \right)$$

Вид функции φ и ее параметры будут зависеть от конструкции виброгасителя и ориентации его осей жесткости по отношению к направлению силы резания.

Пример 6.11. Необходимо получить эмпирическую формулу для расчета температуры в зоне круглого врезного шлифования.

Решение. Из теоретических и экспериментальных исследований выявлено, что процесс нагрева детали при шлифовании описывается математической моделью

$$T = f(Q, v, K_z, \alpha, K, s),$$

где T – установившаяся температура в зоне шлифования, К; Q – объемная производительность процесса шлифования, м³/с; K_z – коэффициент режущей способности шлифовального круга, Н с / м³; v – скорость вращения детали, м / с; α – коэффициент теплоотдачи, Вт / (м·К); K – коэффициент тепловой активности материала шлифуемой детали, Вт²·с / (м⁴·К); s – размерная характеристика шлифуемой детали, м².

Коэффициент режущей способности K_z характеризует состояние рабочей поверхности, материал, структуру и скорость вращения шлифовального круга. Он зависит также от материала и диаметра шлифуемой детали. Коэффициент режущей способности является технологической характеристикой процесса и вычисляется по формуле

$$K_z = F_z / Q,$$

где F_z – касательная составляющая силы шлифования. Коэффициент тепловой активности

$$K = \lambda \cdot c \cdot \rho,$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт / (м·К); c – удельная теплоемкость Дж / кг·К; ρ – плотность материала шлифуемой детали, кг/м³. Размерная характеристика детали вычисляется по формуле

$$s = l \cdot D,$$

где l и D — соответственно длина и диаметр шлифуемой детали.

Так как для описания шести факторов и отклика применяются четыре основные величины, то в качестве новых основных величин выберем четыре следующих фактора: v , K_z , α , и K :

$$[v] = [L] \cdot [T]^{-1}; \quad [\alpha] = [M] \cdot [T]^{-3} \cdot [\theta]^{-1}; \quad [K_z] = [M] \cdot [L]^{-2} \cdot [T]^{-1}; \\ [K] = [M]^2 \cdot [T]^{-5} \cdot [\theta]^{-2}.$$

Вычислим определитель

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & -2 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -3 & -1 \\ 2 & 0 & -5 & -2 \end{vmatrix} = -7 \neq 0.$$

Значит, новые факторы могут служить новыми единицами.

На основании модели (6.45) исходная критериальная модель может быть записана в форме

$$\frac{T}{v^{\alpha_0} \cdot K_z^{\beta_0} \cdot \alpha^{\gamma_0} \cdot K^{\eta_0}} = \varphi \left(\frac{Q}{v^{\alpha_1} \cdot K_z^{\beta_1} \cdot \alpha^{\gamma_1} \cdot K^{\eta_1}}, \frac{s}{v^{\alpha_2} \cdot K_z^{\beta_2} \cdot \alpha^{\gamma_2} \cdot K^{\eta_2}} \right),$$

или $\pi_0 = \varphi(\pi_1 \cdot \pi_2)$.

Размерность критерия π_0 :

$$[\pi_0] = \frac{[\theta]}{[L]^{\alpha_0 - 2 \cdot \beta_0} \cdot [T]^{-\alpha_0 - \beta_0 - 3 \cdot \gamma_0 - 5 \cdot \eta_0} \cdot [M]^{\beta_0 + \gamma_0 + 2 \cdot \eta_0} \cdot [\theta]^{-\gamma_0 - 2 \cdot \eta_0}},$$

откуда

$$\alpha_0 - 2 \cdot \beta_0 = 0; \quad -\alpha_0 - \beta_0 - 3 \cdot \gamma_0 - 5 \cdot \eta_0 = 0; \quad \beta_0 + \gamma_0 + 2 \cdot \eta_0 = 0; \\ -\gamma_0 - 2 \cdot \eta_0 = 1.$$

Решив эту систему, получаем: $\alpha_0 = 2$; $\beta_0 = 1$; $\gamma_0 = -1$; $\eta_0 = 0$. Тогда

$$\pi_0 = \frac{T \cdot \alpha}{v^2 \cdot K_z}.$$

Аналогично получаем

$$\pi_1 = \frac{Q \cdot \alpha^4}{v^3 \cdot K^2}; \quad \pi_2 = \frac{s \cdot \alpha^4}{v^2 \cdot K^2}.$$

Поделив π_1 на π_2 , получаем новый критерий $\pi_1' = Q / (s \cdot v)$ и можем записать исходную критериальную модель в следующей форме:

$$\frac{T \cdot \alpha}{v^2 \cdot K_z} = \varphi \left(\frac{Q}{s \cdot v}, \frac{s \cdot \alpha^4}{v^2 \cdot K^2} \right).$$

Таким образом, вместо шестифакторной модели получена двухфакторная, параметры которой определить сравнительно нетрудно.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Дайте определение понятию «критерий подобия».
2. Какие основные физические величины применяются в машиностроении?
3. Из каких компонентов в общем случае состоит критерий подобия?
4. Когда критерии подобия, которые описывают определенный процесс, являются линейно независимыми?
5. Назовите методы преобразования модели в критериальную форму.
6. При каких условиях фактор исходной модели можно выбирать в качестве новой основной величины?
7. Как получить критериальную модель, если есть дифференциальное уравнение, которое описывает поведение системы?

6.2. Назначение и расчет показателей компонентов технических систем

ИБ

Значения показателей компонентов технических систем могут назначаться исходя из различных соображений (соблюдение пропорций, прошлый опыт, здравый смысл и т.д.) или вычисляться по соответствующим математическим моделям (теоретическим, экспериментальным или комбинированным). Значения назначаемых показателей очень часто выбираются из соответствующих таблиц. Различают следующие виды проектных расчетов: 1) силовые в статике; 2) кинематические; 3) силовые в динамике; 4) геометрические; 5) точностные.

Силовые расчеты в статике обеспечивают прочность компонентов системы, заданный уровень упругих деформаций или неподвижность заготовки под действием силы резания благодаря правильному назначению силы ее закрепления.

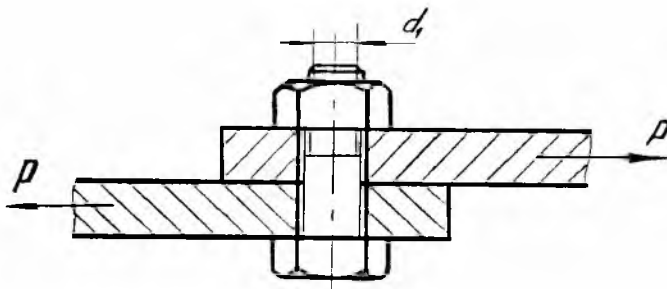


Рис. 6.12. Схема нагружения болтового соединения

Компоненты технических систем в зависимости от условий нагружения рассчитывают на прочность при растяжении (сжатии), изгибе, кручении или при комбинированном нагружении.

Например, на рис. 6.12 показана схема нагружения болтового соединения поперечными силами P . Учитывая, что листы удерживаются силами трения, внутренний диаметр резьбы болта d_1 определяется из выражения

$$d_1 = \{4 \cdot P / (\pi \cdot i \cdot f \cdot [\sigma_p])\}^{0,5},$$

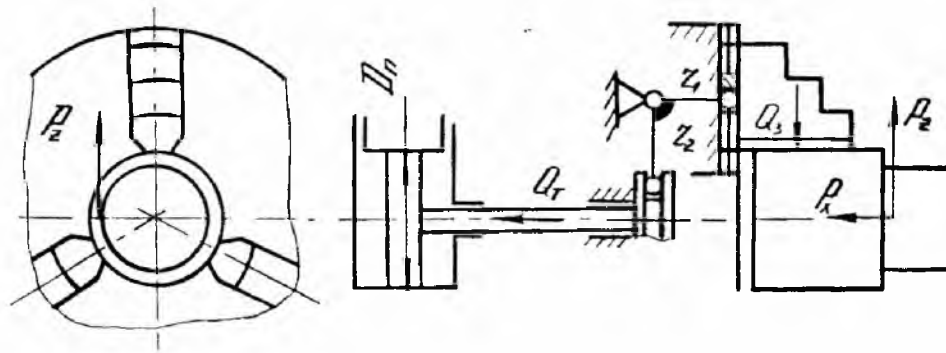


Рис. 6.13. Схема установки заготовки в специализированном трехкулачковом патроне с гидравлическим приводом

где i – число болтов; f – коэффициент трения; $[\sigma_p]$ – допускаемое напряжение при растяжении. По полученному значению d_1 подбирается из стандарта ближайший больший наружный диаметр болта.

Если, например, задана допустимая упругая деформация технологической системы токарного станка (как часть допуска δ на размер обточенной детали), то значение допустимой подачи $s_{\text{доп}}$ можно определить из выражения

$$s_{\text{доп}} < [k \cdot \delta \cdot j / (C_p \cdot a^x)]^{1/y},$$

где k – коэффициент, равный части допуска δ , которая выделяется на допустимую упругую деформацию; j – жесткость технологической системы, a – глубина резания, C_p , x , y – параметры эмпирической формулы, отражающей зависимость радиальной составляющей силы резания от глубины и подачи. Значения k и a назначаются: k – из рекомендаций, основанных на опыте, а a – предпочтительно принимать равной припуску.

В качестве следующего примера на рис. 6.13 показана схема установки заготовки в специальном трехкулачковом патроне с механизированным пневматическим приводом.

Если заранее определены составляющие силы резания P_z и P_y , то значение диаметра D_n поршня можно определить из следующих соображений. Вначале из условия равновесия заготовки определяется потребная сила закрепления Q_3 :

$$Q_3 = K \cdot (P_x^2 + P_z^2 \cdot (d/D)^2)^{0,5} / (3 \cdot f),$$

где K – коэффициент запаса; d – диаметр обрабатываемой поверхности; D – диаметр поверхности закрепления; f – коэффициент трения.

Затем определяется необходимая тяговая сила Q_T :

$$Q_m = 3 \cdot Q_3 \cdot r_1 / r_2,$$

где r_1 и r_2 – длины плеч рычага зажима. И, наконец,

$$D_n = (4 \cdot Q_m / (\pi \cdot p) + d_n^2)^{0,5},$$

где p – давление воздуха в пневмоцилиндре; d_n – диаметр поршня (задается из конструктивных соображений).

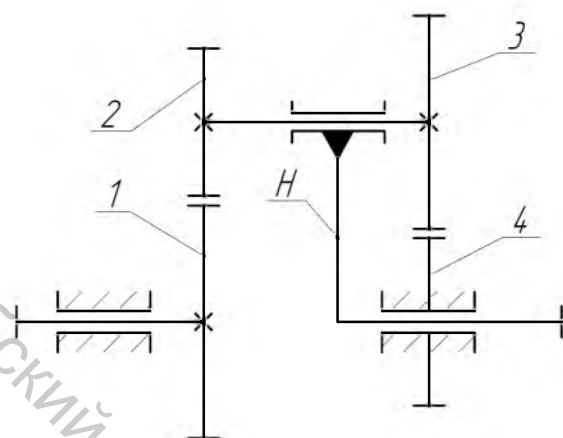


Рис. 6.14. Схема двухступенчатого планетарного механизма

Примером **кинематического расчета** является подбор чисел зубьев двухступенчатого планетарного механизма, схема которого показана на рис. 6.14.

Задано: передаточное отношение i ; число сателлитов k ; отношение модулей $q = m_1 / m_3$. Обозначим отношения чисел зубьев $x = z_1 / z_2$; $y = z_4 / z_3$; $u = (x+1)/(y+1)$. Тогда для решения задачи сначала определяем отношение $y/x = 1 - i$. Затем оцениваем диапазон возможных значений x согласно следующему неравенству

$$x > [(1 + 1 / z_{3\min}) / (\sin(\pi / k) - 1)] x / y,$$

где $z_{3\min}$ – выбирается большим 13. После чего вычисляем предварительное значение параметра h , которое путем умножения на некоторое число необходимо сделать целым:

$$h = q i (x + 1) / (y / x + 1 / x),$$

где значение x принимают большим, чем получено согласно неравенству. Основное уравнение для подбора чисел зубьев имеет вид:

$$z_1 : z_2 : z_3 : z_4 = x : 1 : q u : q u y : h.$$

Если, например, $i = 0,2$, $q = 2$, $k = 3$, то $y/x = 1 - 0,2 = 0,8$.

$$x > [(1 + 1 / 16) / (\sin(\pi / 3) - 1)] / 0,8 = 3 / 10.$$

Из конструктивных соображений принимаем $x = 5 / 4$, тогда

$$h = 2 \cdot 0,2 (5 / 4 + 1) / (0,8 + 4 / 5) = 3 / 16; \quad y = 0,8 x = 1;$$

$$u = (5 / 4 + 1) / (1 + 1) = 9 / 8; \quad q u = 9 / 4; \quad q u y = 9 / 4.$$

Наконец имеем

$$z_1 : z_2 : z_3 : z_4 : h = x : 1 : q u : q u y : h = \frac{5}{4} : 1 : \frac{9}{4} : \frac{9}{4} : \frac{3}{16}.$$

Чтобы выполнить условие h – целое число, умножаем члены отношения на 16. Тогда $z_1 : z_2 : z_3 : z_4 : h = 20 : 16 : 36 : 36 : 3$.

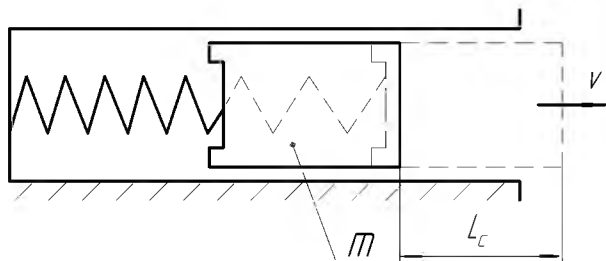


Рис. 6.15. Схема пружинного механизма

Полученные значения чисел зубьев будут удовлетворять заданному передаточному отношению, требованиям соосности и наименьших габаритов, а также условию "соседства" сателлитов.

В качестве примера **силового расчета в динамике** рассмотрим определение показателей пружины пружинного механизма, принципиальная схема которого показана на рис. 6.15. Дано: масса бойка m , максимальное сжатие пружины L_c , максимальная скорость в конце хода бойка V , постоянная сила сопротивления движению бойка F . Необходимую силу сжатия пружины P можно опре-

делить из выражения

$$P = 2 F + m V^2 / L_c,$$

которое получено решением дифференциального уравнения движения бойка. Затем, по выбранному значению отношения диаметра проволоки d к диаметру пружины D из соответствующих таблиц окончательно выбираются: значения d и D , шаг витка и длина пружины L (число ее витков

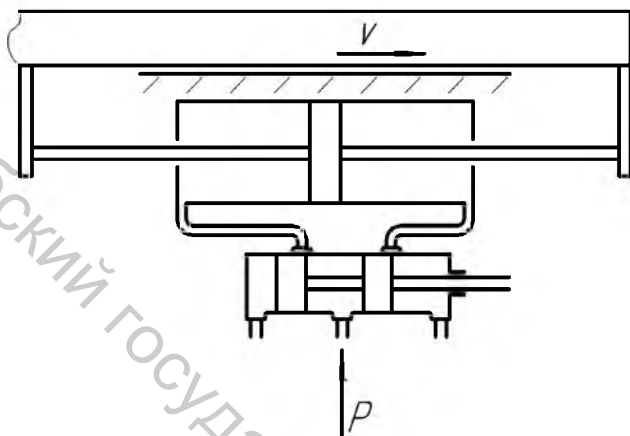


Рис. 6.16. Схема гидравлического привода

i).

Другим примером силового расчета в динамике является определение показателей гидравлического привода (рис. 6.16). Дано: рабочая скорость стола V , длина хода L на окончание переходного процесса (на увеличение скорости стола от 0 до V), давление рабочей жидкости p , приведенная к оси штока сила сопротивления движению Q и приведенная масса движущихся частей m . Вначале определяется диаметр поршня D , который удовлетворяет требованию длительности переходного процесса. Влиянием диаметра штока пренебрегаем.

$$D = 2 ((m V + L Q) / (\pi L p))^{0,5}.$$

Затем определяется площадь f щели в золотнике, которая обеспечит заданную скорость движения стола:

$$f = V F / (\alpha (2 g (p - Q / \gamma) / g)^{0,5}),$$

где F – площадь поршня $\pi D^2 / 4$; α – коэффициент расхода, учитывающий гидравлические потери; γ – удельный вес рабочей жидкости; g – ускорение свободного падения.

Целью **геометрического расчета** копира для фрезерования фасонной поверхности концевой фрезой (рис. 6.17) является определение показателей (размеров) его профиля, которые должны обеспечить заданный профиль обработанной поверхности. Этот профиль может быть задан таблицей координат его дискретных точек или набором отрезков и дуг. В последнем случае отрезки заданы координатами концов, а дуги координатами концов и радиусом. Геометрический расчет копира выполняется в два этапа: сначала определяются координаты траектории центра инструмента с радиусом, равным r , а затем уже координаты профиля копира. Обычно начало копира смещено на b (как это пока-

зано на рисунке). Координаты траектории центра инструмента для рассматриваемого примера определяются по следующим формулам.

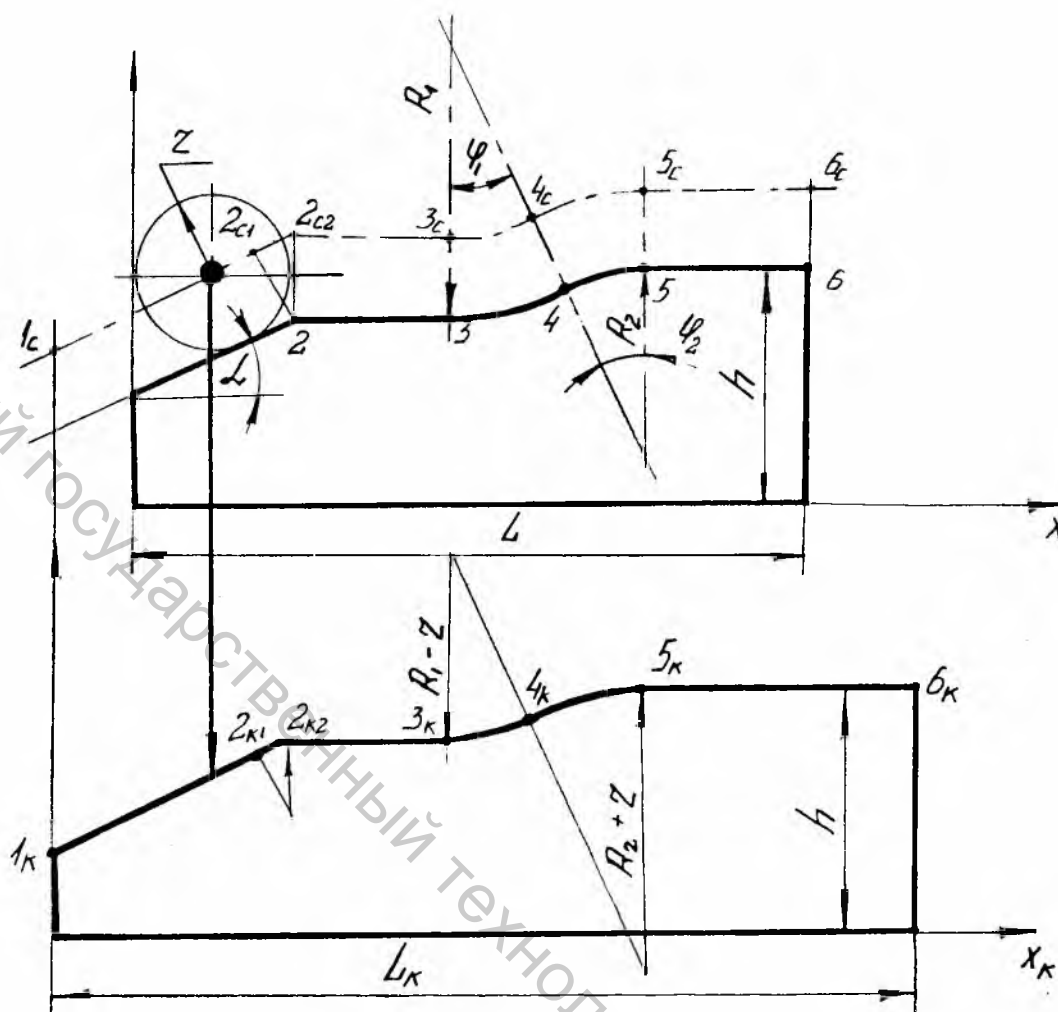


Рис. 6.17. Схема связи координат профиля детали и копира

Участок 1:

$$\operatorname{tg} \alpha = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1); \quad x_{c1} = x_1 - b; \quad y_{c1} = y_1 + r / \cos \alpha - b \operatorname{tg} \alpha;$$

$$x_{c2} = x_2 - r \sin \alpha; \quad y_{c2} = y_2 + r \cos \alpha; \quad x_{c21} = x_2; \quad y_{c21} = y_2 + r.$$

Участок 2: $x_{c3} = x_3; \quad y_{c3} = y_3 + r.$

Участок 3: $\sin \varphi_1 = (x_4 - x_3) / R_1; \quad x_{c4} = x_4 - r \sin \varphi_1; \quad y_{c4} = y_4 + r \cos \varphi_1.$

Участок 4: $x_{c5} = x_5; \quad y_{c5} = y_5 + r.$

Участок 5: $x_{c6} = x_6; \quad y_{c6} = y_6 + r.$

Координаты профиля копира определяются по следующим формулам:

$$x_{ki} = x_{ci} + b; \quad y_{ki} = y_{ci} + h_k - h - r.$$

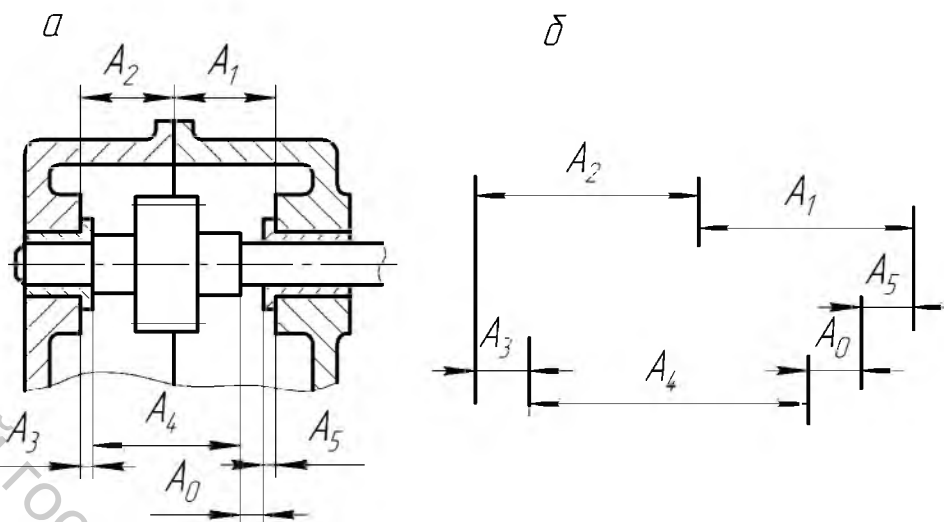


Рис. 6.18. Схема сборочной единицы (а) и ее размерной цепи (б)

Схема объекта для примера **точностного расчета** показана на рис. 6.18. Задан квалитет точности исходного звена размерной цепи A_0 (12) и номинальные размеры A_i ее составляющих звеньев: $A_1 = 50$; $A_2 = 30$; $A_3 = A_5 = 5$; $A_4 = 68$. Требуется найти допускаемые отклонения составляющих звеньев. Номинальный размер замыкающего звена определяется из выражения

$$A_0 = \sum A_{i,ув} - \sum A_{i,ум} = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4 + A_5) = (50 + 30) - (5 + 68 + 5) = 2,$$

где $A_{i,ув}$ и $A_{i,ум}$ – соответственно увеличивающие и уменьшающие звенья размерной цепи.

По СТ СЭВ 144-75 находим допускаемое отклонение исходного звена $TA_0 = 100$ мкм. Затем определяем среднее число единиц допуска k из следующего выражения:

$$k = TA_0 / \sum (0,45 \cdot A_i^{0,333} + 0,001 \cdot A_i) = 16,13.$$

Найденное число единиц допуска соответствует 7-му квалитету точности. Тогда по соответствующей таблице определяем допуски на составляющие звенья размерной цепи: $TA_1 = 0,025$; $TA_2 = 0,021$; $TA_3 = 0,012$; $TA_4 = 0,030$; $TA_5 = 0,012$; и назначаем следующие предельные отклонения: $A_1 = 50^{+0,025}$; $A_2 = 30^{+0,021}$; $A_3 = A_5 = 5_{-0,012}$; $A_4 = 68_{-0,030}$.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Назовите виды проектных расчетов.
2. Назовите виды силовых расчетов.
3. Что обеспечивают силовые расчеты в статике?
4. Что обеспечивают силовые расчеты в динамике?
5. Назовите примеры силовых расчетов в статике, не приведенные в пособии.
6. Что обеспечивают кинематические расчеты?
7. Что обеспечивают геометрические расчеты?
8. Что обеспечивают точностные расчеты?

6.3. Оптимизация

6.3.1. Общие понятия

ИБ

Данная проектная операция относится к процедурам структурного и параметрического синтеза. Задача оптимизации существует лишь тогда, когда существует область возможных решений. Формальный подход к решению задачи оптимизации иллюстрируется рисунком 6.19. Если существует такая задача, требующая решения, то необходимо:

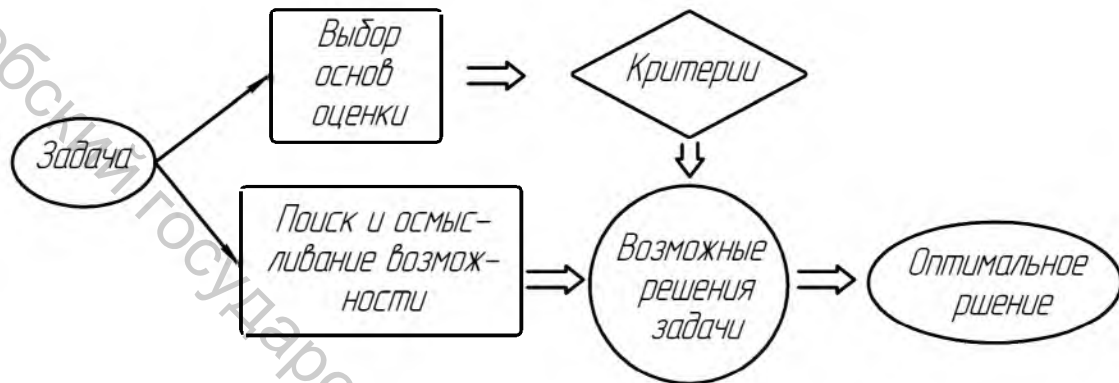


Рис.6.19. Формальная схема оптимизации

1) рассмотреть любую возможность ее решения, что может быть осуществлено путем выбора среди *известных решений* и (или) поиска новых *возможных решений*;

2) установить основы оценки, необходимой для рационального выбора, т. е. использовать соответствующие данной задаче *критерии*.

Метод выбора решения является ключевой процедурой **процесса оптимизации**. Решения могут приниматься на основе различного рода выбора:

1) **критериальный выбор**; 2) **волевой выбор**; 3) **случайный выбор**.

Примером случайного выбора является выбор пути, основанный на подбрасывании монеты. Основанием этого может быть полное незнание, а посему и полная неуверенность при острой необходимости отправиться в путь. Это сопряжено с *риском допустить ошибку*, которая может обнаружиться уже в процессе движения. Однако такой выбор не исключает и счастливого исхода.

При проектировании случайный выбор из определенного множества компонентов какого либо компонента, который будет включен в техническую систему, применяется, если отсутствует информация об их показателях качества. Ошибка, если она есть, обнаружится при испытании системы.

Наиболее рациональным является критериальный выбор, который основан на дедукции, предпосылками которой являются:

1) элементы информационного множества, из которого можно выбрать необходимый компонент;

2) полный комплекс критериев.

Волевой выбор осуществляется тогда, когда *отсутствует полный комплекс критериев* и необходимость *заполнения информационного пробела* при полном понимании риска. Чем меньше информационный пробел, тем меньше риск. При этом нельзя не учитывать альтернативной возможности – проведения процедур по дополнению комплекса критериев. Однако с этим связан *риск запоздания выбора решения*. Решением такой дилеммы является выбор:

1) заполнять информационный пробел за счет *интуиции* и *личных склонностей* лица, принимающего решение, или

2) учитывая желательность уменьшения риска, решиться на дальнейший поиск недостающих критериев.

Ради точности следует обратить внимание на то, что признание наличия *полного комплекса критериев* также является своего рода решением, ибо никогда не может быть *полной уверенности* в том, подобранный комплекс критериев достаточно полон. Поэтому *любой способ выбора связан с риском*.

Возможны два следующих вида оптимизации:

1) *оптимизация с ограничивающими критериями (ограничениями) без дополнительных условий выбора*;

2) *оптимизация с поиском экстремальных значений критерия внутри пространства ограничений*.

Возможны следующие виды ограничивающих критериев:

1) сходящиеся ограничивающие критерии, которые последовательно исключают из возможного множества подмножество допустимых решений;

2) частично расходящиеся ограничивающие критерии.

На рисунке 6.20 показан пример сходящихся ограничивающих критериев.

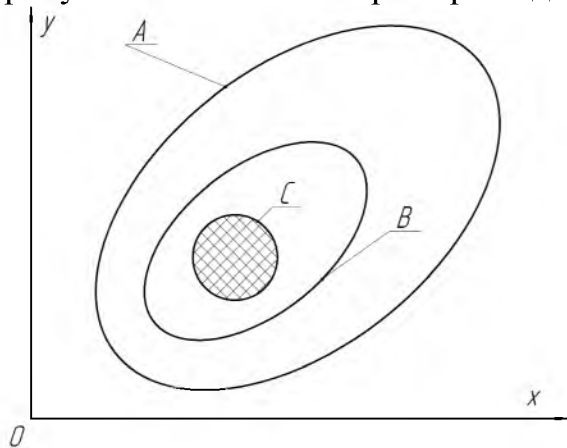


Рис. 6.20. Пример сходящихся критериев

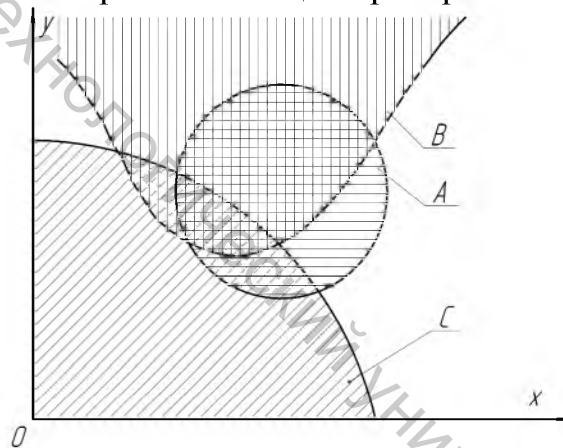


Рис. 6.21. Пример частично расходящихся критериев

Это означает, что критерий более низкого уровня (на рис. 6.20 это критерий A) охватывает элементы множества решений, которые считаются допустимыми с позиций критерия более высокого уровня – критерия B, а также и критерия C, ибо критерий B охватывает элементы множества решений, допустимых в свете критерия C.

Примером сходящихся ограничивающих критериев могут быть:

1) критерий физических возможностей (A на рис. 6.20);

2) критерий технических возможностей (B);

3) экономические критерии (С).

На рис. 6.21 приведен пример частично расходящихся критериев. Если области, границы которых обозначены буквами A , B и C , представляют собой модели множеств, среди которых осуществляется поиск оптимальных решений, то искомые решения должны отвечать условию принадлежности одновременно к каждому множеству. Для существования оптимальной области нужно чтобы все три множества ограничивающих критериев пересекались. Если

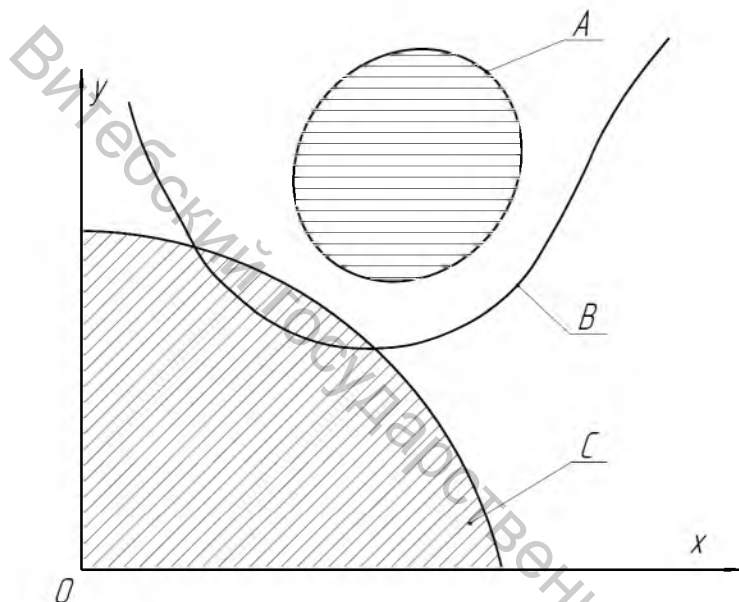


Рис. 6.22. Пример полностью расходящихся критериев

среди анализируемых множеств существует хотя бы одна пара не пересекающихся, то критерии называют полностью расходящимися и оптимального решения не существует. Пример этого случая показан на рис. 6.22.

В некоторых случаях полностью расходящихся критериев можно применить компромиссный критерий. Чаще всего такой критерий получают путем коррекции основных критериев. Рассмотрим такой случай на примере упрощенной технической задачи. Пусть объектами выбора в проектно-конструкторском процессе будут:

- 1) свойство автомобиля (например, скорость движения в определенных условиях);
- 2) какое-либо второе свойство автомобиля (например, масса M автомобиля).

По отношению к этим величинам использованы критерии:

- 1) максимально достижимой скорости $V \geq V_{\min}$;
- 2) минимально достижимой массы $M \leq M_{\max}$;
- 3) надежности, который выражается в виде зависимости между массой автомобиля и его скоростью: $M \geq f(V)$.

Не существует решения, которое удовлетворяло бы всем трем указанным ограничениям. Его можно найти, если скорректировать требования к $V_{\min}$ и к $M_{\max}$ так, чтобы эти множества пересекались. Тогда получим квазиоптимальное решение.

В зависимости от количества оптимизируемых показателей технической системы и количества учитываемых критериев различают:

- 1) однофакторную однокритериальную оптимизацию;
- 2) многофакторную однокритериальную оптимизацию;
- 3) многокритериальную оптимизацию.

На практике довольно часто проявляется стремление к однокритериальной оптимизации. Более широкий подход к проблеме технической оптимизации об-

наруживает, что чем более удачно выбраны критерии, тем большей оказывается вероятность получения оптимальных технических систем. Однако многочисленность критериев не исключает в ряде случаев применения однокритериальной оптимизации. При этом объектом оптимизации может быть не техническая система в целом, а только ее часть. Это связано еще с тем, что потребность в оптимизации возникает на разных этапах проектирования.

Критерии устанавливают, руководствуясь целесообразностью и принципами конструирования.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Когда в общем случае существует задача оптимизации?
2. Что в общем случае необходимо для возможности решения задачи оптимизации?
3. Назовите виды выбора.
4. Когда следует использовать случайный выбор?
5. Когда следует использовать волевой выбор?
6. Назовите недостатки волевого выбора.
7. Назовите виды оптимизации.
8. Назовите виды ограничивающих критериев.
9. Изобразите и объясните схему сходящихся критериев.
10. Изобразите и объясните схему частично расходящихся критериев.
11. Приведите пример сходящихся критериев применительно к методу обработки.

6.3.2. Однофакторная однокритериальная оптимизация

ИБ

В данном случае выбор делается по одному из критериев предпочтения, назначенному проектировщиком исходя из неформальных соображений. Чаще всего это один из функциональных или экономических критериев предпочтения. Выбору подлежит значение одного показателя. Примером решения такой

задачи является оптимизация рабочего зазора h в установке для магнито-абразивного полирования, схема которого показана на рис. 6.23. Критерием предпочтения является удельная технологическая производительность Q_{ym} . Экспериментально получена следующая функция цели:

$$Q_{ym} = A_0 \cdot h \cdot \exp(-A_1 \cdot h),$$

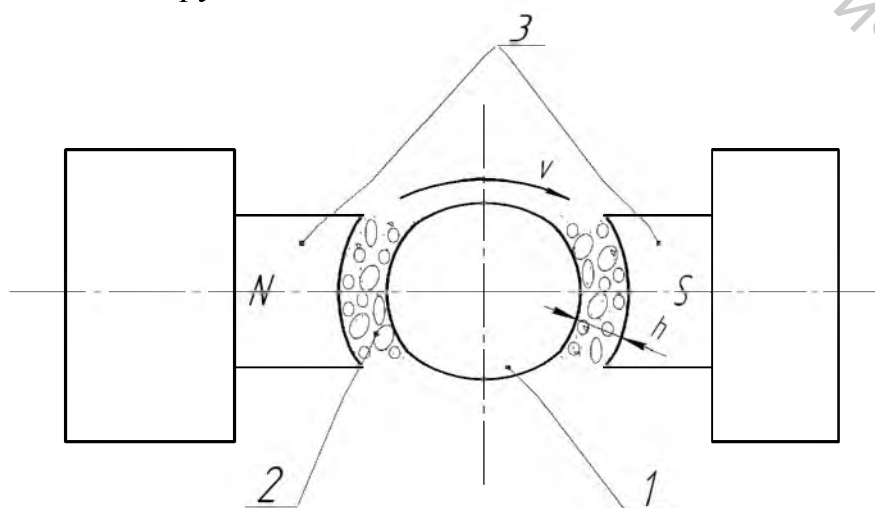


Рис.6.23. Схема магнито-абразивного полирования:
1) заготовка; 2) магнито-абразивный порошок; 3) полюса электромагнита

где $A_0 = 7,24$ и $A_1 = 0,655$ – параметры модели, зависящие от неизменяемых показателей системы. Значения рабочего зазора ограничиваются неравенством $0,5 \leq h \leq 3,5$ мм.

Для решения задачи необходимо приравнять нулю производную от Q_{ym} по h и из полученного выражения найти значение $h = h_0$.

$$\frac{dQ_{ym}}{dh} = A_0 \cdot (1 - A_1 \cdot h) \cdot \exp(-A_1 \cdot h),$$

откуда

$$1 - A_1 \cdot h = 0 \quad \text{и} \quad h_0 = 1 / A_1.$$

Подставив значение A_1 , получим $h_0 = 1,527$ мм, которое не выходит за пределы ограничений.

Другим примером подобных задач является выбор формы балки, схема которой показана на рис. 5.9, обеспечивающей минимум затрат материала при заданной прочности. Если сила $P = 60000$ Н, а предел прочности материала балки, имеющей прямоугольное сечение с шириной $b = 25$ мм, равен 80 Н/см², то при длине балки $L = 800$ мм максимальная высота балки h (в месте заделки) будет равна

$$h = (6 \cdot 60000 \cdot 800 / (25 \cdot 8000))^{0,5} = 38 \text{ мм}.$$

Минимум расхода материала балки будет обеспечен, если в любом ее сечении максимальное значение нормальных напряжений будет одинаковым и равным пределу прочности при изгибе. В данном случае зависимость между высотой балки Y и расстоянием от точки приложения силы X будет отражаться уравнением

$$Y^2 = 1,8 X.$$

Криволинейную форму балки можно заменить ступенчатой (см. рис. 5.9).

Однако не всегда уравнение при приравнивании производной от критерия предпочтения нулю можно разрешить относительно искомого показателя. В таких случаях следует применять один из методов прямого поиска (поиск по дискретам с помощью чисел Фибоначчи или поиск методом золотого сечения), которые имеют, правда, одно ограничение: функция цели должна быть унимодальной (рис. 6.24).

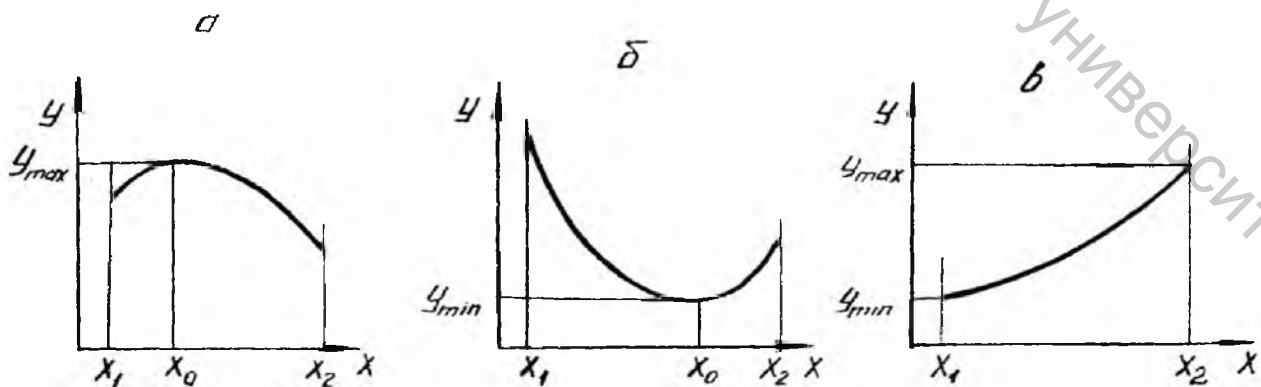


Рис. 6.24. Примеры графиков унимодальных однофакторных функций

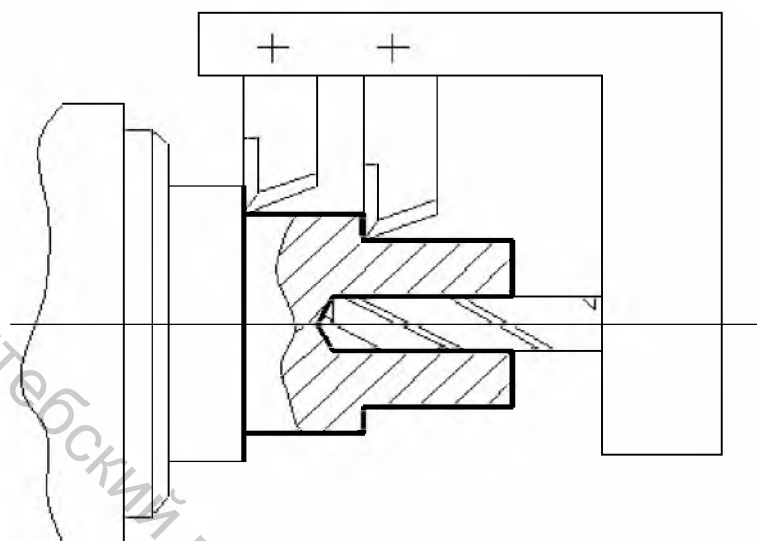


Рис. 6.25. Схема обработки детали неоднородным блоком инструментов

Поясним эти методы на примерах. На рис. 6.25 показана схема обработки детали на токарно-револьверном автомате неоднородным блоком инструментов (два резца и сверло). Общим показателем для всего блока будет частота вращения шпинделя n и подача револьверной головки s . Один из инструментов, который имеет максимальную длину хода, назовем лимитирующим, так как именно он опре-

деляет затраты времени на переход.

В общем случае обработки неоднородным инструментальным блоком можно записать функцию затрат Z на этот переход:

$$Z = E \cdot [t_{ол} + \sum_{i=1}^k (t_{си} + Z_u / E)_i \cdot t_{oi} / T_i],$$

где $t_{ол}$ - основное время работы лимитирующего инструмента. После несложных преобразований получим

$$Z = E \cdot [A_n / n + \sum_{i=1}^k (M_i \cdot A_i \cdot F_i^{w_i} \cdot n^{w_i-1} / B_i^{w_i})],$$

где

$$A_i = L_i / s; \quad B_i = C_v / (a_i^x s^y); \quad F_i = \pi d_i / 1000; \quad M_i = (t_{си} + Z_u / E)_i,$$

k - число инструментов в блоке, w_i для каждого инструмента имеет свое значение в пределах от 2,5 до 12 и редко бывает целым числом.

Поэтому, если приравнять нулю производную от Z по n , то получим многочлен

$$A_n = \sum_{i=1}^k (w_i - 1) \cdot M_i \cdot A_i \cdot (F_i \cdot n / B_i)^{w_i},$$

из которого искомое значение n можно определить только одним из известных численных методов. В таких случаях лучше применять один из методов одно-

факторного поиска оптимума непосредственно по функции цели. Если частота вращения на станке может принимать только ряд дискретных значений $n_1, n_2, \dots, n_p$, то быстрее всего приводит к цели метод поиска по дискретам с помощью чисел Фибоначчи, которые образуют ряд, где каждое последующее число F_j равно сумме двух предыдущих ($F_{(j-1)}$ и $F_{(j-2)}$). Часть этого ряда имеет вид

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F_j	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	233

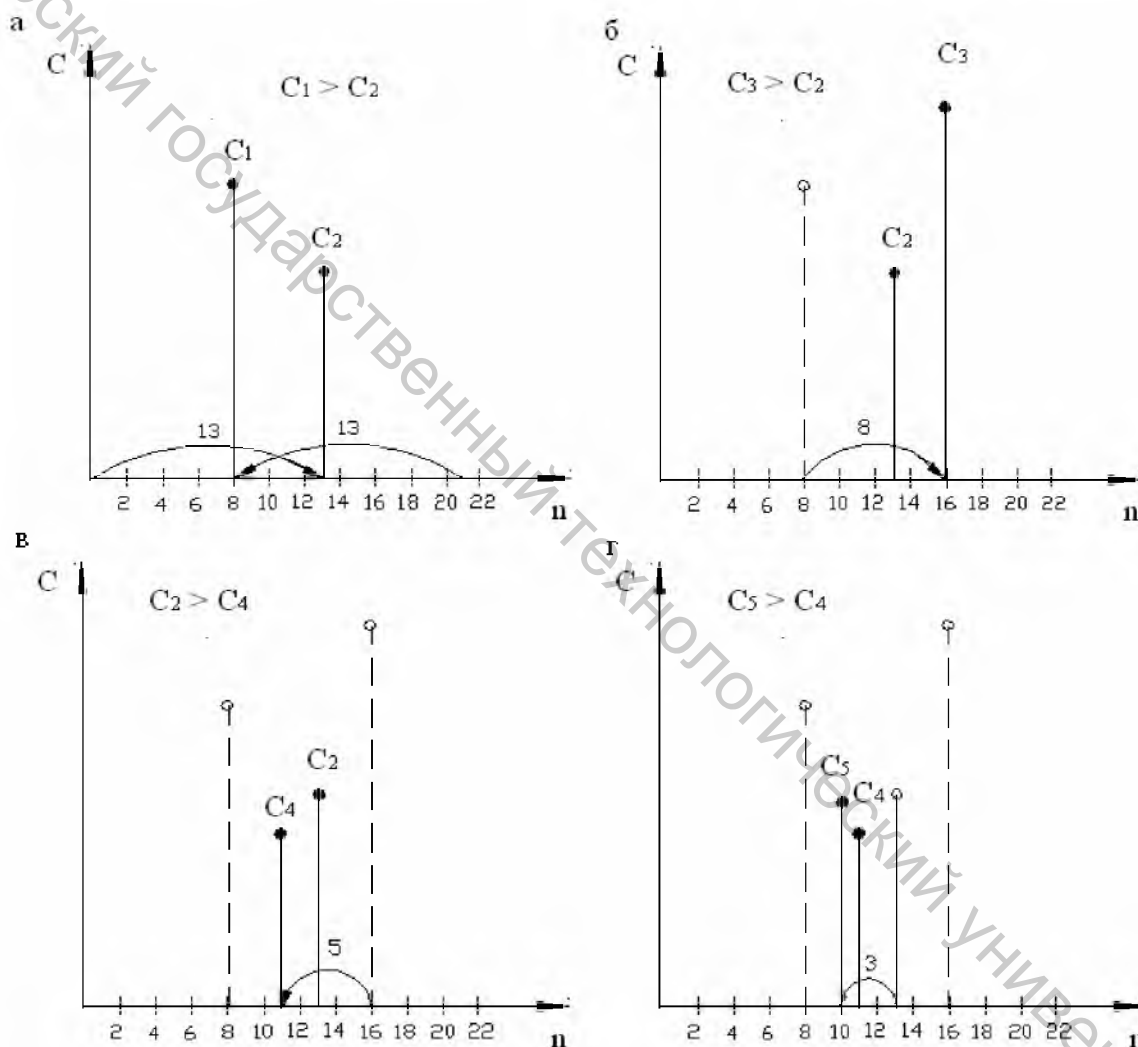


Рис. 6.26. Схема поиска по дискретам методом чисел Фибоначчи

Алгоритм поиска станет ясен из следующего примера. Например, на данном станке коробка скоростей обеспечивает 18 ступеней частот вращения. Выбираем ближайшее большее число Фибоначчи из приведенного ряда. Это будет $F_j = 21$, где $j = 7$. В данном случае для определения n необходимо не более $(j - 1)$ вычислений значений 3 из функции цели по схеме, показанной на рис. 6.26,

где индекс частоты вращения n_e , при которой вычисляется значение Z , определяется из ряда чисел Фибоначчи.

Начальный интервал неопределенности охватывает все 18 ступеней (ступени 19...21 считаются условными и прибавляются к действительным). Значения индекса частоты вращения для первых двух вычислений (см. рис. 6.26-а) определяются следующим образом. Выбирается число Фибоначчи, предшествующее F_j , которое в данном случае равно 13, и откладывается от границ интервала неопределенности. Получаем, что вычисления следует проводить при частотах вращения n_8 и n_{13} . Поскольку функция цели унимодальна (имеет один минимум), то, сравнивая полученные значения Z_1 и Z_2 , можем выделить новый (уточненный) интервал неопределенности. В данном случае, поскольку $Z_2 < Z_1$, то новый интервал неопределенности охватывает ступени частот вращения от 8-й до 18-й.

Для определения следующей ступени берем из ряда следующее меньшее число Фибоначчи (в данном случае 8) и откладываем его от индекса, соответствующего большему значению Z , в сторону меньшего (см. рис. 6.26-б). Получаем, что вычисление следует проводить при частоте вращения n_{16} . Полученное значение $Z_3 > Z_2$, следовательно, интервал неопределенности сужается, охватывая ступени частот вращения от 8-й до 16-й.

Аналогично (см. рис. 6.26-в) определяем, что следующее вычисление следует проводить при частоте вращения n_{11} . Поскольку $Z_4 < Z_2$, то новый интервал неопределенности охватывает только ступени частот вращения от 8-й до 13-й. После следующего вычисления при частоте вращения n_{10} интервал неопределенности опять сужается (от 10-й до 13-й ступени). И, наконец, шестое вычисление при n_{12} окончательно показывает, что оптимальной будет частота вращения, соответствующая 11-й ступени коробки скоростей.

На рис. 6.27 показана общая схема алгоритма однофакторного поиска по дискретам с помощью чисел Фибоначчи. А на рис. 6.28 показана общая схема однофакторного поиска оптимума методом "золотого сечения".

Если частота вращения n на станке может принимать любые значения в заданном диапазоне, то поиск ее оптимального значения лучше проводить методом "золотого сечения". В данном случае начальный интервал неопределенности $L_0 = n_{\max} - n_{\min}$. Уменьшение интервала неопределенности осуществляется делением предыдущего на коэффициент $t_a = 1,618$. $L_j = L_{(j-1)} / t_a$, где j – номер вычисления. Но на первом шаге $L_1 = L_2 = L_0 / t_a$.

Для первых двух вычислений $n_1 = n_{\max} - L_1$; $n_2 = n_{\min} + L_2$. Затем, в зависимости от результатов вычисления, определяют n_j , откладывая L_j от n , соответствующего большему значению Z , в сторону, соответствующую меньшему (см. рис. 6.29,а). После p вычислений интервал неопределенности сокращается до

$$L_p = L_0 / t_a^{(p-1)}.$$

Зависимость L_p / L_0 от p показана на рис. 6.29-б.

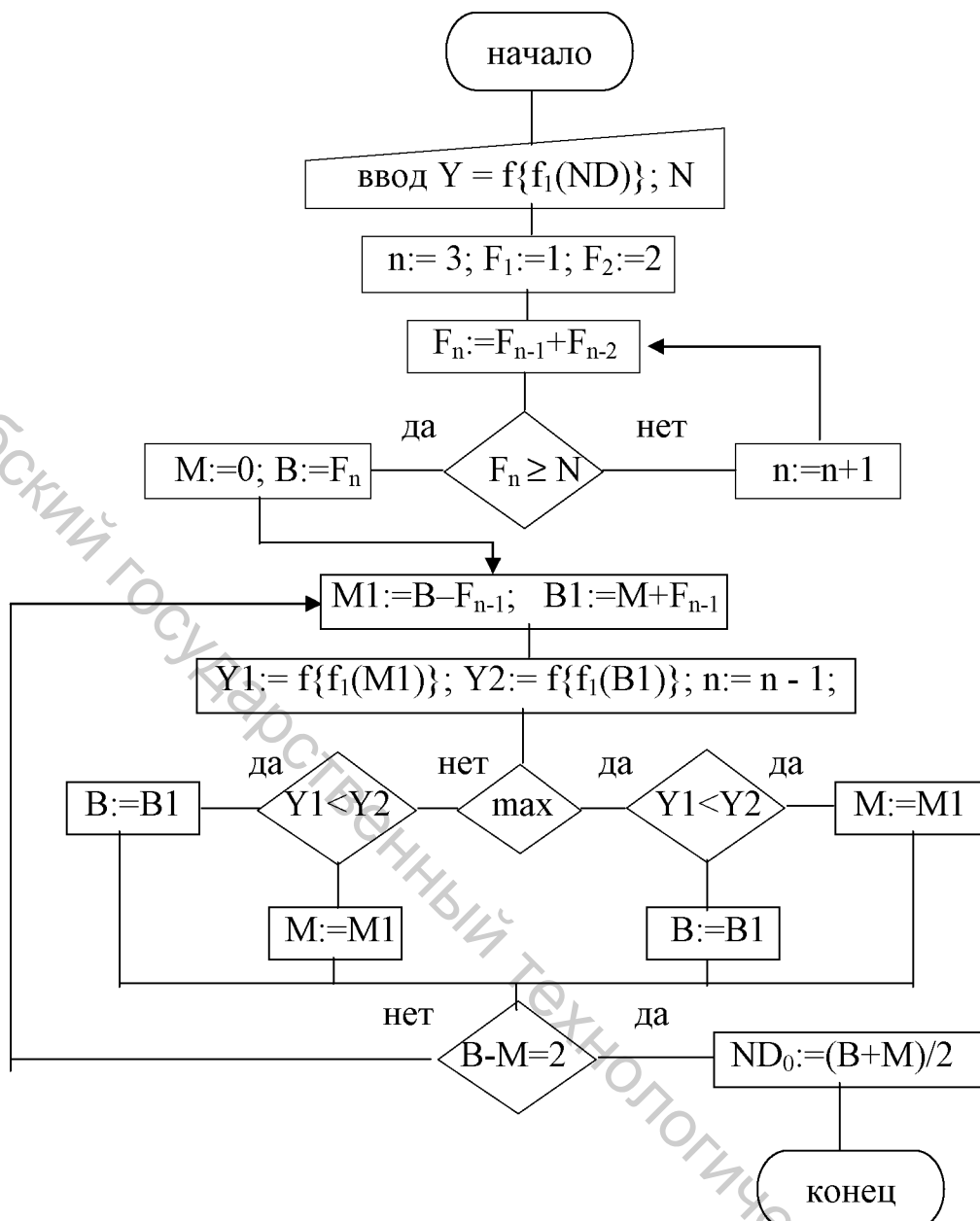


Рис. 6.27. Схема алгоритма поиска по дискретам.
 ND_o - оптимальный номер дискретного значения показателя

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Как определить оптимальную скорость резания V_3 , если зависимость приведенных затрат Z от нее отражена моделью $Z = E \cdot (A/V + B \cdot V^{\mu-1})$?
2. Когда нерационально определять оптимальную частоту вращения, приравнявая нулю производную от приведенных затрат?
3. В каких случаях следует применять поиск оптимума с помощью чисел Фибоначчи?
4. В каких случаях следует применять поиск оптимума методом «золотого сечения»?
5. Как определяют начальные значения показателей поиска с помощью чисел Фибоначчи?
6. Как определяют начальные значения показателей поиска методом «золотого сечения»?
7. Как сокращают область неопределенности при поиске с помощью чисел Фибоначчи?
8. Как сокращают область неопределенности при поиске методом «золотого сечения»?

6.3.3. Многофакторная однокритериальная оптимизация

ИБ

Примером решения такой задачи является оптимизация условий наплавки рабочей поверхности детали диаметром 110 мм в среде углекислого газа с помощью головки ВГ-8М-УПИ. Диаметр электродной проволоки равен 2,5 мм.

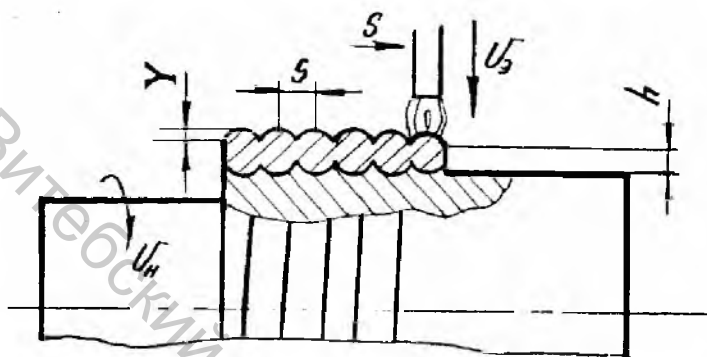


Рис. 6.30. Схема и обозначения показателей наплавки

Необходимо определить оптимальные значения скорости подачи электродной проволоки $V_{э}$, скорости наплавки $V_{н}$ и шага наплавки S для получения наплавленного слоя толщиной $h = 2$ мм (ограничение) при минимальной волнистости Y наплавленного слоя (см. рис. 6.30). Экспериментально установлено, что

$$Y = 0,3 - 0,178X_1 + 0,126X_2 + 0,149X_3 - 0,148X_1X_2 - 0,163X_1X_3 + 0,073X_2X_3 + 0,11X_1^2 + 0,078X_3^2,$$

где $X_1 = (V_{э} - 80) / 32$; $X_2 = (V_{н} - 41,4) / 20,7$; $X_3 = (S - 4)$;
 $h = 1,995 + 0,749 X_1 - 1,208 X_2 - 0,661 X_3 + 0,723 X_2 X_3 + 0,423 X_2^2$.

Оптимальные значения показателей в данном случае определяется методом неопределенных множителей Лагранжа. Суть его заключается в следующем. Задана функция цели и система уравнений, связывающая показатели ограничений и оптимизируемые показатели. Причем число этих уравнений меньше числа оптимизируемых показателей. Для решения задачи сначала составляется функция F , которая содержит сумму функции цели и всех уравнений ограничений, умноженных на неопределенные множители M_i . В данном случае это будет

$$F = 0,3 - 0,178 X_1 + 0,126 X_2 + 0,149 X_3 - 0,148 X_1 X_2 - 0,163 X_1 X_3 + 0,073 X_2 X_3 + 0,11 X_1^2 + 0,078 X_3^2 + M \{ h - (1,995 + 0,749 X_1 - 1,208 X_2 - 0,661 X_3 + 0,723 X_2 X_3 + 0,423 X_2^2) \}.$$

Приравняв нулю частные производные по всем факторам и множителям, получаем систему уравнений, из которой определяем искомые значения показателей. В данном случае получается следующая система:

$$\begin{aligned} -0,178 - 0,148 X_2 - 0,163 X_3 + 0,22 X_1 - 0,749 M &= 0; \\ 0,126 - 0,148 X_1 + 0,073 X_3 - M \{ 1,208 + 0,723 X_3 + 0,846 X_2 \} &= 0; \\ 0,149 - 0,163 X_1 + 0,073 X_2 + 0,156 X_3 - M \{ -0,661 + 0,723 X_2 \} &= 0; \\ 2 &= 1,995 + 0,749 X_1 - 1,208 X_2 - 0,661 X_3 + 0,723 X_2 X_3 + 0,423 X_2^2. \end{aligned}$$

Решение этой нелинейной системы уравнений дает следующие результаты: $X_1 = 0,968$; $X_2 = 0,981$; $X_3 = -0,248$. При переводе в натуральный масштаб получаем: $V_{э} = 108,4$ м/час; $S = 3,75$ мм; $V_{н} = 60,9$ м/час.

Данный аналитический метод оптимизации имеет существенный недостаток – трудность решения нелинейной системы уравнений (особенно в случае,

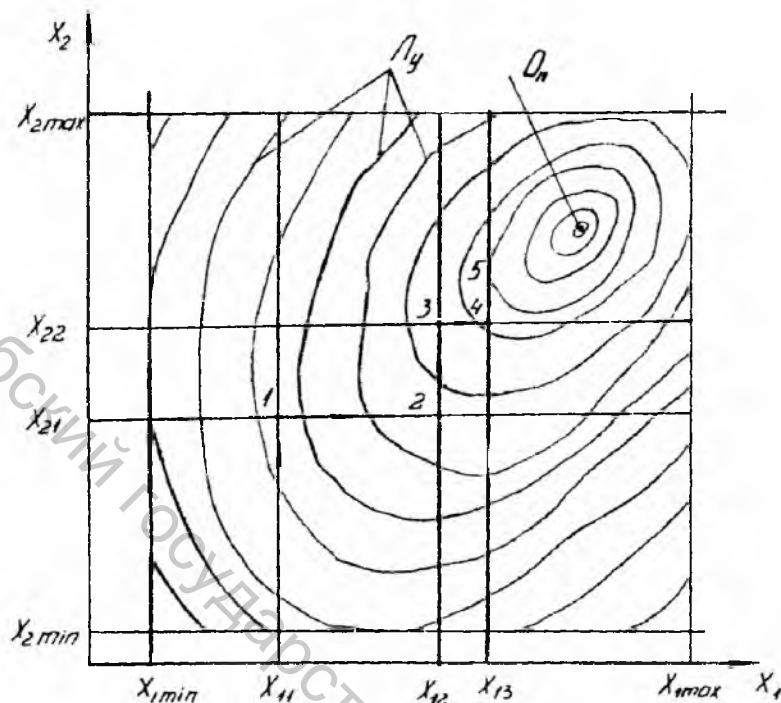


Рис. 6.31. Схема последовательного двухфакторного поиска по осям координат:

O_n – точка оптимума; L_y – линии постоянного уровня

если они трансцендентные). Поэтому лучше использовать известные численные методы поиска оптимальной точки факторного пространства при помощи ЭВМ. В таких случаях препятствием не является даже дискретное изменение оптимизируемых показателей (когда дифференцирование невозможно). Далее будут рассмотрены следующие методы однокритериального многофакторного поиска: 1) метод "последовательного поиска по осям"; 2) метод последовательного

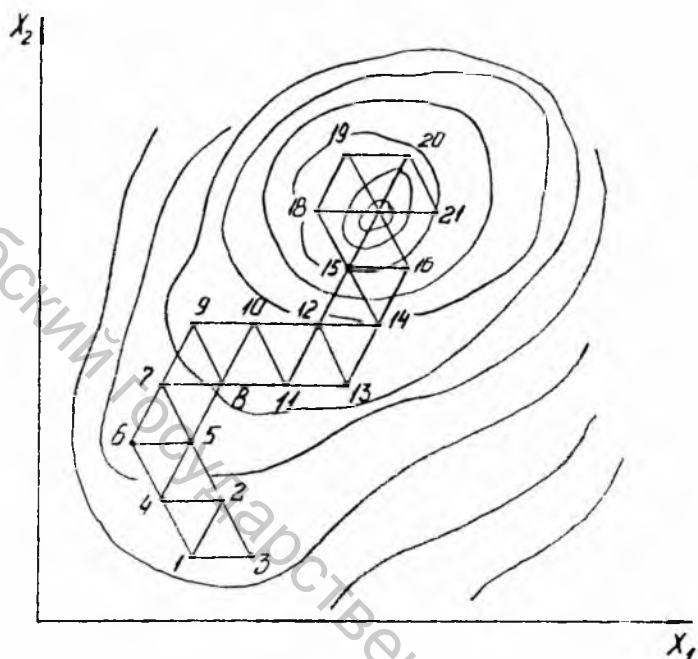
"симплекс поиска". Алгоритмы реализации этих методов будут пояснены на примерах.

Алгоритм последовательного двухфакторного поиска по осям ясен из рассмотрения схемы на рис.6.31. Вначале, зафиксировав первый фактор на выбранном произвольно уровне X_{11} , осуществляем однофакторный поиск оптимального уровня X_{21} второго фактора любым из рассмотренных ранее методов. Затем, зафиксировав второй фактор на найденном уровне, осуществляем однофакторный поиск оптимального значения первого фактора X_{12} . Зафиксировав на этом уровне первый фактор, осуществляем однофакторный поиск оптимального значения X_{22} второго и так далее. Поиск прекращается, когда разница между последовательными значениями факторов станет меньше заданной из условий точности малой величины.

Симплексом называется выпуклая геометрическая фигура (многогранник), образованная множеством $(k + 1)$ независимых вершин в k -мерном пространстве. Так, например, на плоскости симплекс образуется любыми тремя точками, не лежащими на одной прямой, в трехмерном пространстве – любыми четырьмя точками, не лежащими на одной плоскости. Симплекс называют регулярным, если расстояния между его вершинами равны. Соответствующими преобразованиями координат можно нерегулярный симплекс сделать регуляр-

ным и наоборот. Если факторов больше трех, то симплекс можно задать только матрицей.

Вначале, в выбранной произвольно области факторного пространства строится исходный симплекс (на рис. 6.32 это треугольник, вершины которого



обозначены точками 1, 2 и 3). В координатах, соответствующих этим вершинам, вычисляются значения целевой функции Y_1 , Y_2 и Y_3 . Сравнивая их, находим наихудшее (например, Y_3). Затем вычисляются координаты точки, симметричной наихудшей (точка 4), и значение целевой функции в этой точке (Y_4). В новом симплексе 1-2-4 наихудшей точкой будет первая. Находим симметричную ей точку (5), вычисляем Y_5 и так далее.

Продвижение в область оптимума (точка 16) будет продолжаться до тех пор, пока симплекс не начнет вращаться вокруг одной из своих вершин. Это и является признаком окончания поиска.

Нормализованные координаты вершин исходного симплекса (x_i) приведены в таблице 6.10, где для трехфакторного пространства выделены координаты четырех вершин. Натуральные значения координат вершин исходного симплекса можно определить из выражения

$$X_{iu} = X_{i0} + \Delta X_i x_i,$$

Таблица 6.10

Нормализованные координаты вершин исходного симплекса

U	Нормализованные координаты вершин исходного симплекса						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
1	-0,5	-0,289	-0,204	0,158	-0,129	-0,109	-0,095
2	0,5	-0,289	-0,204	0,158	-0,129	-0,109	-0,095
3	0	0,578	-0,204	0,158	-0,129	-0,109	-0,095
4	0	0	0,612	0,158	-0,129	-0,109	-0,095
5	0	0	0	0,632	-0,129	-0,109	-0,095
6	0	0	0	0	0,645	-0,109	-0,095
7	0	0	0	0	0	0,655	-0,095
8	0	0	0	0	0	0	0,661

где для каждого i -го фактора задан основной уровень X_{i0} и интервал варьирования ΔX_i , u – номер вершины исходного симплекса.

Вычисление координат вершины нового симплекса, симметричной наилучшей, производится по формуле

$$X_i^{k+2} = \frac{2}{k} \cdot \sum_{u=1}^k X_{iu} - X_i^*,$$

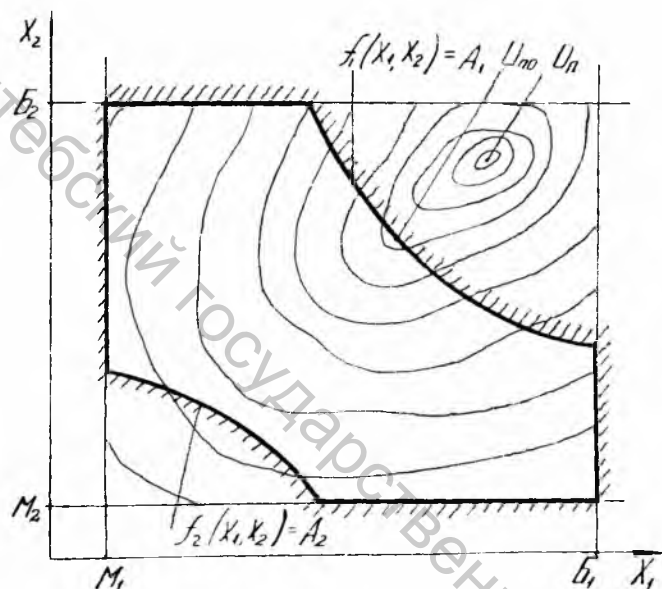


Рис. 6.33. Геометрическая модель двухфакторной области неопределенности с ограничениями

где X_i^{k+2} – координата по оси X_i новой вершины k -факторного симплекса; X_i^* – координата вершины с наилучшим значением целевой функции; $\sum X_{iu}$ – сумма координат по оси X_i остальных факторов за исключением X_i^* .

Во многих случаях многофакторного поиска начальная область неопределенности ограничивается не только меньшим M_i и большим B_i значениями X_i , но и функциональными ограничениями (см. рис. 6.33, где $f_1(X_1, X_2) \leq A_1$; $f_2(X_1, X_2) \geq A_2$).

В таких случаях в процессе поиска необходимо на каждом шаге осуществлять проверку нарушения ограничений. Если при движении в область оптимума одно из функциональных ограничений будет нарушено, то весьма вероятно, что искомая точка оптимума $O_{по}$ лежит именно на данном ограничении. Тогда можно с помощью данного ограничения уменьшить размерность поиска. Например, для случая, показанного на рис. 6.33, будем изменять согласно стратегии поиска только X_1 , а X_2 вычислять из равенства $f_1(X_1, X_2) = A_1$.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

1. Назовите методы однокритериального многофакторного поиска.
2. В чем заключается недостаток оптимизации методом неопределенных множителей Лагранжа?
3. Сформулируйте алгоритм оптимизации методом «поиска по осям».
4. Дайте определение понятию Симплекс.
5. Сформулируйте алгоритм оптимизации методом последовательного симплекс поиска.
6. Как определяют натуральные координаты исходного симплекса?
7. Как определяют натуральные координаты вершины нового симплекса?
8. В чем заключается особенность поиска с функциональными ограничениями?

6.3.4. Многокритериальные задачи принятия решений

При выборе лучшего варианта системы желательно учитывать не один, а несколько критериев предпочтения, тем паче, что они часто противоречивы. Например, повышение производительности машины часто ведет к снижению надежности и безопасности, увеличивает загрязнение окружающей среды.

Так как для задач принятия решений в условиях определенности с численной оценкой исходов цель адекватна максимизации (или минимизации) целевой функции, то для таких задач имеется, фактически, единственная концепция оптимальности решения: оптимальным будет решение, доставляющее целевой функции наибольшее (или наименьшее) значение.

Предположим теперь, что мы имеем задачу принятия решения также в условиях определенности, но исходы в ней оцениваются по двум показателям, а цель состоит в увеличении (т. е. максимизации) обоих этих показателей. Пусть эти показатели представлены в виде функций $f(x)$ и $g(x)$. Только в исключительных случаях максимум двух независимых друг от друга функций достигается в одной точке. Достаточно типичный:

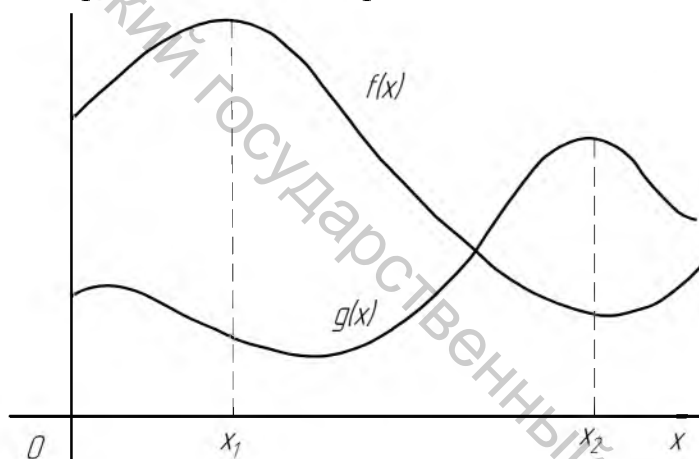


Рис. 6.34. Функции $f(x)$ и $g(x)$

случай изображен на рис. 6.34: функция $f(x)$ достигает максимума в точке x_1 , а функция $g(x)$ — в точке x_2 . Из графиков функций видно, что с возрастанием одной функции другая, как правило, убывает, т. е. увеличивая один показатель, мы уменьшаем другой. Какое решение будет здесь оптимальным?

Ответить на этот вопрос гораздо сложнее, чем это может показаться с первого взгляда. Подчеркнем, что в данном случае *речь идет не о том, как найти оптимальное решение, а о том, что следует понимать под оптимальным решением*, т. е. мы сталкиваемся здесь с трудностью не технического, а, как говорят, иногда концептуального характера. Для обсуждения того, как эта трудность может быть преодолена, рассмотрим следующий пример.

Пример 6.12. (разработка модели автомобиля). Предположим, что при разработке модели автомобиля нас интересуют следующие два показателя: его срок службы (U) и его максимальная скорость (V), причем мы хотим максимизировать оба эти показателя. В наших возможностях варьирование некоторых технических характеристик автомобиля (мощность двигателя, форма кузова, вес отдельных агрегатов и т. п.) в некоторых заданных границах. При этом каждому фиксированному набору значений этих характеристик соответствует определенное значение u_0 срока службы автомобиля и значение v_0 его предельной скорости. Таким образом, взяв за альтернативы наборы значений варьируемых характеристик автомобиля, а в качестве исходов соответствующие им пары чисел (U_0, V_0) , приходим к задаче выбора решения в условиях определенности. Изобразив все такие пары чисел (U_0, V_0) на плоскости переменных U и V , получим (рис. 6.35) некоторую область D , каждая точка которой

представляет геометрически возможный исход. Так как при принятии решения в условиях определенности выбор альтернативы равнозначен выбору исхода, то принятие решения состоит здесь в выборе конкретной точки области D . Какую точку надо взять в качестве оптимальной?

Пусть мы выбрали, например, точку $M_0(U_0, V_0)$. Построим, как указано на рис. 6.35, криволинейный треугольник AM_0B . Для любой точки этого треугольника оба показателя – срок службы автомобиля и его предельная скорость – будут большими, чем для точки M_0 , поэтому выбор любой точки этого треугольника будет более целесообразным, чем выбор точки M_0 , а выбор точки M_0 в качестве оптимальной оказался неудачным. Аналогичное рассуждение применимо к любой точке области D , для которой возможно построение указанно-

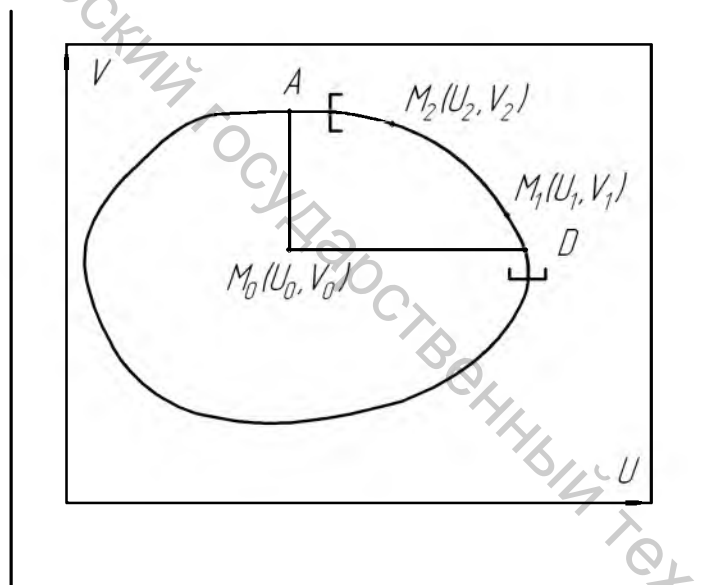


Рис. 6.35. Построение области геометрически возможных исходов

го на рис. 6.35 криволинейного треугольника.

Итак, при выборе исхода надо ограничиться теми точками области D , для которых построение такого криволинейного треугольника невозможно. В содержательных терминах это означает, что надо ограничиться теми исходами, для которых невозможно одновременное улучшение обоих показателей, такие исходы называются *эффективными* или *оптимальными* по Парето. Множество всех эффективных точек на-

ходится на границе области D (на рис. 6.35 оно указано жирной линией), представляет собой, образно говоря, северо-восточную границу области D . Выбор следует среди множества этих эффективных точек. Однако какую именно эффективную точку следует признать в качестве оптимальной?

Сравним две эффективные точки $M_1(U_1, V_1)$ и $M_2(U_2, V_2)$ (рис. 6.35). Для точки M_1 больше первый показатель (срок службы), а для точки M_2 – второй (максимальная скорость). Для эффективных точек такая ситуация является типичной. Итак, считая для двух точек области D лучшей ту, для которой все показатели лучше, получаем, что для любых двух эффективных точек ни одна не является лучше другой. Иными словами, эффективные точки являются несравнимыми между собой по предпочтению, а если мы все же хотим как-то сравнить, сопоставить две эффективные точки, то для этого требуется дополнительная информация, кроме той, которая заключена в сравнении исходов по каждому показателю в отдельности. Точнее, для **сравнения эффективных точек необходима дополнительная информация следующего типа: сколькоими единицами выигрыша по одному показателю можно компенсировать проигрыш единицы по другому показателю?** Такую информацию будем в даль-

нейшем называть **информацией о соотношении показателей эффективности**. Рассмотрим два наиболее важных способа задания такой дополнительной информации и ее влияние на выбор оптимального исхода (применительно к нашему примеру).

1. *Упорядочение показателей по важности.* Пусть нам известно, что один показатель существенно важнее другого, например, что максимальная скорость автомобиля существенно важнее его срока службы. В этом случае потерю единицы показателя v нельзя компенсировать никаким увеличением значения показателя u ; значит, мы должны производить выбор оптимального исхода среди тех исходов, для которых значение показателя v является максимальным среди возможных, т. е. должны ограничиться исходами, изображенными на рис. 6.36 жирной линией; у всех этих исходов значение показателя v одинаково, поэтому наилучшим среди них будет тот, который имеет наибольшее значение показателя u ; этот исход и выступает в качестве оптимального исхода M_{opt} .

2. *Задание весов относительной важности.*

Должно быть известно, что один показатель в определенное число раз важнее другого, скажем, максимальная скорость автомобиля для нас в 2,5 раза важнее его срока службы. Другими словами, потеря пяти единиц времени службы автомобиля приравнивается к приращению двух единиц его скорости. Важно отметить, что данное предположение о соотношении показателей должно относиться ко всем возможным моделям автомобилей, т. е. ко всем точкам области D , поэтому на плоскости переменных U и V мы можем отождествить любые две точки $M_1(U_1, V_1)$ и $M_2(U_2, V_2)$ области D , для которых

$$\frac{V_2 - V_1}{U_2 - U_1} = \frac{2}{5}, \quad \text{т. е.} \quad 2 \cdot U_1 + 5 \cdot V_1 = 2 \cdot U_2 + 5 \cdot V_2.$$

Геометрически это означает, что мы рассматриваем семейство прямых $2U + 5V = \text{const}$ и считаем равноценными любые два исхода, принадлежащие одной прямой этого семейства (рис. 6.37).

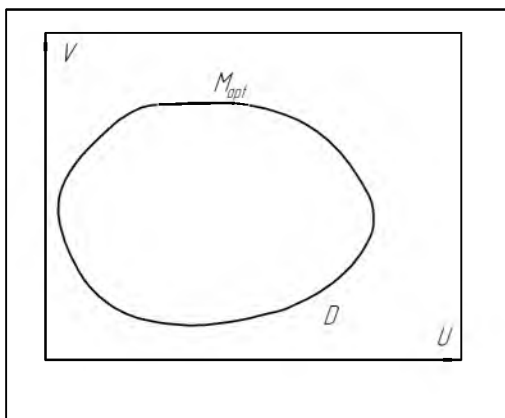


Рис. 6.36. Совокупность исходов

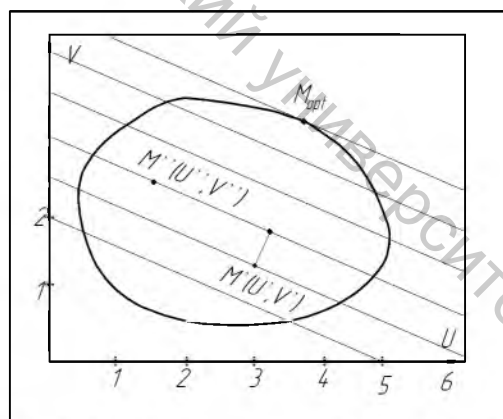


Рис. 6.37. Исходы, принадлежащие одной прямой семейства

С другой стороны, пусть исходы $M'(U', V')$ и $M''(U'', V'')$ лежат на разных прямых этого семейства. Так как исход M^* строго лучше исхода M' (для M^* оба показателя лучше, чем для M') и, в свою очередь, исход M^* равноценен исходу M'' , то исход M'' лучше, чем исход M' . Таким образом, для любых двух исходов лучшим следует признать тот, который расположен на более «высокой» прямой семейства, а оптимальным – исход, соответствующий той точке M_{opt} области D , которая лежит на самой «высокой» прямой семейства.

Какие эффективные точки здесь выступают в качестве оптимальных? Ясно, что положение оптимальной точки M_{op}^* зависит от угла наклона прямых семейства, который, в свою очередь, определяется отношением весов относительной важности показателей U и V (в нашем случае это отношение равно 2:5). При изменении отношения весов относительной важности показателей будет меняться наклон прямых семейства, а значит, и положение точки M_{opt} . Более того, любая эффективная точка может превратиться в точку M_{opt} при подходящем отношении весов относительной важности – это достаточно ясно из наглядно-геометрических представлений (рис. 6.37).

Отметим, что для многокритериальной задачи, как правило, не существует исхода, наилучшего сразу по всем показателям, поэтому оптимальное решение чаще всего является компромиссным.

Подводя итог обсуждения примера 10, можно сделать следующий общий вывод: *если для многокритериальной задачи принятия решения мы не располагаем никакой дополнительной информацией о предпочтениях исходов, кроме той, которая обусловлена их сравнением по каждому показателю в отдельности, то мы можем говорить лишь о множестве оптимальных решений, в качестве которого выступает множество всех эффективных точек.*

Выделение единственного оптимального решения в такой задаче можно произвести при наличии дополнительной информации о предпочтениях исходов в виде соотношения между показателями эффективности.

Для решения многокритериальной задачи выбора можно использовать также один из следующих приближенных методов.

1) Введение суперкритерия Y_0 , который является некоторой функцией от "р" учитываемых критериев предпочтения Y_i . Например,

$$Y_0 = \sum_{i=1}^p A_i \cdot Y_i / S_i;$$

где S_i – коэффициент, переводящий отношение Y_i / S_i в безразмерную форму; A_i – коэффициент относительного вклада (важности) критерия Y_i . Недостатком такого подхода является субъективность выбора конфигурации формулы для вычисления суперкритерия и в выборе значений коэффициентов относительного вклада.

2) Перевод всех критериев, кроме одного в разряд ограничений. Например, ограничивают уровни производительности и вибраций (шума) проектируемой системы, а критерием предпочтения оставляются приведенные затраты (один из экономических критериев предпочтения). Перевод критериев в ограничения

также носит субъективный характер, однако может быть лучше обоснован еще на этапе формулирования технического задания.

КБ

Ответьте на следующие вопросы:

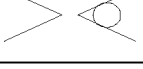
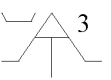
1. В чем заключается трудность принятия решения при многокритериальной оптимизации?
2. Дайте определение понятию «эффективные исходы».
3. Какая дополнительная информация нужна для сравнения «эффективных исходов (точек)»?
4. Назовите способы задания дополнительной информации для принятия решения при многокритериальной оптимизации.
5. Назовите упрощенные методы многокритериальной оптимизации.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица соответствия установочных элементов технологической базы

№ п/п	Наименование	Код	Обозначение на схеме установки		
			сбоку	сверху	снизу
1	2	3	4	5	6
Установочная	Плоская поверхность корпуса приспособлений	УТр 1.1.			
	Две опорные пластины	Тр 1.2.			
	Опоры точечные неподвижные с плоской поверхностью	Тр 1.3.			
	Опоры точечные неподвижные со сферической поверхностью	Тр 1.4.			
	Опоры точечные неподвижные с рифленой поверхностью	Тр 1.5.			
	Опоры, плавающие с плоской поверхностью	Тр 1.6.			
	Опоры, плавающие со сферической поверхностью	Тр 1.7.			
	Опоры, плавающие с рифленой поверхностью	Тр 1.8.			
	Опорное кольцо	Тр 1.9.			
	Пластина и точечная опора	Тр 1.10.			
	Магнитная плита	Тр 1.11.			
Направляющая	Плоская поверхность корпуса приспособлений	Тр 2.1.			
	Пластина опорная	Тр 2.2.			
	Опоры точечные неподвижные с плоской поверхностью	Тр 2.3.			
	Опоры точечные неподвижные со сферической поверхностью	Тр 2.4.			
	Опоры точечные неподвижные с рифленой поверхностью	Тр 2.5.			
	Опоры, плавающие с плоской поверхностью	Тр 2.6.			
	Опоры, плавающие со сферической поверхностью	Тр 2.7.			
	Опоры, плавающие с рифленой поверхностью	Тр 2.8.			
	Два цилиндрических пальца	Тр 2.9.			
	Зажим самоцентрирующийся	Тр 2.10.			

1	2	3	4	5	6
Опорная	Опора точечная неподвижная с плоской поверхностью	Тр 3.1.			
	Опора точечная неподвижная со сферической поверхностью	Тр 3.2.			
	Опора точечная неподвижная с рифленой поверхностью	Тр 3.3.			
	Опора плавающая с плоской поверхностью	Тр 3.4.			
	Опора плавающая со сферической поверхностью	Тр 3.5.			
	Опора плавающая с рифленой поверхностью	Тр 3.6.			
	Палец ромбический	Тр 3.7.			
	Палец цилиндрический	Тр 3.8.			
	Зажим самоцентрирующийся	Тр 3.9.			
	Опора призматическая подводящая	Тр 3.10.			
Двойная опорная	Призма	Тр 4.1.			
	Палец цилиндрический	Тр 4.2.			
	Палец конический плавающий	Тр 4.3.			
	Втулка	Тр 4.4.			
	Полувтулка	Тр 4.5.			
	Двухкулачковый патрон	Тр 4.6.			
	Трехкулачковый патрон	Тр 4.7.			
	Четырехкулачковый патрон	Тр 4.8.			
	Втулка разрезная	Тр 4.9.			
	Оправка цанговая	Тр 4.10.			
	Оправка кулачковая	Тр 4.11.			
	Оправка клиновья	Тр 4.12.			
	Оправка клиноплунжерная	Тр 4.13.			
	Оправка с гофрир. элементами	Тр 4.14.			
	Оправка с тарельчатыми пружинами	Тр 4.15.			
	Оправка с витой пружиной	Тр 4.16.			
	Оправка шлицевая	Тр 4.17.			
	Оправка резьбовая	Тр 4.18.			

1	2	3	4	5	6
Двойная направляющая	Длинная призма	Тр 5.1.			
	Оправка цилиндрическая	Тр 5.2.			
	Оправка коническая	Тр 5.3.			
	Оправка цанговая	Тр 5.4.			
	Втулка	Тр 5.5.			
	Оправка клиновая	Тр 5.6.			
	Оправка клиноплунжерная	Тр 5.7.			
	Оправка с гофрированными элементами	Тр 5.8.			
	Оправка с тарельчатыми пружинами	Тр 5.9.			
	Двойная призма	Тр 5.10.			
	Оправка с витой пружиной	Тр 5.11.			
	Оправка шлицевая	Тр 5.12.			
	Оправка резьбовая	Тр 5.13.			
	Центра: неподвижный и вращающийся	Тр 5.14.			
	Центра: рифленый и вращающийся	Тр 5.15.			
	Центра: плавающий и вращающийся	Тр 5.16.			
	Трехкулачковый патрон и вращающийся центр	Тр 5.17.			
Тройная опорная	Трехкулачковый патрон с призматическими губками	Тр 6.1.			
	Центр неподвижный	Тр 6.2.			

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

УСТАНОВОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

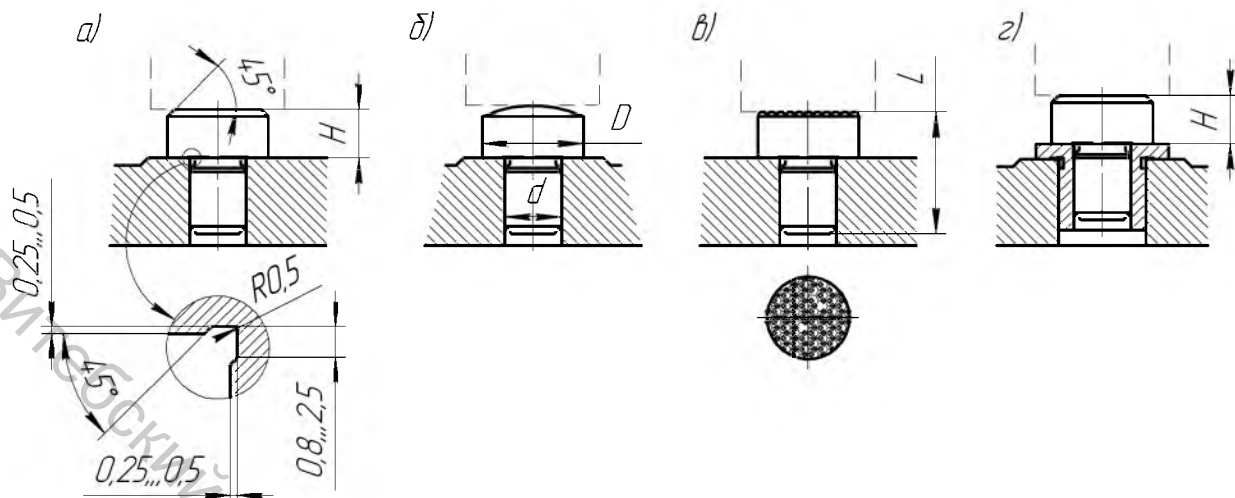


Рис. П.2.1. Опорные штыри

а- с плоской головкой; б- со сферической головкой; в- с насеченной головкой; г- с переходной втулкой

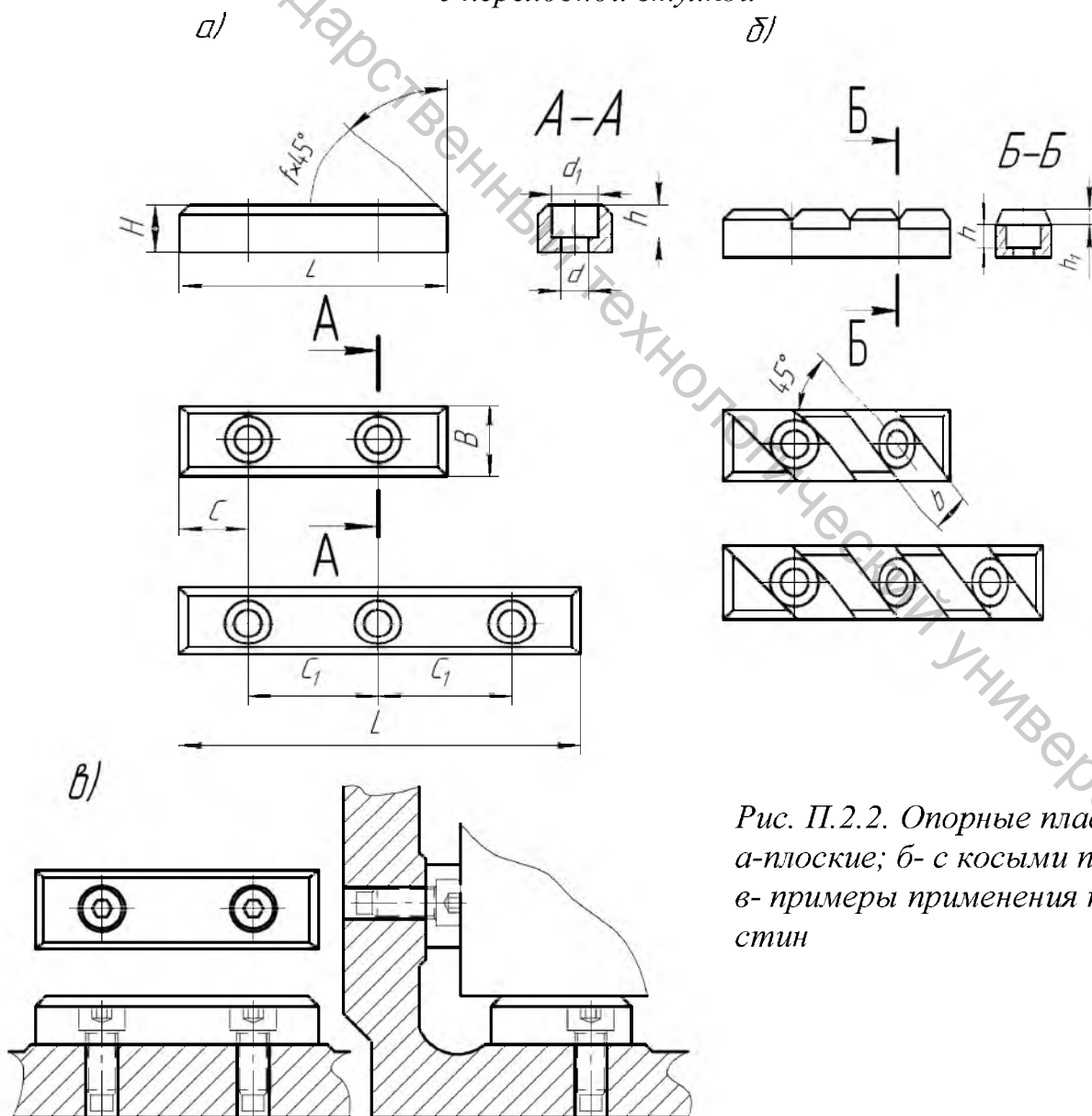


Рис. П.2.2. Опорные пластины:
а-плоские; б- с косыми пазами;
в- примеры применения пла-
стин

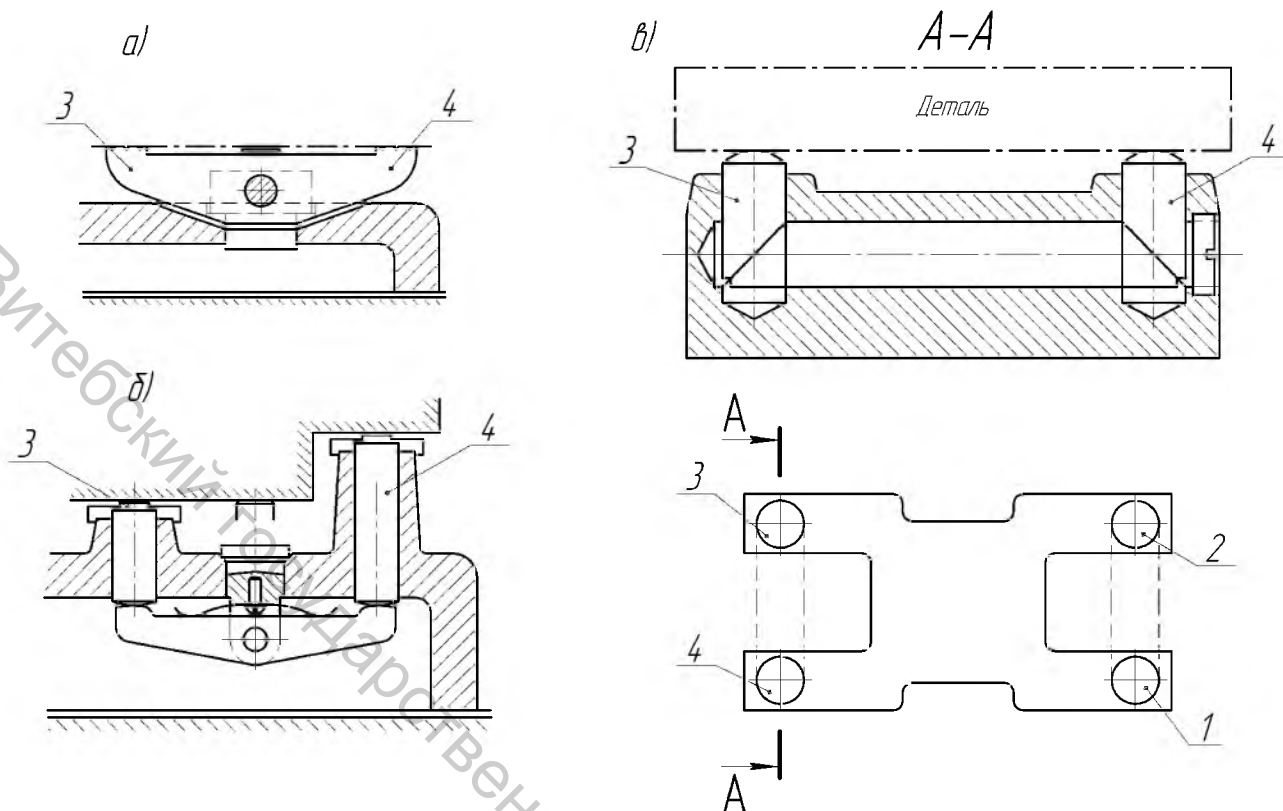


Рис. П.2.3. Самоустанавливающиеся основные опоры
1,2- жесткие опорные штыри; 3,4- плавающие опоры

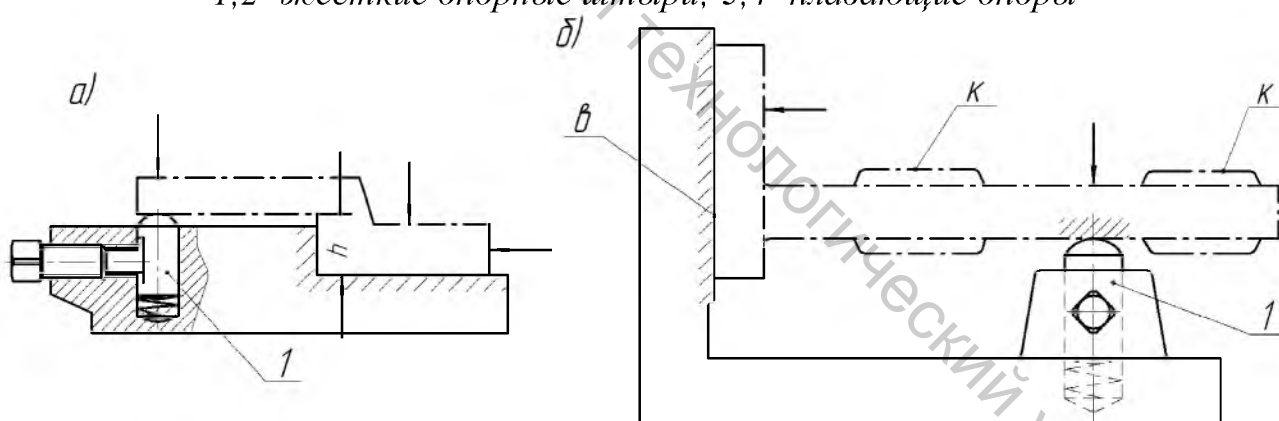


Рис. П.2.4. Схемы применения вспомогательных опор

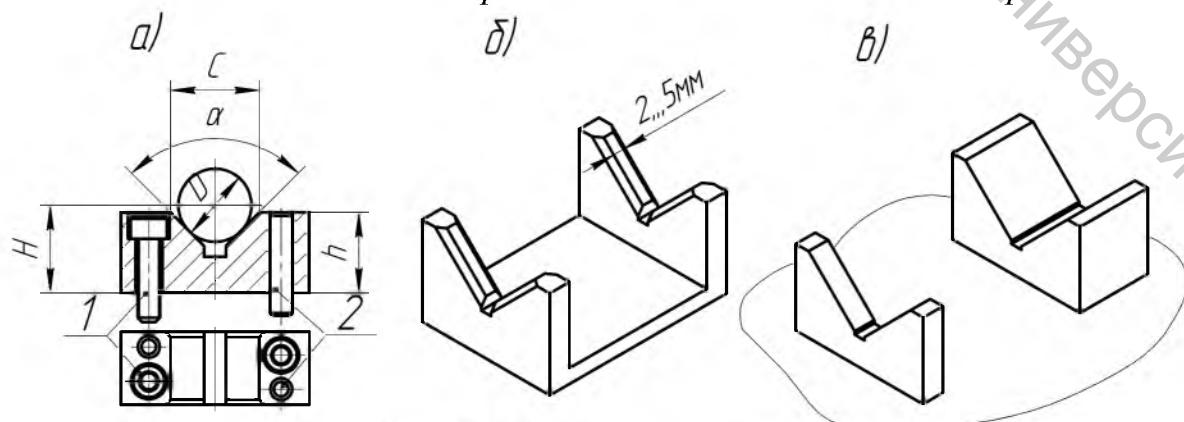


Рис. П.2.5. Опорные призмы

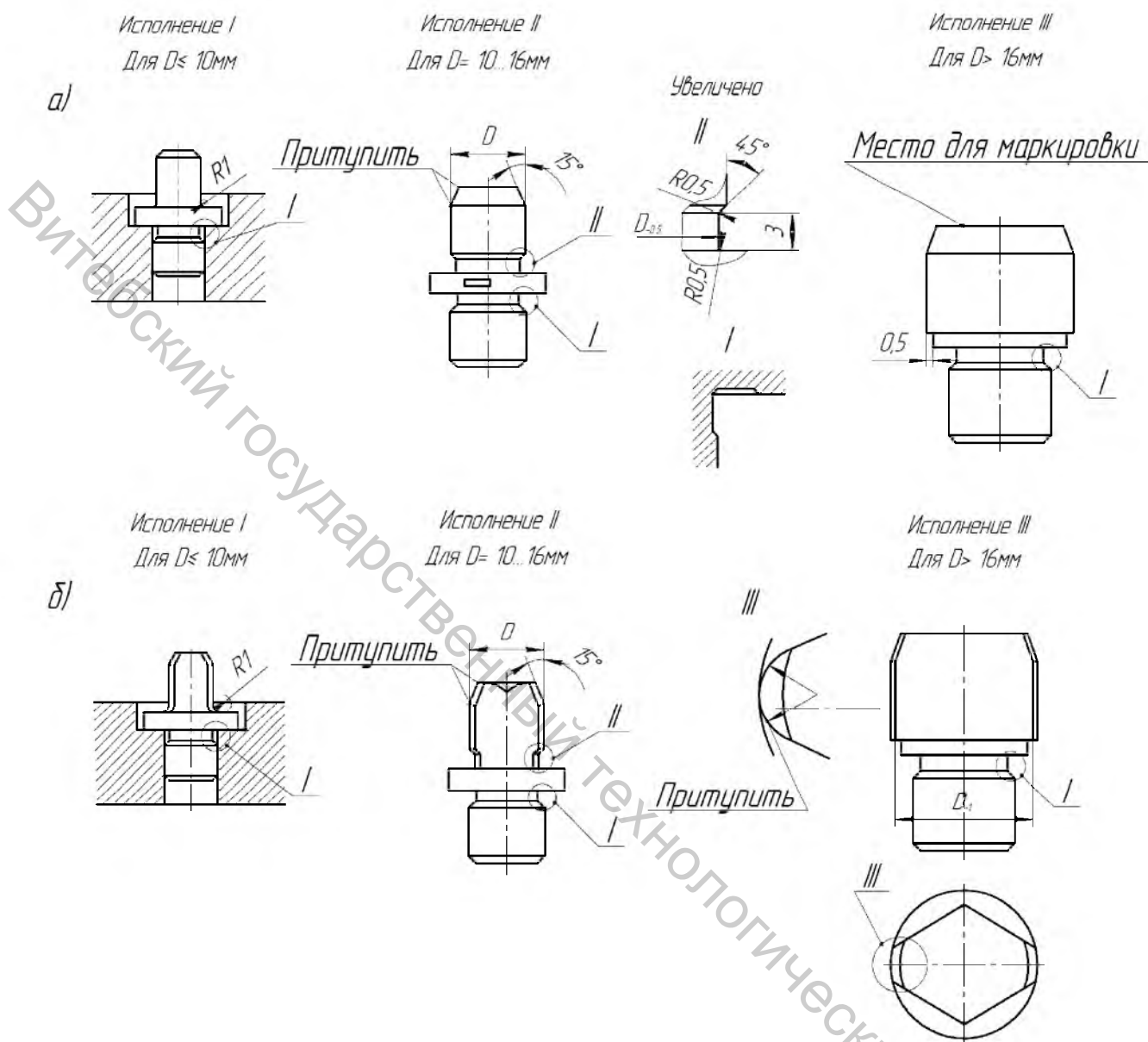


Рис. П.2.6. Постоянные установочные пальцы
б- цилиндрические; б- срезанные.

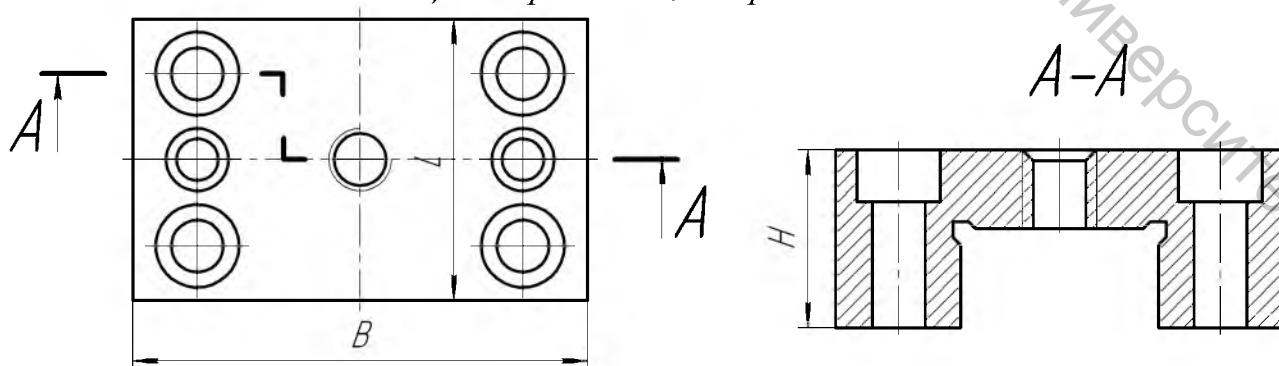


Рис. П.2.7. Колодки направляющие

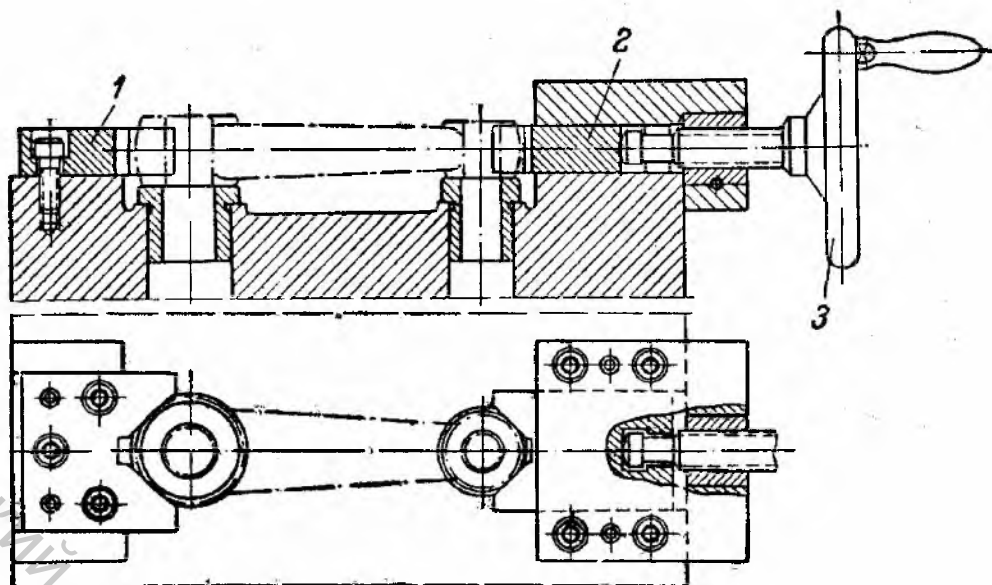


Рис. П.2.8. Ориентирующий механизм с подвижной и неподвижной призмами

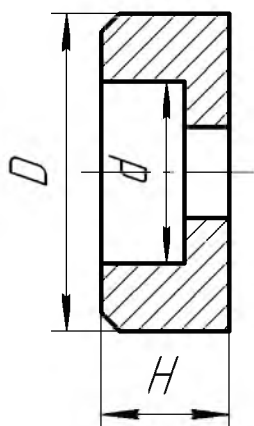


Рис. П.2.9.
Шайба опорная

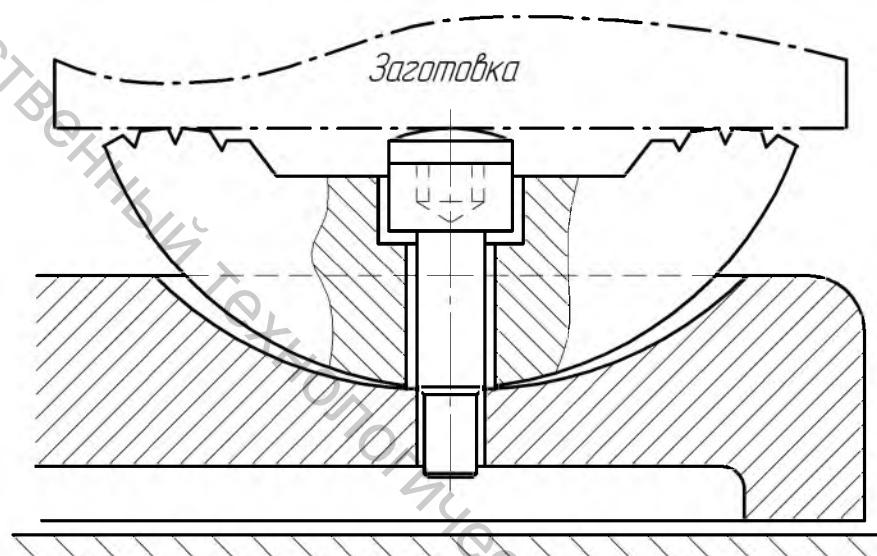


Рис. П.2.10. Опора качающаяся
Заготовка

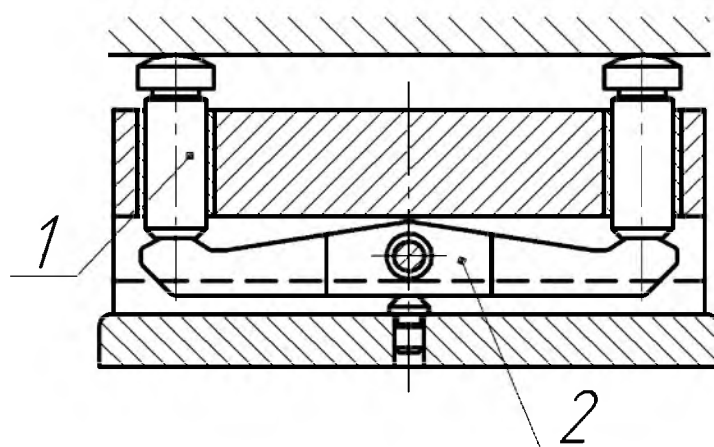


Рис. П.2.11. Опора двухплунжерная

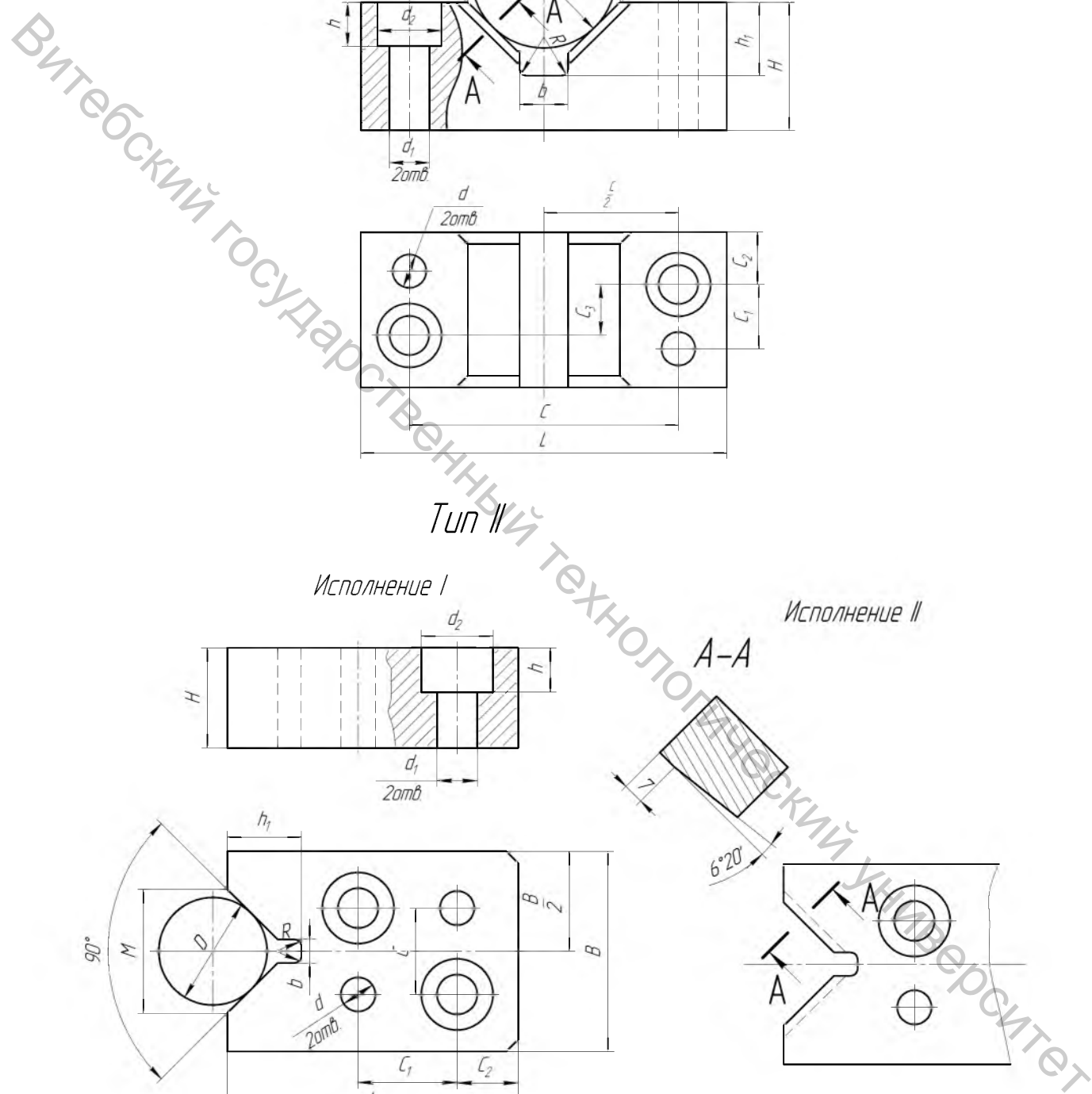


Рис. П.2.12. Призма опорная

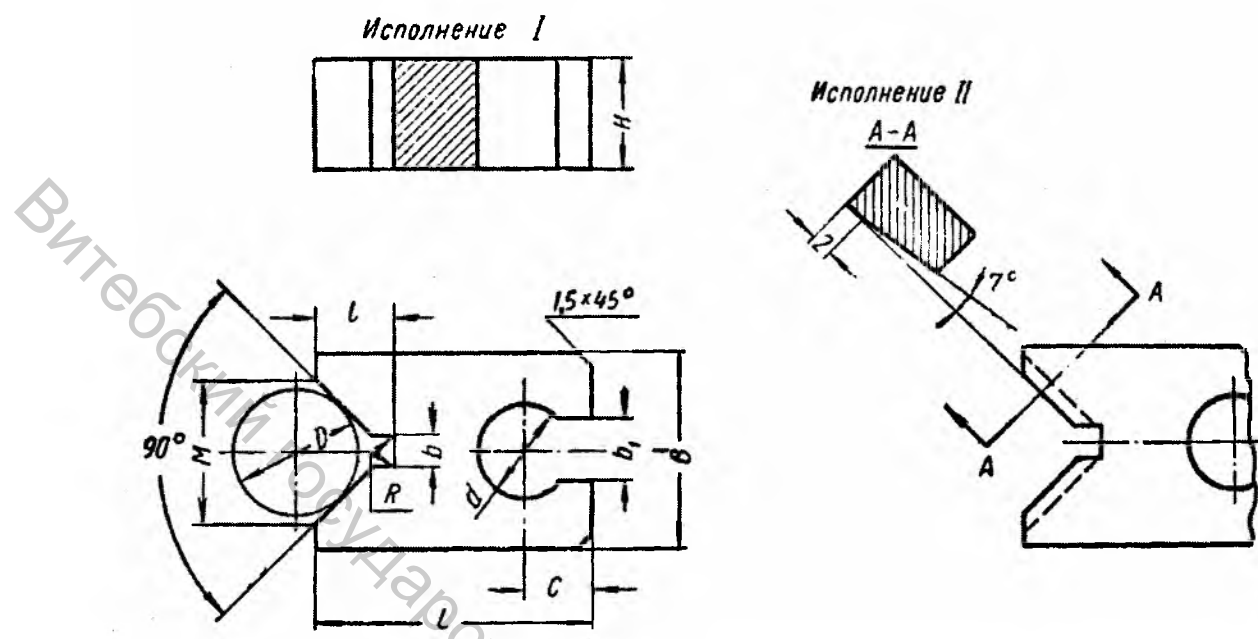


Рис. П.2.13. Призма подвижная

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ЗАЖИМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

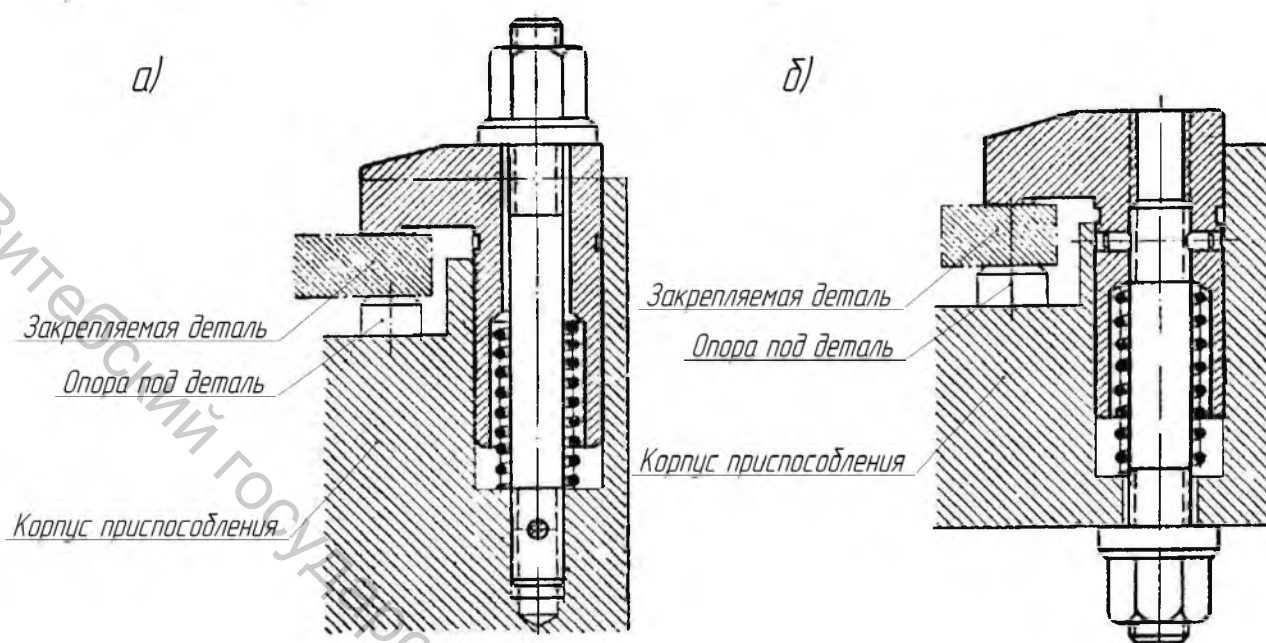
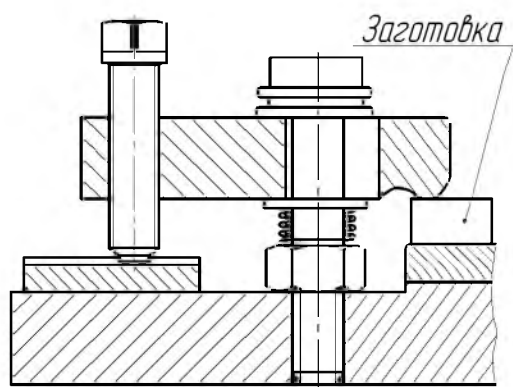


Рис. П.3.1. Прихваты с Г-образным прижимом:
а- с затяжкой сверху; б- с затяжкой снизу



Обеспечивает надежное крепление и хороший доступ к месту зажима. Положение по высоте может регулироваться

а)

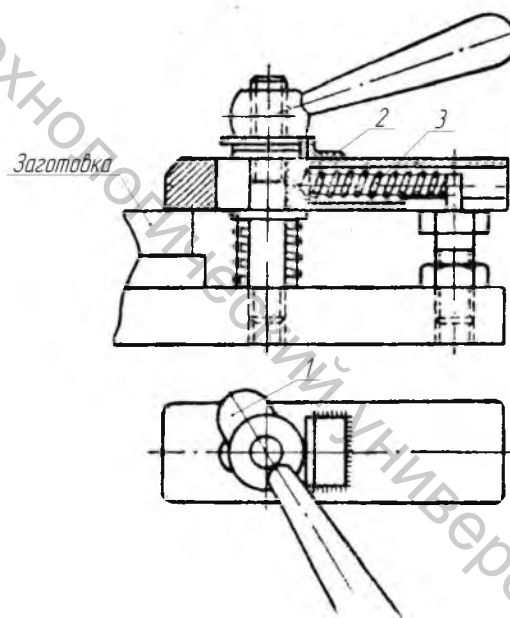
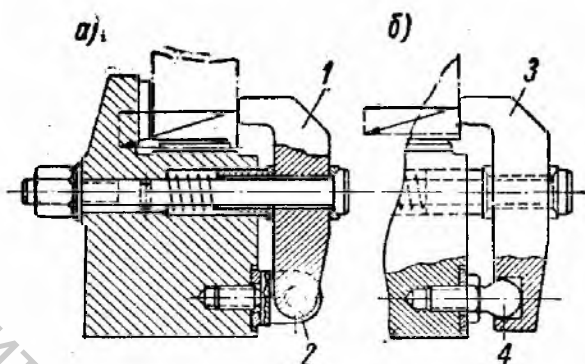


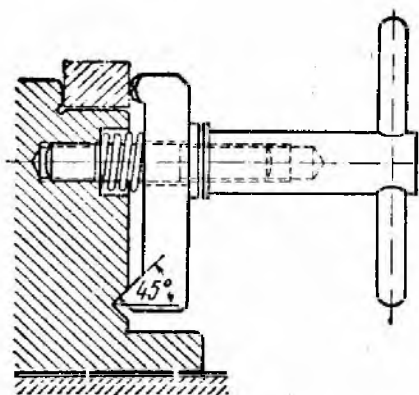
Рис. П.3.2. Зажимы резьбовые с прихватами:
а- отводной с отнесенным болтом;
б- с эксцентриковым отводом

Отвод прихвата осуществляется одновременно с разжимом благодаря воздействию эксцентрикового кулачка 1 на упорный уголок 2. При зажиме эксцентриковый кулачок отходит от уголка и прихват под действием пружины 3 возвращается в положение для зажима.

1



2

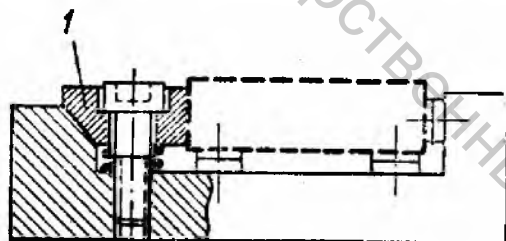


Боковой прихват со скошенной опорой

Боковые прихваты, обеспечивающие зажим детали одновременно в горизонтальном и вертикальном направлениях:

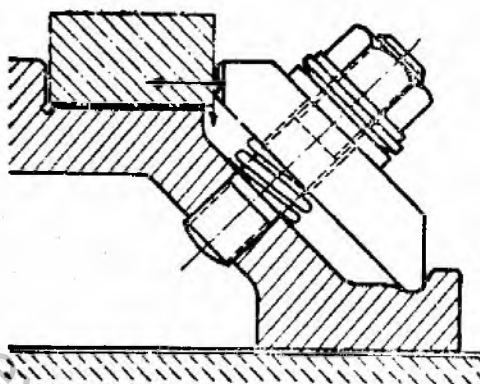
а — прихват 1 на оси 2 используется для зажима по обработанной поверхности; *б* — прихват 3 на сферической опоре 4 — для зажима по необработанной поверхности

4



Боковой прихват 1 в виде клина, поджимающий обрабатываемую деталь одновременно к нижним и боковым опорам

3



Боковой наклонный прихват

Рис. П.3.3. Типовые конструкции винтовых прихватов для зажима сбоку

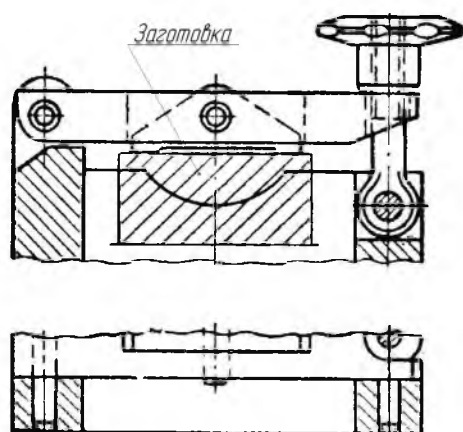


Рис. П.3.4. Зажим резьбовой (кулачок с откидной планкой) (применяется при закладывании заготовки со стороны крепления; сильного зажима не обеспечивает)

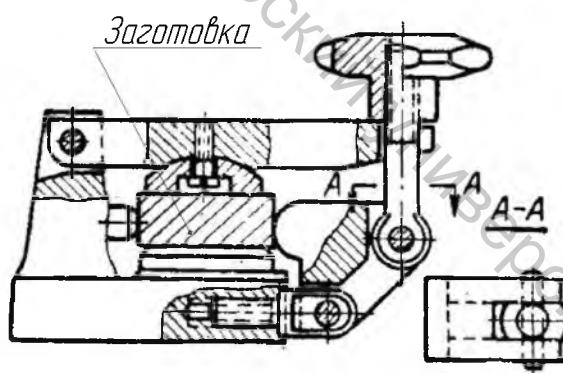
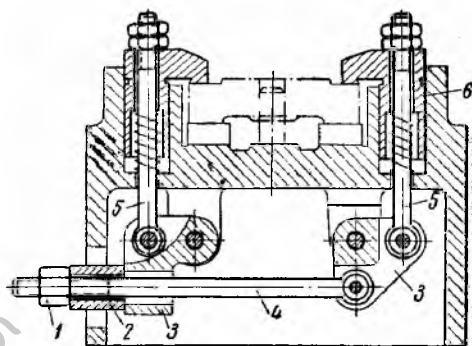


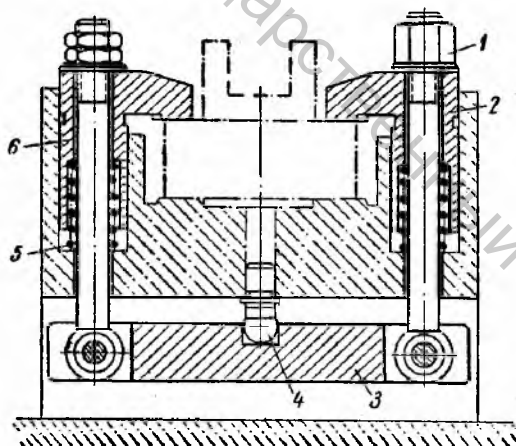
Рис. П.3.5. Зажим комбинированный (применяется для крепления заготовки одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях; при освобождении заготовки зажимающие кулачки откидываются)

а



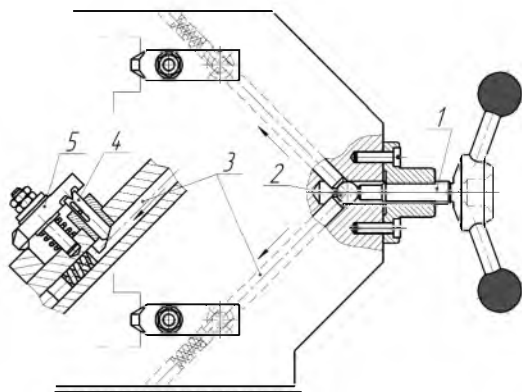
Сила зажима, развиваемая гайкой 1, передается рычагам 3, а через них тягам 5 и Г-образным прихватам 6; вместо гайки можно использовать шток привода. Промежуточная втулка 2 и шарнирная тяга 4 обеспечивают поворот рычагов навстречу друг другу. Возврат прихватов в исходное положение производится пружинами. Перед установкой очередной детали прихваты поворачивают на 90°

б



При затягивании гайки 1 сила зажима передается прихвату 2 и одновременно через шарнирное коромысло 3, покачивающееся на сферической опоре 4, — прихвату 6. В исходное положение прихваты возвращаются под действием пружин 5

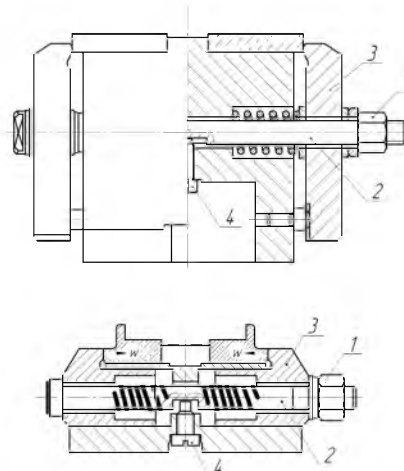
в



Через штурвал винта 1 сила зажима передается шарiku 2, а от него плунжерам 3 и 4. Плунжеры 4 приводят в действие прихваты 5, зажимающие детали в двух точках

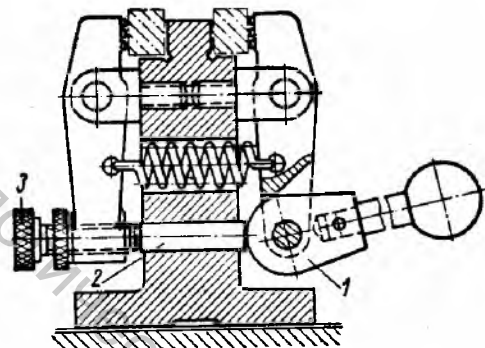
Рис. П.3.6. Силовые механизмы с 2-мя ведомыми звеньями

г



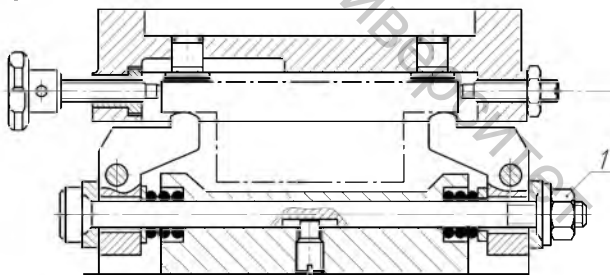
Сила зажима создается гайкой 1 и с помощью стягивающего стержня 2 одновременно передается прихватам 3. От поворота стержень 2 предохраняется винтом 4. Так как система плавающая, то между отверстием в корпусе и стержнем предусмотрен зазор, а между гайкой и прихватами — сферические шайбы. Возврат в исходное положение осуществляется под действием пружин. Нижний прихват более компактный. Гайки можно заменить штоком плавающего цилиндра

д



Механизм аналогичен предыдущему. Зажим производится эксцентриком 1, передающим давление на левый прихват с помощью плавающего плунжера 2. Для регулировки механизма предусмотрен винт 3

е



Двухзвенный механизм для поджима детали снизу вверх вращением гайки 1

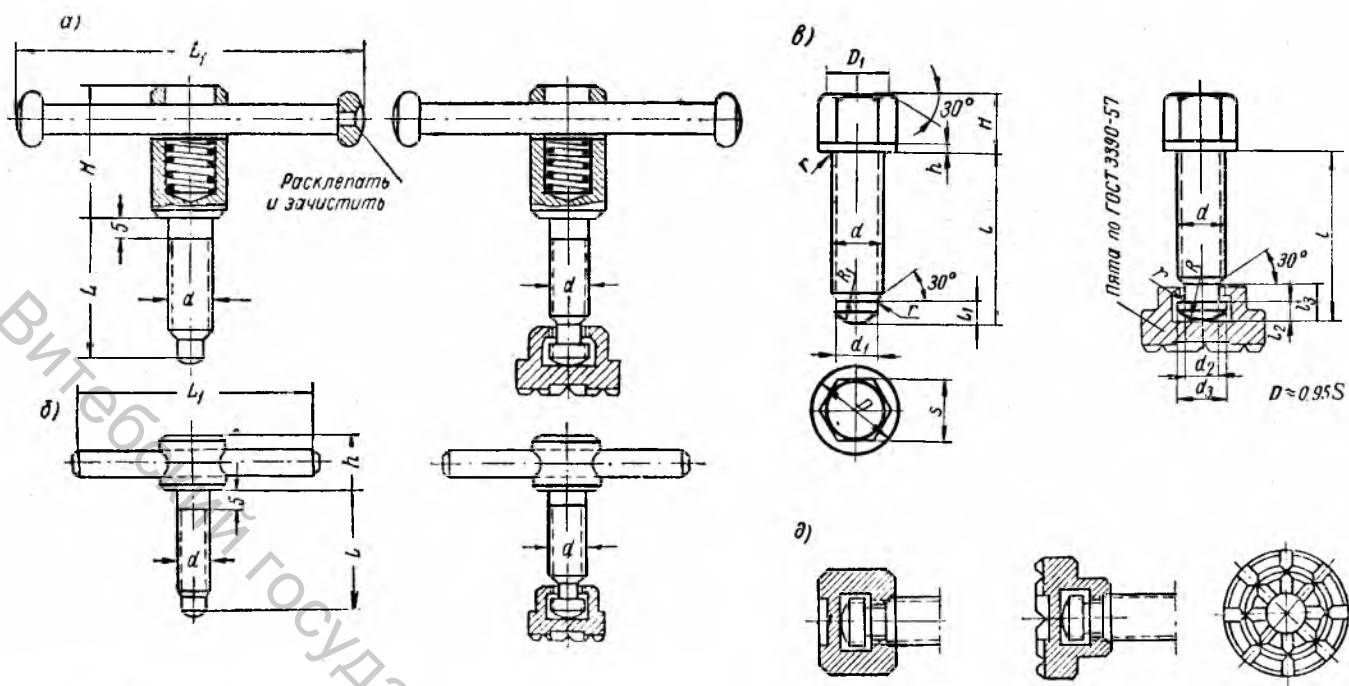


Рис. П.3.7. Стандартные нажимные винты и пяты:

а- с подвижной ручкой; б- с неподвижной; в- с шестигранной головкой; г- с шестигранным углублением под ключ; д- пяты к винтам.

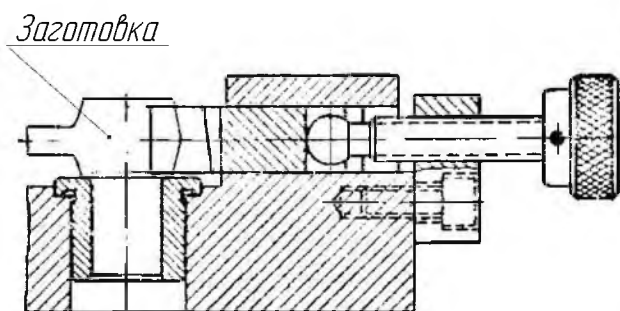


Рис. П.3.8. Зажим центрирующей призмой (применяется преимущественно в приспособлениях для сверления)

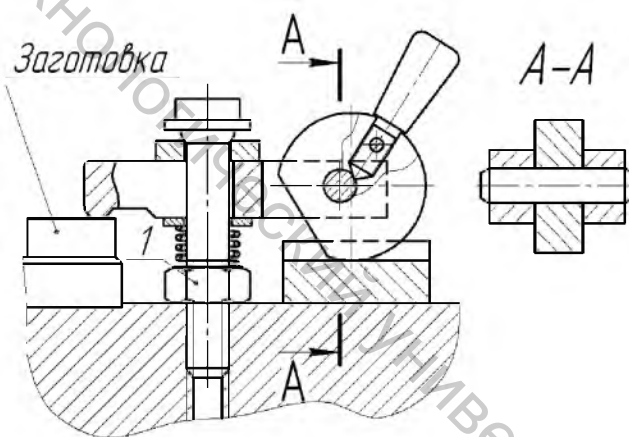


Рис. П.3.9. Зажим эксцентриковый с отводным прихватом (положение прихвата по высоте регулируется контргайкой 1; при установке и съемке изделия прихват отводится вместе с эксцентриком)

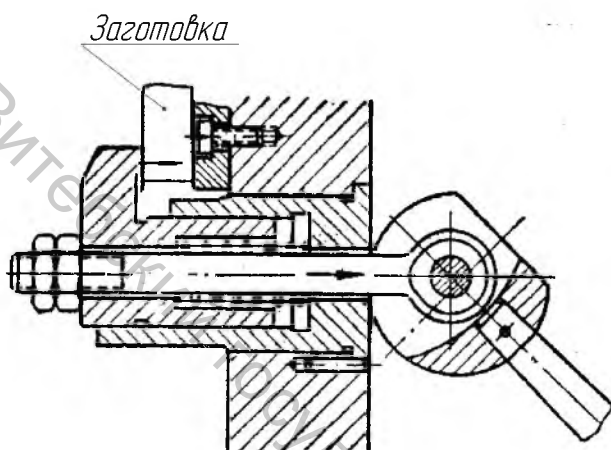


Рис. П.3.10. Зажим эксцентриковый с костылем

(применяется в тех случаях, когда требуется крепление заготовки по боковой поверхности; для съема заготовки костыль отводится в сторону)

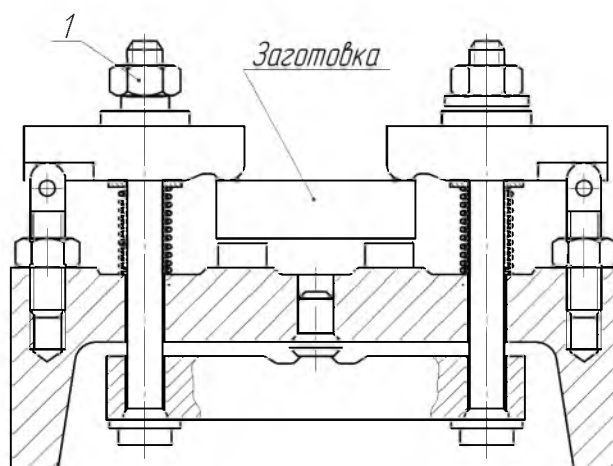


Рис. П.3.11. Зажим поворотными прихватами

(применяется для одновременного крепления заготовки двумя прихватами; положение прихватов по высоте регулируется гайкой 1)

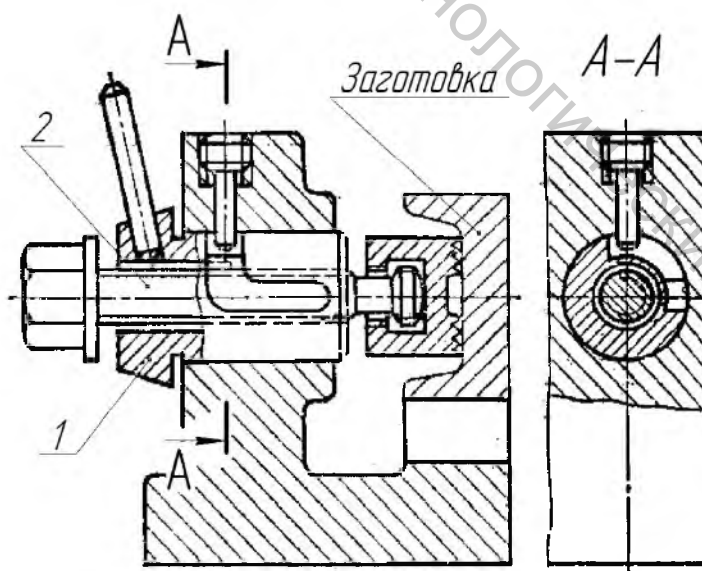


Рис. П.3.12. Зажим байонетный

(наличие байонетного паза позволяет быстро подводить и отводить гайку 1, несущую зажимающий болт 2; после подвода производят окончательное крепление заготовки болтом; применяется в случае углубленного труднодоступного расположения зажимаемой поверхности заготовки)

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 НАПРАВЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

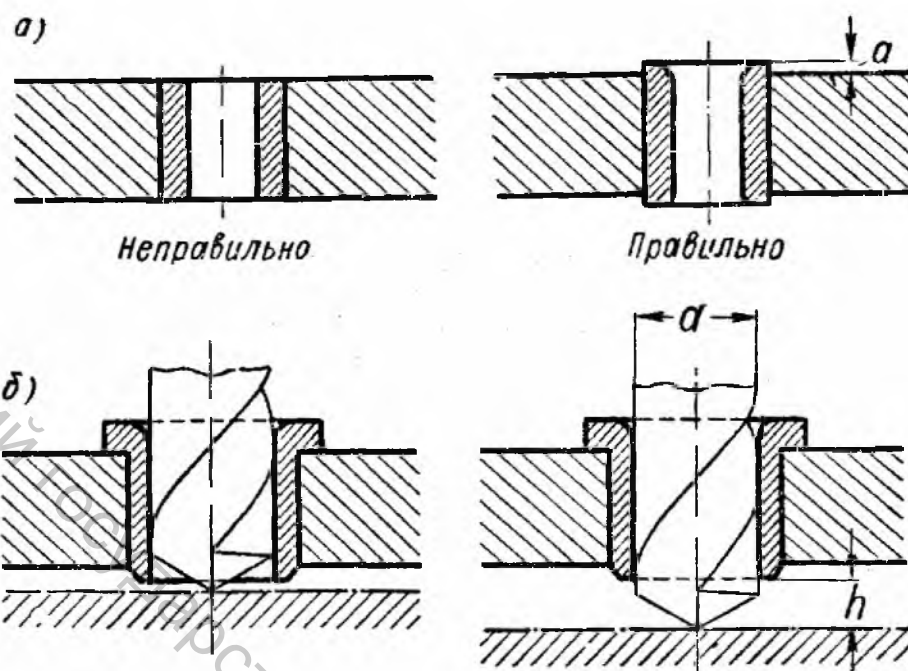


Рис. П.4.1. Постоянные кондукторные втулки:
а- с буртиком; б- без буртика

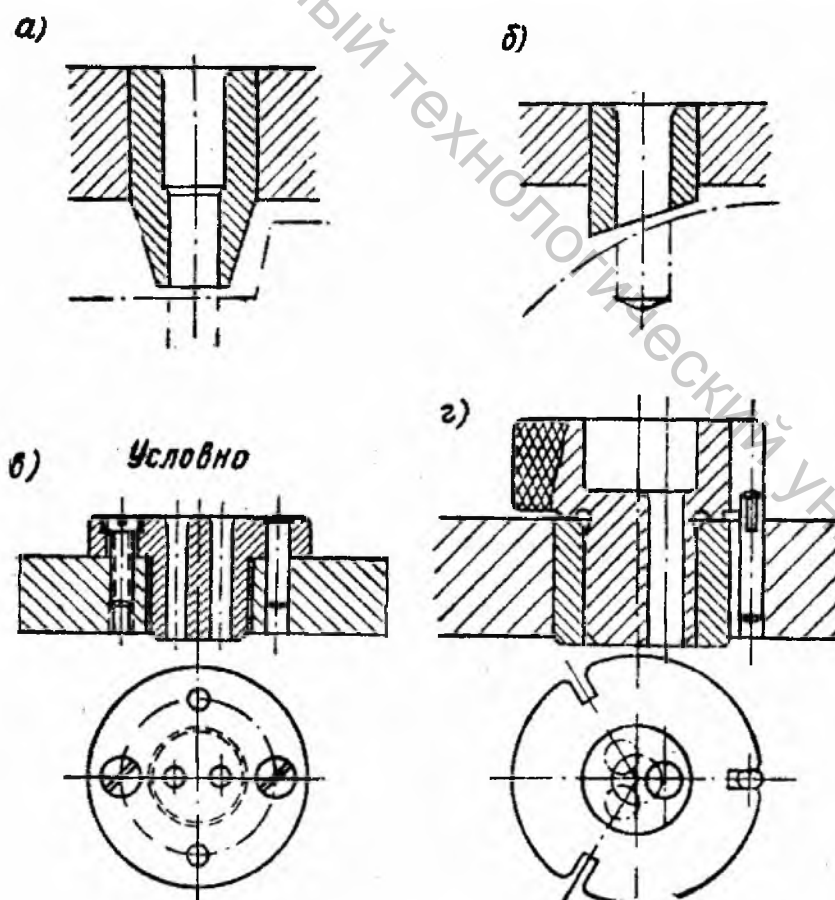


Рис. П.4.2. Специальные кондукторные втулки

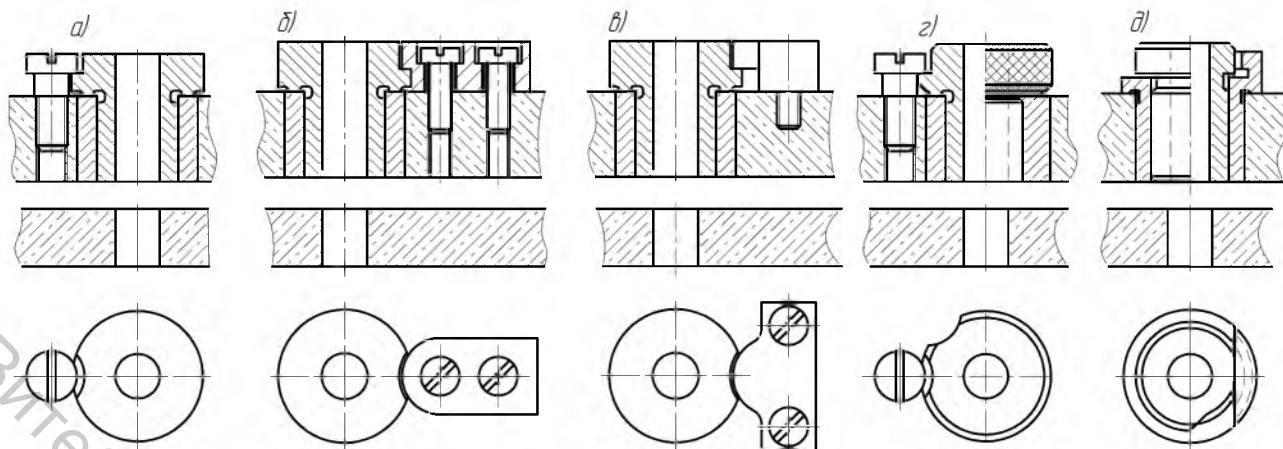


Рис. П.4.3. Сменные (а,б,в) и быстросменные (г,д) втулки, устанавливаемые в переходных втулках

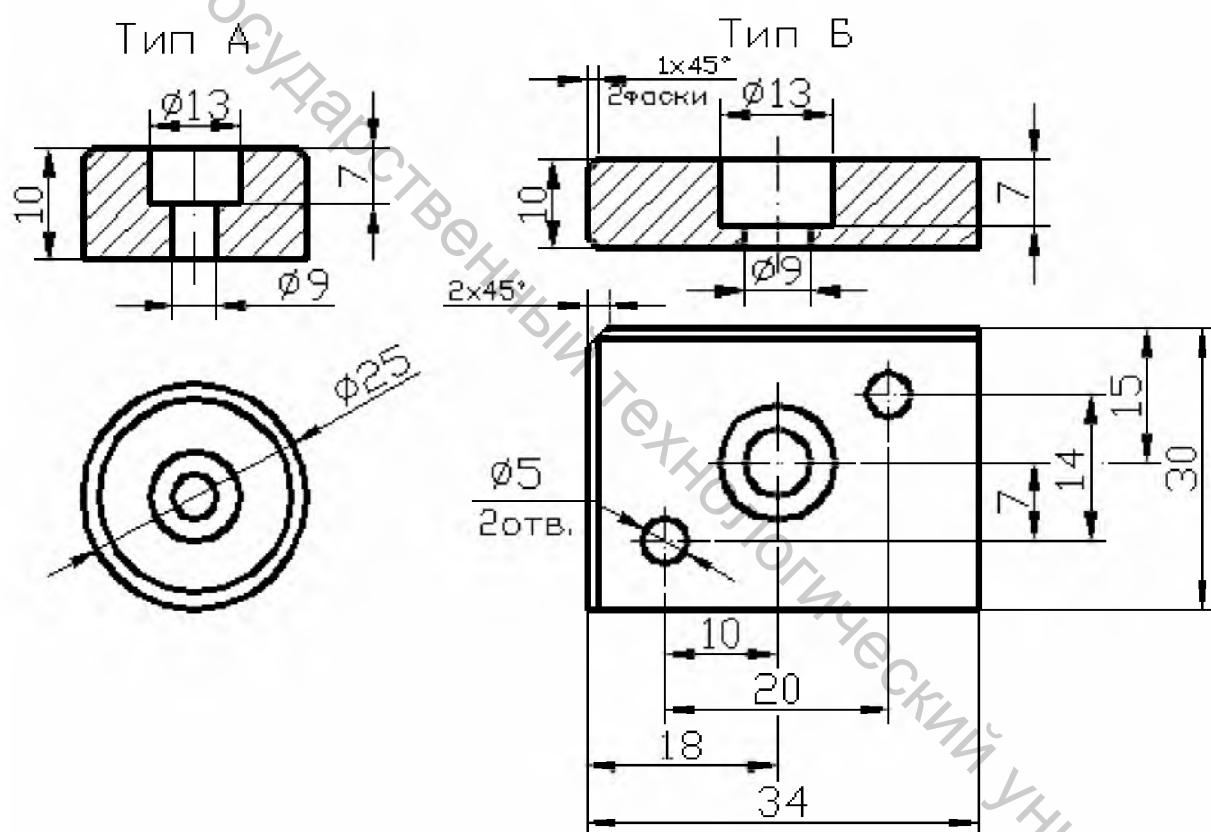


Рис. П.4.4. Установы для фрез высотные

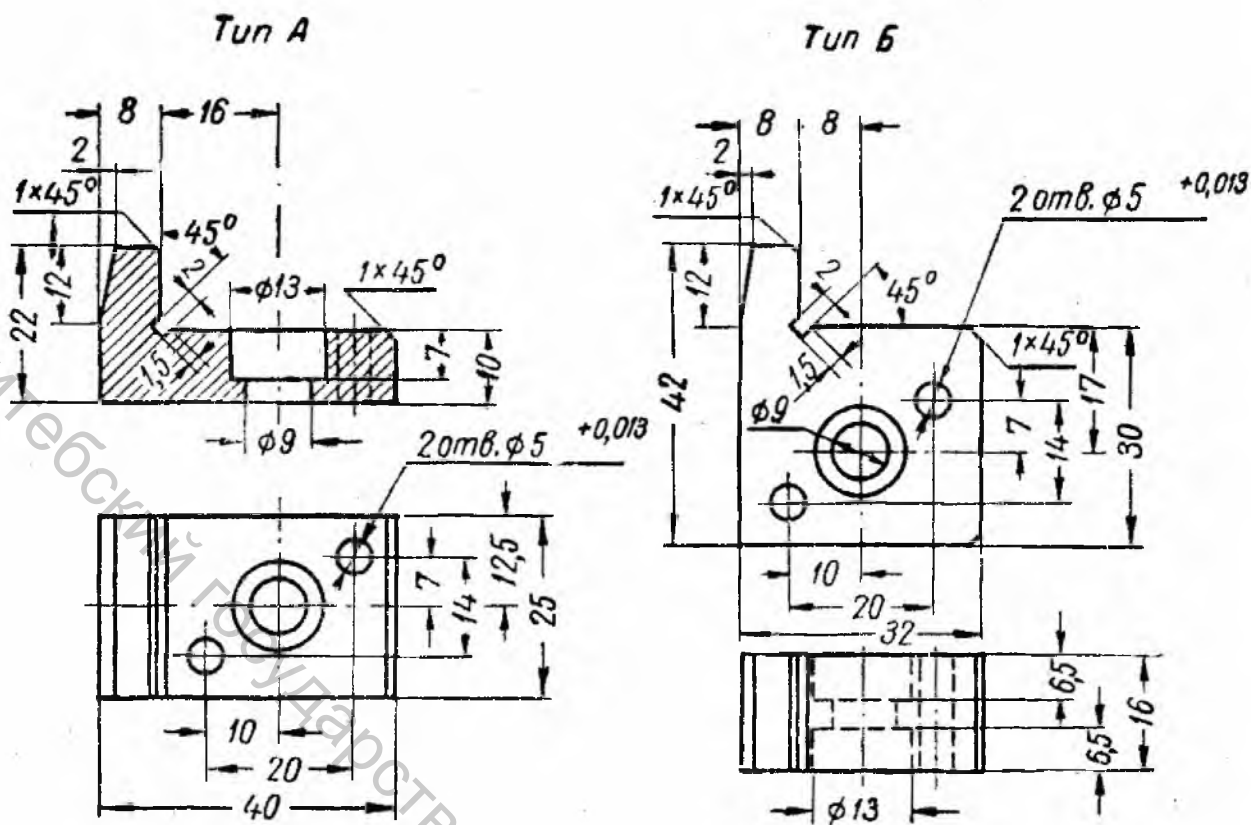


Рис. П.4.5. Стандартные угловые установки

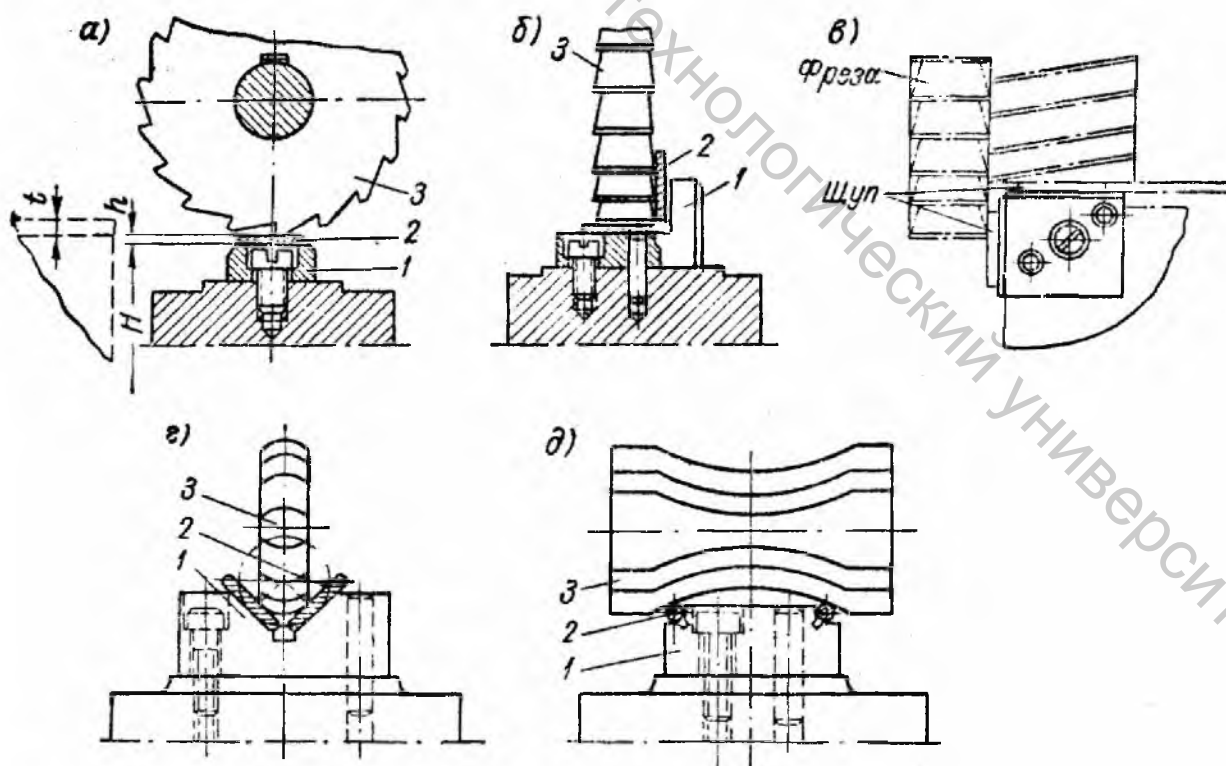
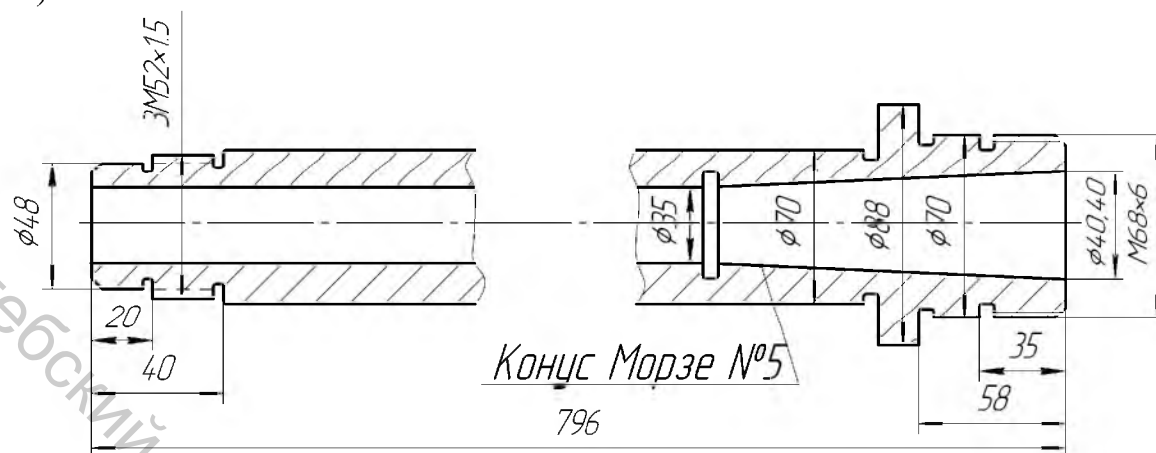


Рис. П.4.6. Примеры ориентации фрез по установкам и щупам

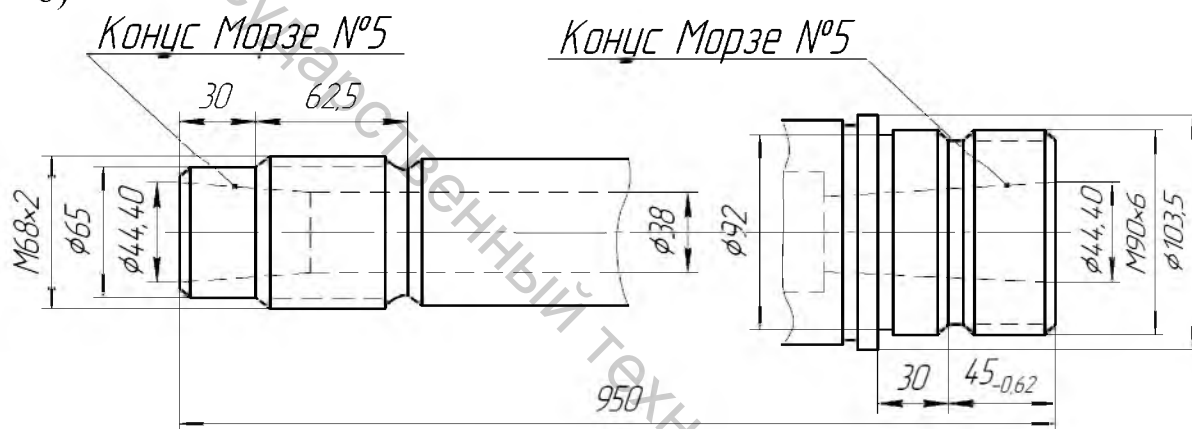
ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ПОСАДОЧНЫЕ МЕСТА СТАНКОВ

а)



б)



в)

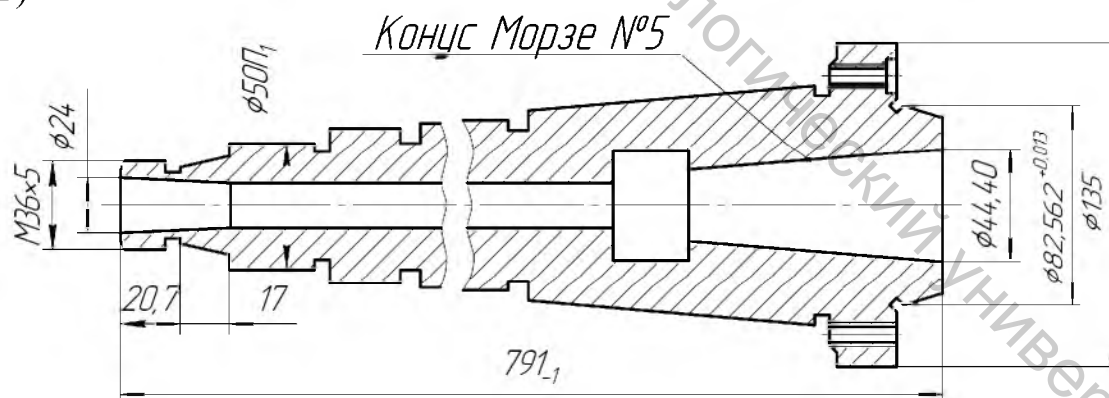


Рис. П.5.1. Шпиндели станков:
а- мод. 1615 и 1615м; б- 1К62; в- 1622

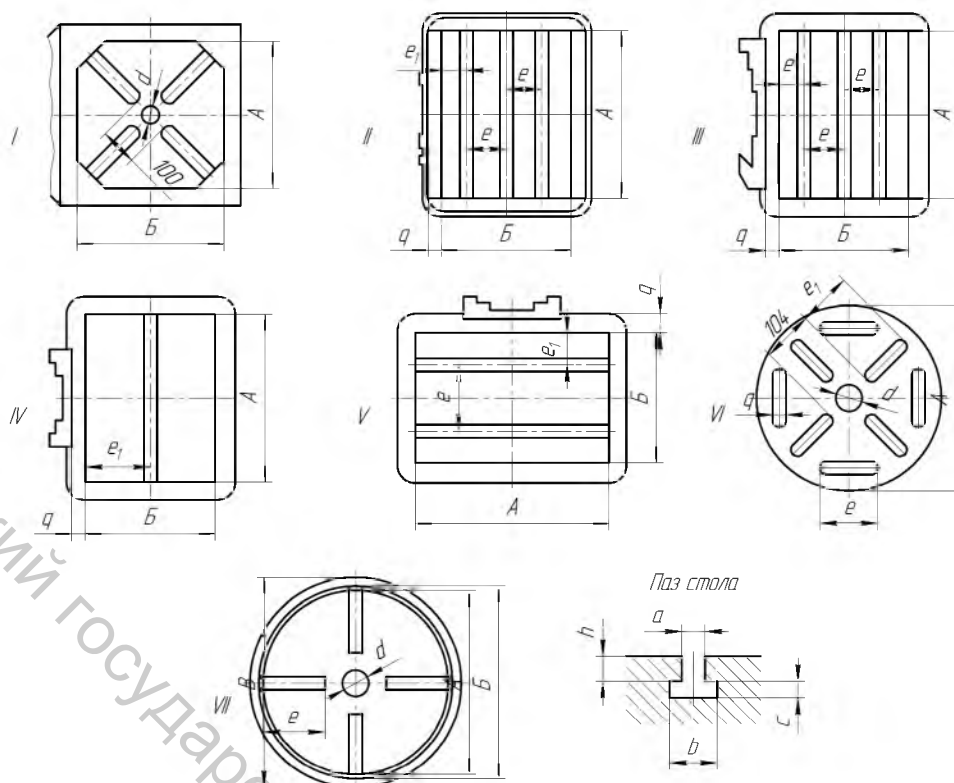
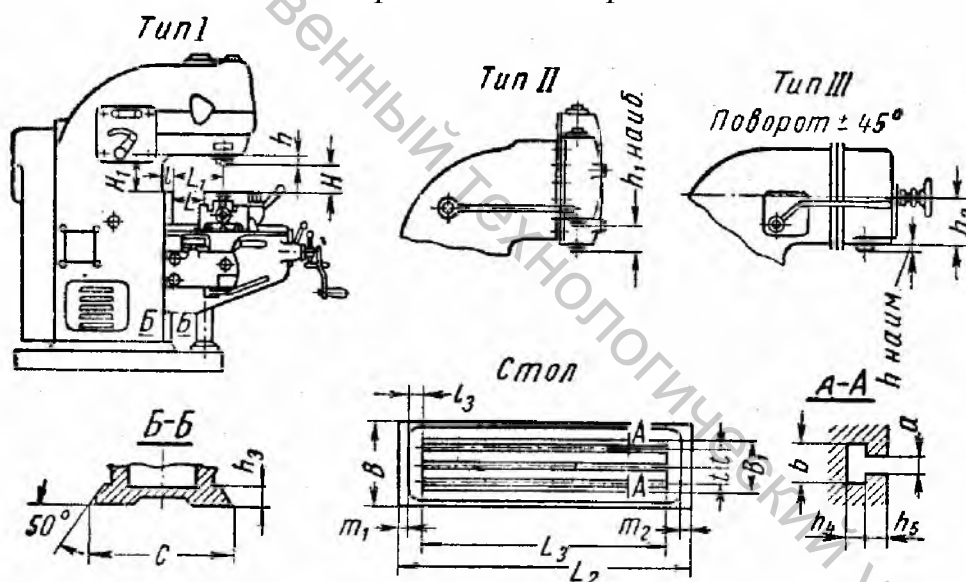


Рис. П.5.2. Столы вертикально-сверлильных станков



Шпиндели

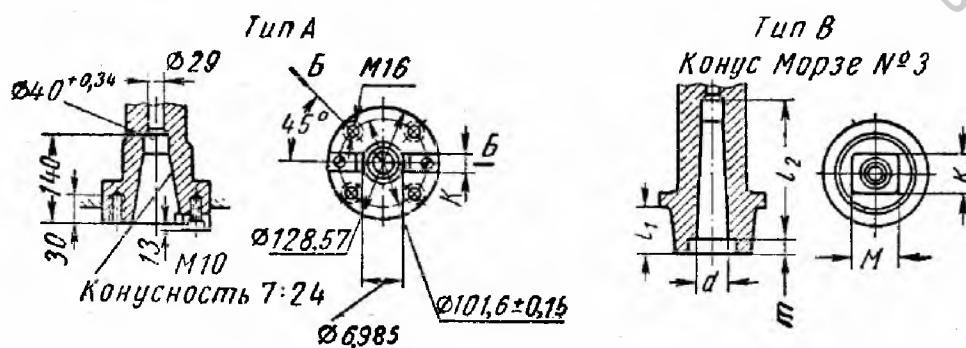


Рис. П.5.3. Столы вертикально-фрезерных станков

Ориентация приспособлений на станке

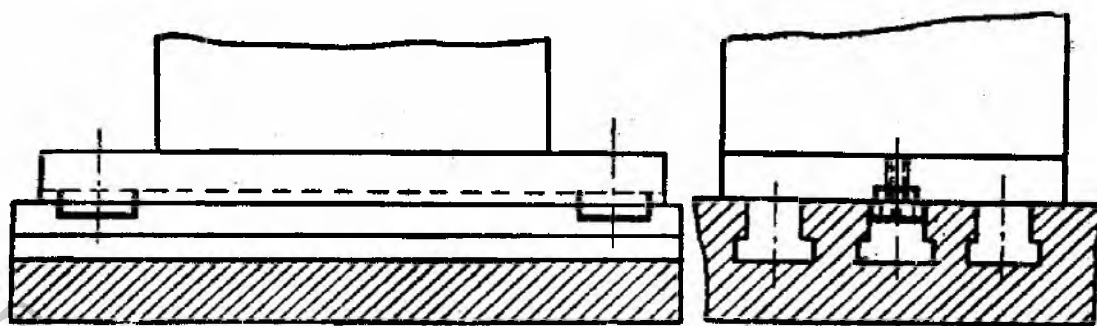


Рис. П.6.1. Схема ориентирования приспособления на столе станка с помощью шпонок, закрепленных на корпусе

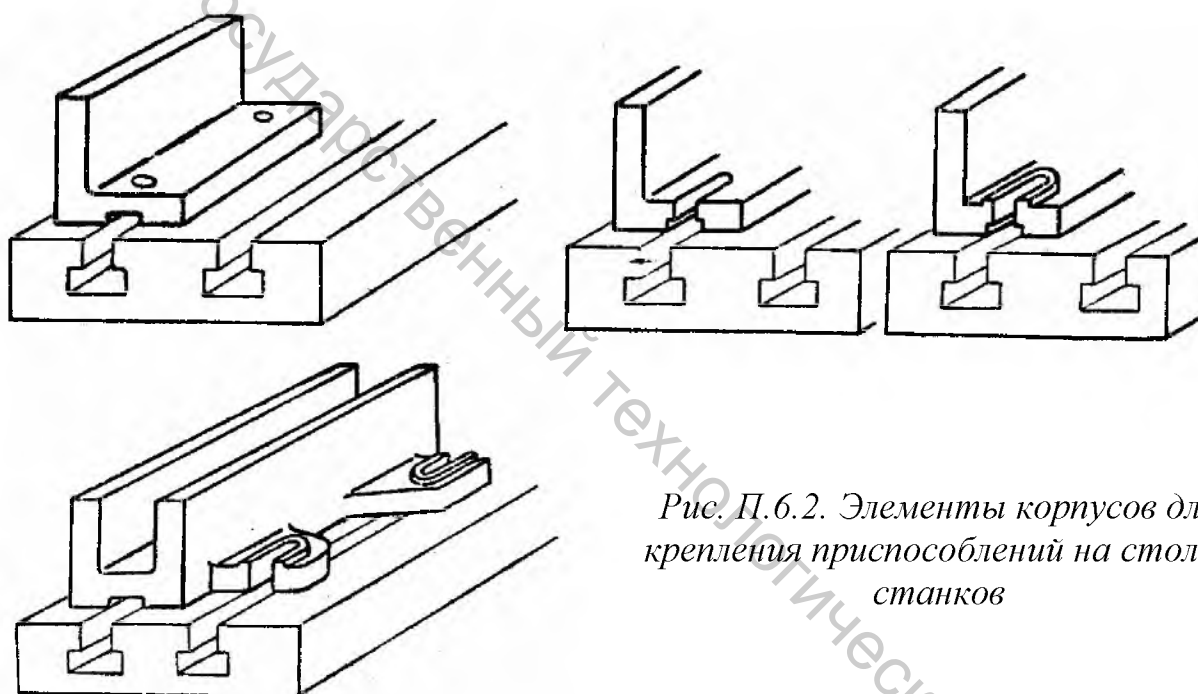


Рис. П.6.2. Элементы корпусов для крепления приспособлений на столах станков

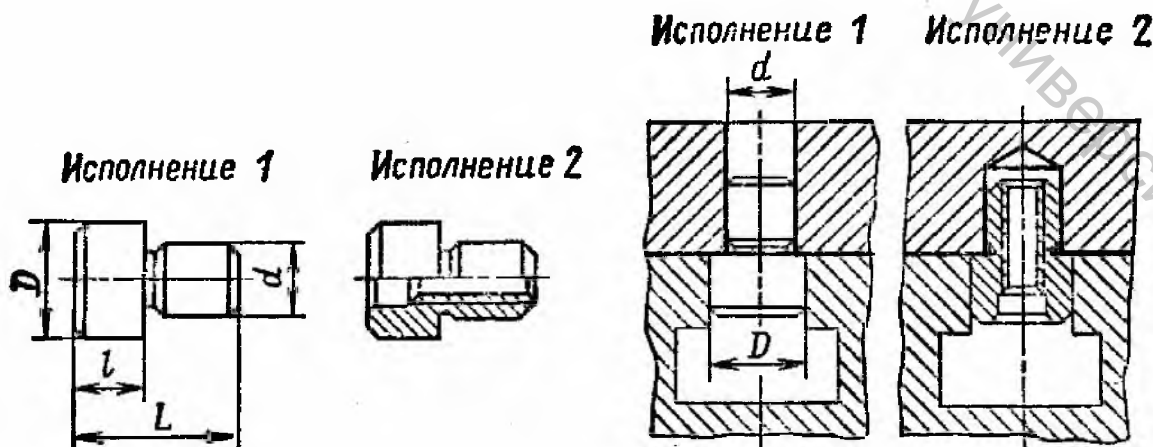


Рис. П.6.3. Шпонки круглые

Исполнение 1 Исполнение 2 Исполнение 3

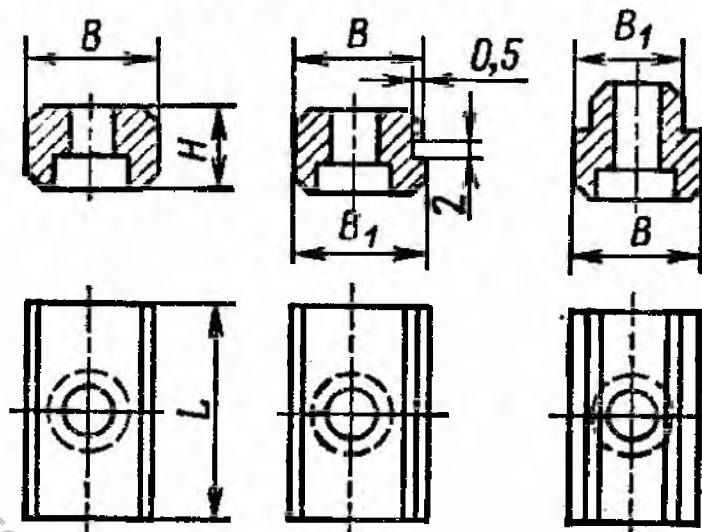


Рис. П.6.4. Шпонки призматические привертные

КЛАССИФИКАТОР ПЕРЕХОДОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

№	Наименование переходов
	токарные (в операциях: токарно-револьверная; токарно-карусельная; 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
008	накатывание рифлений
009	отрезание
	расточные (в операциях: агрегатная; горизонтально-расточная; вертикально-расточная; координатно-расточная; алмазно-расточная; программно-комбинированная)
010	расточивание продольное резцом
011	расточивание продольное блоком (пластиной)
012	расточивание алмазное
	сверлильные (в операциях: вертикально-сверлильная; горизонтально-сверлильная; радиально-сверлильная; токарно-револьверная; токарно-карусельная; токарная с ЧПУ; токарно-винторезная; токарно-автоматная; агрегатная; горизонтально-расточная; вертикально-расточная; координатно-расточная; программно-комбинированная)
013	сверление
014	рассверливание
015	зенкерование
016	развертывание
017	цекование
018	зенкование
019	глубокое сверление
020	зацентровка

№	Наименование
	<u>фрезерные</u> (в операциях: вертикально-фрезерная; горизонтально-фрезерная; продольно-фрезерная; программно-комбинированная)
021	фрезерование плоскости торцевой фрезой
022	фрезерование паза (уступа) концевой фрезой
023	фрезерование паза (уступа) дисковой фрезой
024	фрезерование фасонной фрезой (пазов и т. д.)
025	фрезерование окон концевой фрезой
026	фрезерование круговое (ЧПУ)
027	фрезерование специальной фрезой (Т-образ. ; ласточкин хвост)
	<u>строгально – долбежные</u> (в операциях: продольно-строгальная; поперечно-строгальная; долбежная)
028	строгание продольное
029	строгание врезное (поперечное)
030	долбление пазов (врезное)
031	долбление окон
	<u>протяжные</u> (в операциях: горизонтально-протяжная; вертикально-протяжная; прошивочная)
032	протягивание наружное (полоскостей пазов и пр.)
033	протягивание внутреннее пазов (шпоночных)
034	протягивание круглых отверстий
035	протягивание некруглых отверстий
036	протягивание шлицевых отверстий
037	прошивание отверстий (круглых и некруглых)
038	прошивание шлицевых отверстий
	<u>шлифовальные</u> (в операциях: круглошлифовальная; плоскошлифовальная; бесцентровошлифовальная; координатношлифовальная; ленточно-шлифовальная)
039	круглое наружное врезное шлифование
040	круглое наружное продольное шлифование
041	круглое наружное бесцентровое врезное шлифование
042	круглое наружное бесцентровое продольное шлифование
043	круглое внутреннее врезное шлифование
044	круглое внутреннее продольное шлифование
045	плоское продольное шлифование периферией круга
046	плоское продольное шлифование торцом круга
047	плоское врезное шлифование
048	планетарно – координатное шлифование
049	круглое глубинное шлифование
050	плоское глубинное шлифование
051	ленточное шлифование

№	Наименование
	<u>отделочно-абразивные</u> (в операциях: хонинговальная; суперфинишная; полировальная; доводочная)
052	хонингование отверстий
053	суперфиниширование круглое наружное
054	доводка полноконтактная круглая наружная
055	доводка полноконтактная круглая внутренняя
056	доводка полноконтактная плоская
057	полирование эластичным кругом круглое
058	полирование эластичным кругом внутреннее
059	полирование эластичным кругом плоское
060	полирование шкуркой
	отделочные без снятия стружки (ППД) (в операциях: токарная; токарно-револьверная; протяжная)
061	выглаживание круглое наружное
062	выглаживание круглое внутреннее
063	дорнирование
064	обкатывание круглое шариком
065	обкатывание круглое роликом
066	раскатывание круглое шариком
067	раскатывание круглое роликом
	<u>резьбообрабатывающие</u> (в операциях: токарная; токарновинторезная; резьбофрезерная; резьбошлифовальная; резьбонакатная)
068	нарезание резьбы резцом наружное
069	нарезание резьбы резцом внутреннее
070	нарезание резьбы плашкой
071	нарезание резьбы винтовой головкой
072	нарезание резьбы метчиком
073	фрезерование резьбы дисковой фрезой
074	фрезерование резьбы групповой фрезой
075	фрезерование резьбы вихревое
076	накатывание резьбы кольцевыми роликами
077	накатывание резьбы винтовыми роликами
078	накатывание резьбы плоскими плашками
079	раскатывание резьбы бесстружечными метчиками
080	шлифование резьбы односточным кругом
081	шлифование резьбы многоточным кругом

№	Наименование
	<i>зубо – и шлицеобрабатывающие цилиндрических зубчатых венцов (в операциях: зубофрезерная; зубо- долбежная; зубошлифовальная; зубошевинговальная; зубопритирочная; зубозакругляющая)</i>
082	зубофрезерование модульными дисковыми фрезами
083	зубофрезерование модульными концевыми фрезами
084	зубофрезерование червячными модульными фрезами
085	зубодолбление наружное круглым долбняком
086	зубодолбление внутреннее
087	накатывание зубьев
088	зубозакругление
089	снятие фасок с зубьев
090	зубошевингование дисковым шевеком
091	зубошлифование фасонное (копирование образующей)
092	зубошлифование дисковым кругом (обкатка)
093	зубошлифование тарельчатыми кругами (обкатка)
094	зубошлифование червячным кругом (обкатка)
095	зубохонингование
096	доводка (притирка) зубьев <i>конических зубчатых венцов (в операциях: зубострогальная; зубофре- зерная; зубошлифовальная)</i>
097	зубострогание прямозубых колес
098	зубофрезерование дисковыми модульными фрезами
099	зубофрезерование торцевой резцовой головкой круговых зубьев
100	зубошлифование круговых зубьев
	<i>шлицевых поверхностей (в операциях: шлицефрезерная; шлицешлифо- вальная)</i>
101	фрезерование дисковыми фрезами
102	фрезерование червячными фрезами
103	шлифование одним дисковым кругом
104	шлифование раздельное (дна и боковых сторон)
	<i>прочие</i>
105	фрезерование наружной сферы резцовой головкой
106	фрезерование внутренней сферы
107	шлифование сферы торцом шлифовального круга
108	шабрение (плоскости, паза, направляющих)
109	закалка и низкотемпературный отпуск (HRC > 45)
110	термическое улучшение (HRC 28 – 32)
111	поверхностная закалка (HRC > 45)
112	искусственное старение (для чугуна)

КЛАССИФИКАТОР ПОВЕРХНОСТЕЙ



Рис. П.8.1. Классификатор типовых поверхностей вращения

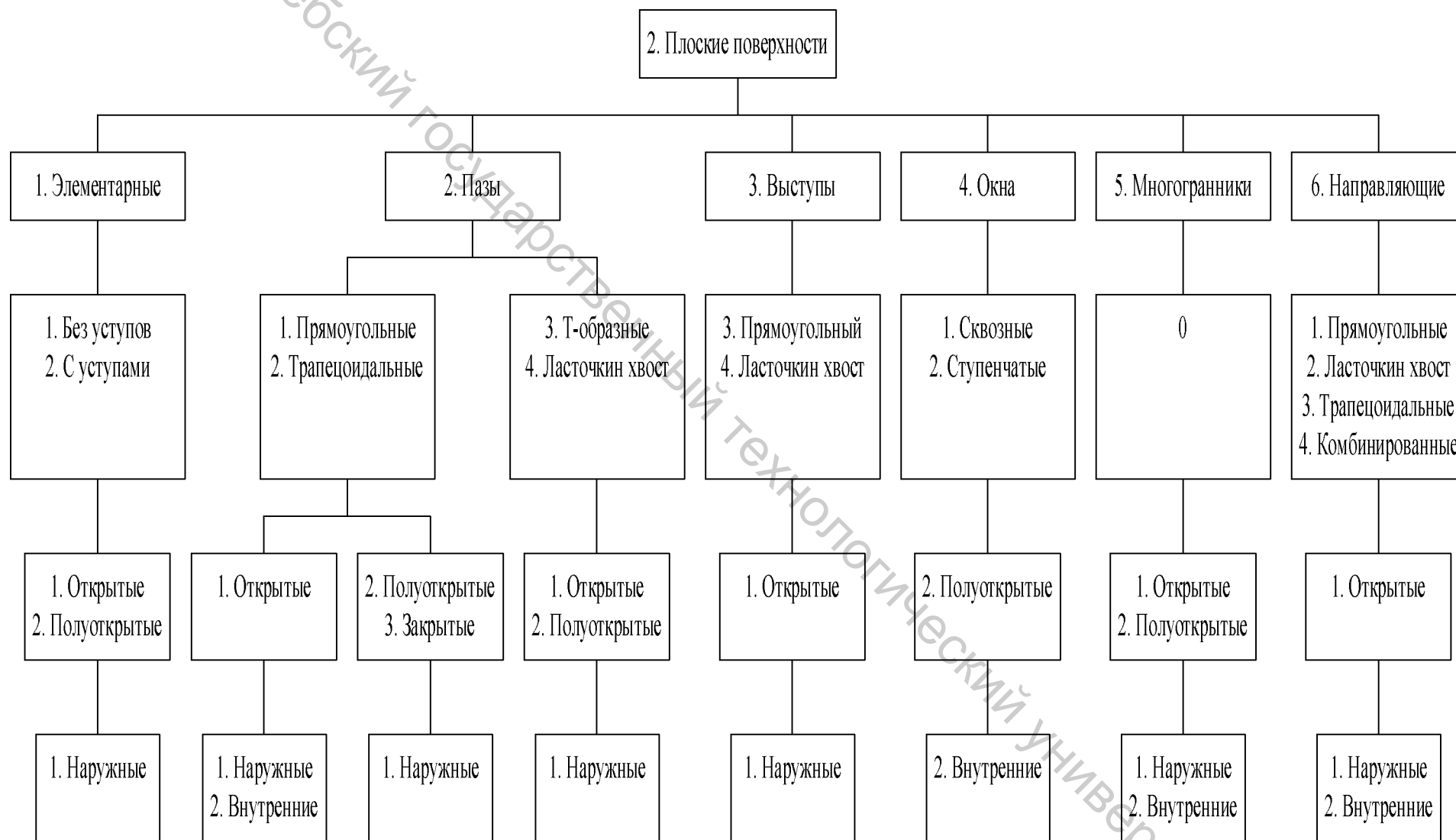


Рис. П.8.2. Классификатор типовых плоских поверхностей



Рис. П.8.3. Классификатор типовых винтовых поверхностей



Рис. П.8.4. Классификатор типовых зубчатых поверхностей



Рис. П.8.5. Классификатор типовых фасонных поверхностей вращения

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

СООТВЕТСТВИЕ КОДОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ПЕРЕХОДОВ

№	Код поверхности	Коды (номера) переходов
1	2	3
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;
6	111221	001; 002; 039; 040; 041; 049; 051; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
7	111231	01; 02; 39; 41; 61; 64; 65;
8	111212	003; 013; 014; 015; 016; 019; 020; 034; 037; 043; 044; 049; 052; 055; 058; 060; 062; 063; 066; 067
9	111222	003; 004; 013; 014; 015; 016; 017; 020; 043; 044; 055; 058; 060; 062; 066; 067
10	111232	003; 004; 043; 044; 049; 058; 060;
11	111311	001; 002; 006; 039; 040; 041; 049; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
12	111321	001; 002; 006; 039; 040; 049; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
13	111312	003; 004; 007; 015; 016; 018; 043; 044; 055; 058; 062;
14	111322	003; 004; 007; 015; 016; 043; 044; 055; 058; 062;
15	112121	002; 039;
16	112122	004; 043;
17	112221	002; 039;
18	112222	004; 043;
19	113121	004;
20	113221	004;
21	113321	004+003+003;
22	113421	004+003+003;
23	114121	002;
24	114122	004;
25	114221	002;
26	114222	004;
27	121111	022; 023;
28	121211	022;
29	122111	022; 023; 029; 047;
30	122121	022;
31	122112	030; 033;
32	122211	024; 029;
33	122311	027; 029; 032; 047; 050;
34	122321	027;
35	122411	027; 029; 032; 047; 050;
36	122421	027;

Продолжение приложения 9

1	2	3
37	122111	021; 022; 023; 032; 047; 050;
38	122211	024; 027; 047; 050;
39	125011	021; 022; 023; 045; 046; 050;
40	125021	021; 022; 023; 045; 046; 050;
41	125012	030; 035; 037;
42	125022	030;
43	131111	068; 070; 071; 074; 076; 077; 078; 080; 081;
44	131121	068; 070; 071; 074; 076; 077; 078; 080;
45	131112	069; 072; 074; 079; 080;
46	131122	069; 072; 074; 080;
47	131221	068; 070; 074; 080;
48	131222	069; 072; 074; 080;
49	131311	068; 073; 075; 077; 080;
50	131321	068; 073; 075; 077; 080;
51	131312	069; 072; 079; 080;
52	131411	068;
53	131412	069;
54	131511	068; 070; 080;
55	131512	069; 072; 080;
56	131611	068; 073; 075; 080;
57	131612	069; 072; 079; 080;
58	132111	068; 073; 075; 080;
59	132211	068; 073; 075; 080;
60	141111	024; 029; 030; 032; 047; 050;
61	141211	024; 029; 030; 032; 047; 050;
62	142111	082; 083; 084; 085; 087; 088; 089; 090; 091; 092; 093; 094; 095; 096;
63	142112	086; 090; 095; 096;
64	142121	083; 085; 087; 090; 095;
65	142122	086; 090; 095;
66	142211	082; 083; 084; 087; 088; 089; 090; 091; 092; 093; 094; 095; 096;
67	142221	083; 085; 087; 090; 095; 096;
68	142212	086; 090; 095; 096;
69	132222	086; 090; 095; 096;
70	143111	097; 098;
71	143211	099; 100;
72	144021	084;
73	145111	101; 102; 103; 104;
74	145112	036; 038;
75	145121	101; 102; 103; 104;
76	145211	102; 103;

1	2	3
77	145212	036; 038;
78	145221	102; 103;
79	145311	008; 101; 103;
80	145312	036; 038;
81	145321	008; 101; 103;
82	146011	101; 103;
83	146012	030; 035;
84	151111	002; 006; 039; 041; 105;
85	151112	004; 007; 018; 043; 106; 107;
86	151211	002; 006; 039; 041; 053; 054; 057; 060; 064; 065;
87	151212	004; 007; 043; 055; 058; 060; 066; 067;
88	151221	001; 002; 006; 039; 057; 060; 064; 065;
89	151222	003; 004; 007; 043; 058; 060; 066; 067;
90	151311	001; 006; 040; 051; 057; 060; 061; 064; 065;
91	151312	003; 007; 044; 051; 058; 060; 062; 066; 067;
92	152111	002; 006; 039;
93	152121	002; 006; 039;
94	152112	004; 007; 017; 043;
95	152122	004; 007; 017; 043;
96	152211	002; 006; 039; 057;
97	152212	007; 017; 043; 058;
98	152221	002; 006; 039; 057;
99	152222	007; 017; 043; 058;
100	152311	002; 006; 039; 057;
101	152312	004; 007; 043; 058;
102	211111	005; 017; 021; 045; 046; 050;
103	211211	001; 026;
104	211212	003; 004; 010; 011; 012; 013; 014; 015; 016; 020; 043; 044; 052; 062; 066; 067;
105	211221	001; 002; 039; 048;
106	211222	003; 004; 010; 011; 012; 014; 015; 016; 026; 043; 044; 048; 062;
107	211311	002; 006; 039; 048; 061;
108	211312	004; 007; 015; 016; 018; 043; 044; 062;
109	211322	004; 007; 015; 016; 018; 043; 062;
110	212121	002;
111	212122	003; 026;
112	212222	003; 026;
113	213121	003; 026;
114	213221	003; 026;
115	213321	004+003+003; 026;

1	2	3
116	214121	002;
117	214122	004;
118	214221	002;
119	214222	004;
120	231112	072;
121	231122	072;
122	231222	072;
123	221111	021; 028; 032; 045; 046; 047; 056; 059;
124	221211	021; 028; 032; 045; 046; 047; 056; 059;
125	221221	021;
126	222111	022; 023; 029; 032; 047; 050;
127	222112	030;
128	222121	022;
129	222131	022;
130	222311	027; 029; 032; 046; 050;
131	222321	027;
132	224122	025; 31;
133	224222	025;
134	226111	021; 023; 028; 029; 045; 046; 047; 056;
135	226112	022; 023; 028; 029; 047; 050;
136	226211	024; 027; 028; 029; 047; 050;
137	226212	024; 027; 028; 029; 047; 050;
138	226311	022; 023; 028; 029; 047; 050;
139	226312	022; 023; 028; 029; 047; 050;
140	226411	022; 023; 028; 029; 046; 047;
141	226412	022; 023; 028; 029; 046; 047;
142	252112	007; 011;
143	252122	007; 011;
144	252121	006;
145	252212	004; 007;
146	262312	004; 007;
147	311111	005; 017; 021; 045; 046; 047;
148	311212	010; 011; 012; 013; 014; 015; 016; 017; 034; 037; 048; 052; 062; 066; 067;
149	311222	010; 011; 012; 013; 014; 015; 016; 017; 048; 062;
150	311221	001; 002; 026; 048;
151	311232	002; 026;
152	311312	003; 007; 014; 015; 018; 048; 055;
153	312122	004; 026; 043; 048;
154	312222	004; 026; 043; 048;
155	314122	004;

Окончание приложения 9

1	2	3	
156	314222	004;	
157	321111	021; 028; 032; 045; 046; 047; 050; 056; 059;	
158	321211	021; 028; 032; 045; 046; 047; 050; 056; 059;	
159	322111	022; 023; 029; 032; 047; 050; 056; 059;	
160	326311	021; 024; 028; 029; 032; 045; 046; 047; 056;	
161	326312	024; 029; 032; 047; 050; 056;	
162	331112	072; 079;	
163	331122	072;	
164	341111	022; 024; 029; 032; 047;	
165	342111	029; 036; 038;	
166	345112	029; 036; 038;	
167	345212	029; 036; 038;	
168	345312	029; 036; 038;	
169	351112	007; 017; 055; 060; 106; 107;	
Первая цифра кода		1	2
Вид детали		Тело вращения	Некруглый стержень

ПРИЛЖЕНИЕ 10

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА, ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ВЫБОРА

Код пере-хода	Размеры	Припуск на сторо-ну	Показатели качества				Условия (HRC)
			Вход		Выход		
			IT	Ra	IT	Ra	
1	2	3	4	5	6	7	8
0014	D(10-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 20
0010	L(30-1000)	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)	Напуск	14...17	12,5...25	9...14	3,2...6,3	< 20
0021	L(2...30)	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
0034	D(10-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 20
0030	D(40-300)	2...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 20
0031	D(20-300)	1,5...4	17...19	25...60	12...14	6,3...12,5	< 20
0032	D(10-300)	1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	28...32
0033	L(30-1000)	0,3...0,5	8...10	0,8...3,2	6...7	0,2...0,8	28...32
0044	D(10...300)	Напуск	14...17	12,5...25	9...14	3,2...6,3	< 20
0041	L(2...30)	Напуск	14...17	12,5...25	12...14	6,3...12,5	< 20
0042		1...3	10...14	6,3...12,5	9...11	2,5...3,2	28...32
0054	D(10...300)	2...5	17...19	25...60	11...13	3,2...6,3	< 20
0050		2...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 20
0051		1,5...4	17...19	25...60	14...15	6,3...12,5	< 20
0052		1...2	14...15	6,3...12,5	11...13	0,8...3,2	28...32
0053		0,3...0,5	11...13	0,8...3,2	9...10	0,2...0,8	28...32
0064	D(10-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 20
0060	L(30-1000)	2...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 20
0061		1,5...4	17...19	25...60	12...14	6,3...12,5	< 20
0062		1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	28...32
0063		0,3...0,5	8...10	0,8...3,2	6...7	0,2...0,8	28...32
0074	D(10-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 20
0070	D(40-300)	2...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 20
0071	D(20-300)	1,5...4	17...19	25...60	12...14	6,3...12,5	< 20
0072	D(10-300)	1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	28...32
0073	L(30-1000)	0,3...0,5	8...10	0,8...3,2	6...7	0,2...0,8	28...32
0104	D(20-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 20
0100	D(40-300)	2...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 20
0101	D(20-300)	1,5...4	17...19	25...60	12...14	6,3...12,5	< 20
0102	D(20-300)	1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	28...32
0103	L(30-200)	0,3...0,5	8...10	0,8...3,2	6...7	0,2...0,8	28...32

Продолжение приложения 10

1	2	3	4	5	6	7	8
0114	D(20-300)	2...5	17...19	25...60	10...12	3,2...6,3	< 20
0110	D(40-300)	3...5	17...19	25...60	15...16	12,5...25	< 20
0111	D(20-300)	2...4	17...19	25...60	12...14	6,3...12,5	< 20
0112	D(20-300)	1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	28...32
0113	L(30-200)	0,3...0,5	8...10	0,8...3,2	6...7	0,2...0,8	28...32
0123	D(15...200)	0,2...0,3	7...8	2,5...3,2	5...6	0,2...0,6	28...32
0134	D(5...25)	Напуск			10...14	6,3...12,5	< 32
0144	D(25...80)	Напуск	12...14	6,3...12,5	12...14	6,3...12,5	< 32
0154	D(10...60)	1...10	12...17	12,5...50	10...13	6,3...12,5	< 20
0151	D(10...60)	1...10	12...17	12,5...50	10...13	6,3...12,5	< 20
0152	D(10...60)	0,5...1,5	10...13	6,3...12,5	9...11	3,2...6,3	28...32
0161	D(10...60)	0,05...0,1	10...14	6,3...12,5	9...10	3,2...6,3	< 20
0162	D(10...60)	0,03...0,06	9...10	3,2...6,3	7...8	1,6...3,2	< 20
0163	D(10...60)	0,02...0,03	7...8	1,6...3,2	5...6	0,4...0,8	28...32
0174	D(10...60)	Напуск			9...14	3,2...6,3	< 20
0184	D(10...60)	Напуск			9...13	3,2...6,3	< 20
0182	D(10...60)	0,5...1,5	11...14	3,2...6,3	8...9	0,8...1,6	28...32
0194	D(10...60) L > 6D	Напуск			9...11	2,5...6,3	< 20
0200	D(60...120)	Напуск			12...14	2,5...6,3	< 20
0214	B(40...250)	4...6	16...20	25...50	9...11	2,5...6,3	<32
0211		4...6	16...20	25...50	11...13	6,3...12,5	<20
0212	B<D	1,5...2	11...13	6,3...12,5	8...10	1,6...6,3	<32
0213		1...1,5	8...10	1,6...6,3	7...8	0,6...1,25	28...32
0224		Напуск	16...20	25...50	9...11	2,5...6,3	<32
0221	B<100	Напуск	16...20	25...50	11...13	6,3...12,5	<20
0222	B<D	2...3	11...13	6,3...12,5	8...10	1,6...6,3	<32
0223		1...1,5	8...10	1,6...6,3	7...8	0,6...1,25	28...32
0234		Напуск	16...20	25...50	9...11	2,5...6,3	<32
0231	B<100	Напуск	16...20	25...50	11...13	6,3...12,5	<20
0232		2...3	11...13	6,3...12,5	8...10	1,6...6,3	<32
0233		1...1,5	8...10	1,6...6,3	7...8	0,6...1,25	28...32
0244		Напуск			11...13	6,3...12,5	<32
0241	B<100	Напуск			12...14	6,3...12,5	<20
0242		1...2	12...14	6,3...12,5	9...11	2,5...5	28...32
0254		3...5	16...20	25...50	11...13	6,3...12,5	<32
0251	B<100	3...5	16...20	25...50	12...14	6,3...12,5	<20
0252		1...2	12...14	6,3...12,5	8...10	1,6...2,5	28...32
0264	B<6	Напуск			12...14	6,3...12,5	<32
0274		Напуск			10...12	6,3...12,5	<32
0271	B<100	Напуск			12...14	6,3...12,5	<20
0272		1...2			9...11	1,6...2,5	28...32

Продолжение приложения 10

1	2	3	4	5	6	7	8
0284	B<350	4...6	16...20	25...50	10...12	3,2...6,3	<32
0281		5...8	16...20	25...50	12...14	6,3...12,5	<20
0282		2...3	12...14	6,3...12,5	9...11	2,5...6,3	<32
0283		1...1,5	9...11	2,5...6,3	7...8	0,8...1,6	28...32
0294	B<40	Напуск	12...14	6,3...12,5	10...12	3,2...6,3	<32
0291		Напуск			12...14	6,3...12,5	<20
0292		1,5...2,5			9...11	1,6...2,5	28...32
0304	B<40	Напуск	12...14	6,3...12,5	10...12	3,2...6,3	<32
0301		Напуск			12...14	6,3...12,5	<20
0302		1,5...2,5			9...11	1,6...2,5	28...32
0314	B>25	2,5...5	16...20	25...50	10...12	3,2...6,3	<32
0311	H>25	2,5...5	16...20	25...50	11...13	12,5...25	<20
0312		1,5...2,5	11...13	12,5...25	8...10	2,5...6,3	28...32
0324	L<150	2,5...5	16...20	25...50	10...12	3,2...6,3	<32
0321		3...6	16...20	25...50	9...11	6,3...12,5	<20
0322		2...3	9...11	6,3...12,5	7...9	1,6...3,2	<32
0323		1...2	7...9	1,6...3,2	6...8	0,2...1,25	28...32
0334	L<2D	Напуск	9...11	3,2...6,3	7...9	1,2...3,2	<20
0331		Напуск			9...11	3,2...6,3	<32
0332		0,6...1,2			6...8	0,32...1,25	28...32
0344	L<2D	2...3	15...18	12,5...25	8...9	0,8...3,2	<32
0341		3...4	14...17	25...50	10...11	6,3...12,5	<20
0342		1...2,5	10...11	6,3...12,5	8...9	0,8...3,2	<32
0343		0,5...1	8...9	0,8...3,2	6...7	0,2...1,25	28...32
0354	L<2D	2...3	15...18	12,5...25	8...9	0,8...3,2	<32
0351		3...4	14...17	25...50	10...11	6,3...12,5	<20
0352		1...2,5	10...11	6,3...12,5	8...9	0,8...3,2	<32
0353		0,5...1	8...9	0,8...3,2	6...7	0,2...1,25	28...32
0364	L<2D	Напуск	10...11	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	<32
0361		Напуск			10...11	6,3...12,5	<20
0362		1,5...2,5			8...10	0,8...3,2	<32
0363		0,5...1			6...8	0,2...1,25	28...32
0374	L<2D	2...3	15...18	12,5...25	8...9	0,8...3,2	<32
0371		3...4	14...17	25...50	10...11	6,3...12,5	<20
0372		1...2,5	10...11	6,3...12,5	8...9	0,8...3,2	<32
0373		0,5...1	8...9	0,8...3,2	6...7	0,2...1,25	28...32
0384	L<2D	Напуск	10...11	6,3...12,5	8...10	0,8...3,2	<32
0381		Напуск			10...11	6,3...12,5	<20
0382		1,5...2,5			8...10	0,8...3,2	<32
0383		0,5...1			6...8	0,2...1,25	28...32
0394	L<H _{шк} H _{шк} =32... 80	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,1...1,25	
0391		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,25...2,5	
0392		0,15...0,2	8...10	1,25...2,5	6...7	0,2...1,25	
0393		0,05...0,1	6...7	0,2...1,25	5...6	0,05...0,2	

Продолжение приложения 10

1	2	3	4	5	6	7	8
0404	L>H _{IIIK} H _{IIIK} =32... 80	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,1...1,25	
0401		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,25...2,5	
0402		0,15...0,2	8...10	1,25...2,5	6...7	0,2...1,25	
0403		0,05...0,1	6...7	0,2...1,25	5...6	0,05...0,2	
0414	L<H _{IIIK} H _{IIIK} =100... 400	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,6...1,25	
0411		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,25...2,5	
0412		0,15...0,2	8...10	1,25...2,5	6...7	0,2...1,25	
0413		0,05...0,1	6...7	0,2...1,25	5...6	0,05...0,2	
0424	L<H _{IIIK} H _{IIIK} =100... 400	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,6...1,25	
0421		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,25...2,5	
0422		0,15...0,2	8...10	1,25...2,5	6...7	0,2...1,25	
0423		0,05...0,1	6...7	0,2...1,25	5...6	0,05...0,2	
0434	D>25 L<D	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,6...1,25	
0431		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,6...2,5	
0432		0,15...0,2	8...10	1,6...2,5	6...7	0,32...1,6	
0433		0,05...0,1	6...7	0,32...1,6	5...6	0,08...0,25	
0444	D>25 L>D	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,6...1,25	
0441		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,6...2,5	
0442		0,15...0,2	8...10	1,6...2,5	6...7	0,32...1,6	
0443		0,05...0,1	6...7	0,32...1,6	5...6	0,08...0,25	
0454	B> H _{IIIK} H _{IIIK} =32... 80	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,6...1,25	
0451		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,6...2,5	
0452		0,15...0,2	8...10	1,6...2,5	6...7	0,32...1,6	
0453		0,05...0,1	6...7	0,32...1,6	5...6	0,05...0,2	
0464	B< D _{IIIK} D _{IIIK} =80... 200	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,6...1,25	
0461		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,6...2,5	
0462		0,15...0,2	8...10	1,6...2,5	7...8	0,32...1,6	
0463		0,05...0,1	7...8	0,32...1,6	6...7	0,08...0,25	
0474	B< H _{IIIK} H _{IIIK} =32... 80	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,6...1,25	
0471		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,6...2,5	
0472		0,15...0,2	8...10	1,6...2,5	6...7	0,32...1,6	
0473		0,05...0,1	6...7	0,32...1,6	5...6	0,05...0,2	
0474	D>12 L>D	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	6...8	0,6...1,25	
0471		0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	8...10	1,6...2,5	
0472		0,15...0,2	8...10	1,6...2,5	6...7	0,32...1,6	
0473		0,05...0,1	6...7	0,32...1,6	5...6	0,08...0,25	
0494	B= H _{IIIK}	Напуск			6...8	0,08...1,25	
0504	B= H _{IIIK}	Напуск			6...8	0,08...1,25	
0514	B= H _{IIIK}	0,25...0,4	12...14	3,2...6,3	9...11	0,08...1,25	

Продолжение приложения 10

1	2	3	4	5	6	7	8
0521	D>30	0,15...0,2	9...10	2,5...6,3	7...8	0,63...2,5	
0522		0,02...0,03	7...8	0,63...2,5	5...6	0,16...0,63	
0523		0,012	5...6	0,16...0,63	4...5	0,08...0,25	
0534		0,015	7...8	0,63...1,25	5...6	0,04...0,08	
0531		0,015	7...8	0,63...1,25	6...7	0,08...0,12	
0532		0,008	6...7	0,08...0,12	4...5	0,02...0,04	
0544		0,04	6...7	0,63...1,25	4...5	0,02...0,08	>32
0554		0,04	6...7	0,63...1,25	4...5	0,01...0,04	>32
0564		0,04	6...7	0,63...1,25	4...5	0,01...0,04	>32
0574		0,2...0,3	6...9	0,32...1,25	7...9	0,02...0,08	
0584	D>35	0,2...0,3	6...9	0,32...1,25	7...9	0,02...0,08	
0594		0,2...0,3	6...9	0,32...1,25	7...9	0,02...0,08	
0604		0,1...0,2	6...9	0,32...1,25	7...9	0,02...0,08	
0614			6...8	0,32...1,6	6...8	0,03...0,16	<32
0624	D>25		6...8	0,32...1,6	6...8	0,03...0,16	<32
0634	D>25		6...8	0,32...1,6	6...8	0,03...0,16	<32
0644			6...8	0,32...1,6	6...8	0,03...0,16	<32
0654			6...8	0,32...1,6	6...8	0,03...0,16	<32
0664	D>25		6...8	0,32...1,6	6...8	0,03...0,16	<32
0674	D>25		6...8	0,32...1,6	6...8	0,03...0,16	<32
0684	1<S<2,5				5...8	1,6...3,2	<32
0681	S>2,5				6...8	3,2...6,3	<32
0682	S>2,5	0,3...0,4	6...8	3,2...6,3	5...7	1,6...3,2	<32
0683	S>2,5	0,1...0,15	5...7	1,6...3,2	4...6	1,25...1,6	28...32
0694	D>16; S>1				5...8	1,6...3,2	<32
0691	D>16; S>2				6...8	3,2...6,3	<32
0692	D>16; S>2	0,3...0,4	6...8	3,2...6,3	5...7	1,6...3,2	<32
0693	D>16; S>2	0,1...0,15	5...7	1,6...3,2	4...6	1,25...1,6	28...32
0704					6...8	1,6...3,2	<32
0701							<32
+ 0702		0,1...0,3			5...7	1,6...3,2	<32
0714					6...8	1,6...3,2	<32
0711							<32
+ 0712		0,1...0,3			5...7	1,6...3,2	<32
0724	D<32				5...7	1,6...3,2	<32
0721							<32
+ 0722		0,1...0,3			4...6	1,6...3,2	<32

Продолжение приложения 10

1	2	3	4	5	6	7	8
0734					7...8	1,6...3,2	<32
0731					7...9	2,5...5	<32
0732		0,1...0,25	7...9	2,5...5	5...7	0,6...1,25	<32
0744	L<50; S<3				6...8	1,6...3,2	<32
0754	S>=4				5...7	0,8...1,6	<32
0764	S<3				6...7	0,6...1,25	<32
0774	S<3; L<40				6...7	0,6...1,25	<32
1	2	3	4	5	6	7	8
0784	S<1,5; L<40 D<12				6...8	0,8...1,6	<32
0794	S<2				5...6	0,6...1,25	<32
0804	S<2				4...6	0,6...1,25	
0804	S>=2	0,2...0,3	8...10	3,2...6,3	4...6	0,6...1,25	
0801	S>=2	0,2...0,3	8...10	3,2...6,3	6...7	1,6...3,2	
0802	S>=2	0,1...0,2	6...7	1,6...3,2	5...6	0,8...1,6	
0803	S>=2	0,05...0,1	5...6	0,8...1,6	3...4	0,4...0,8	
0814	Число за- ходов>1				6...7	0,8...1,6	
0824	m<10				9...10	3,2...6,3	<32
0834	M>10				9...10	3,2...6,3	<32
0844	m <=4				7...8	1,6...3,2	<32
0841	m >4				9...10	3,2...6,3	<32
0842	m >4	0,2...0,4	9...10	3,2...6,3	6...7	1,25...2,5	<32
0854	m <=4				7...8	1,6...3,2	<32
0851	m >4				9...10	3,2...6,3	<32
0852	m >4	0,2...0,4	9...10	3,2...6,3	6...7	1,25...2,5	<32
0864	m <=4				7...8	1,6...3,2	<32
0861	m >4				9...10	3,2...6,3	<32
0862	m >4	0,2...0,4	9...10	3,2...6,3	6...7	1,25...2,5	<32
0874	m<3				7...8	0,8...1,25	<32
0904	m<=4	0,05...0,12	7...8	1,6...3,2	5...6	0,4...1,6	<32
0901	m>4	0,05...0,12	7...8	3,2...6,3	6...7	1,6...3,2	<32
0902	m>4	0,03	6...7	1,6...3,2	5...6	0,4...1,6	<32
0914		0,2...0,4	8...9	3,2...6,3	4...6	0,4...0,8	
0911		0,2...0,3	8...9	3,2...6,3	6...7	1,6...3,2	
0912		0,1...0,15	6...7	1,6...3,2	5...6	0,4...0,8	
0913		0,05	5...6	0,4...0,8	3...5	0,2...0,4	
0924		0,2...0,4	8...9	3,2...6,3	4...6	0,4...0,8	
0921		0,2...0,3	8...9	3,2...6,3	6...7	1,6...3,2	
0922		0,1...0,15	6...7	1,6...3,2	5...6	0,4...0,8	
0923		0,05	5...6	0,4...0,8	3...5	0,2...0,4	

1	2	3	4	5	6	7	8
0934		0,2...0,4	8...9	3,2...6,3	4...6	0,4...0,8	
0931		0,2...0,3	8...9	3,2...6,3	6...7	1,6...3,2	
0932		0,1...0,15	6...7	1,6...3,2	5...6	0,4...0,8	
0933		0,05	5...6	0,4...0,8	3...5	0,2...0,4	
0944		0,2...0,4	8...9	3,2...6,3	4...6	0,4...0,8	
0941		0,2...0,3	8...9	3,2...6,3	6...7	1,6...3,2	
0942		0,1...0,15	6...7	1,6...3,2	5...6	0,4...0,8	
0943		0,05	5...6	0,4...0,8	3...5	0,2...0,4	
0954		0,05	7...8	0,4...0,8	6...7	0,1...0,3	
0961		0,06...0,1	6...8	1,6...3,2	5...7	0,3...0,5	
0962		0,02	5...7	0,3...0,5	4...6	0,1...0,2	
0974	m≤4				7...8	1,25...3,2	<32
0971	m>4				8...9	3,2...6,3	<32
0972	m>4	0,6...1	8...9	3,2...6,3	6...7	1,25...3,2	<32
0984					9...10	3,2...6,3	<32
0994					7...8	1,25...3,2	<32
1004		0,2...0,3	8...9	3,2...6,3	5...6	0,08...1,25	
1014					9...10		<32
1024					9...10	1,25...3,2	<32
1021					9...10	3,2...6,3	<32
1022		0,2...0,3	9...10	3,2...6,3	7...9	1,23...2,5	<32
1034		0,2...0,3	9...10	5...10	6...8	0,8...1,25	
1032		0,06...0,1	6...8	0,8...1,25	5...7	0,4...0,8	
1044		0,2...0,3	9...10	5...10	7...8	0,8...1,25	
1042		0,06...0,1	7...8	0,8...1,25	6...7	0,4...0,8	
1054		1...3	14...17	12,5...25	7...8	0,8...1,25	<32
1064		1...2	13...16	12,5...25	7...8	0,8...1,25	<32
1074		0,2...0,3	10...14	6,3...12,5	6...7	0,4...0,8	

ПРИМЕЧАНИЯ: (к приложению К)

Последняя цифра в кодах переходов: 0 – обдирка; 1 – предварительная обработка;
2 – чистовая обработка; 3 – тонкая обработка; 4 – однократная обработка.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

ТИПОВЫЕ МАРШРУТЫ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Коды мате- риалов	Ква- литет точн.	Показа- тель Ra	Последовательность кодов переходов	Доп. условия
1	2	3	4	5
2. Тела вращения				
1.1. Наружные поверхности вращения (цилиндрические и конические)				
СН, Ч, ЦС	12-14 10-12 8-10 —	6,3-12,5 3,2-6,3 2,5-3,2 —	0011(0061); 0014 (0064); 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 — 6-7 — — —	0,8-1,25 — 0,2-0,8 — 0,2-1,25 0,03- 0,16	0011 (0061), 1104, 0012 (0062); 0011 (0061), 1104, 0394 (0404); 0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0013 (0063); 0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0392 (0402); 0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0394 (0404); 0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0392 (0402), 0614;	
СЗ	8-10 6-7 — —	0,8-1,25 0,2-1,25 0,08- 0,12 —	0014 (0064), 1104, 0394 (0404); 0014 (0064), 1104, 0391 (0401), 0392 (0402); 0014 (0064), 1104, 0394 (0404), 0531 (0541); 0014 (0064), 1104, 0391 (0401), 0392 (0402), 0531;	
1.2. Внутренние поверхности вращения (цилиндрические и конические)				
СН, Ч, ЦС	10-14 — — — 9-11 7-8 5-6	6,3-12,5 — — — 3,2-6,3 1,6-3,2 0,4-0,8	Начальный диаметр равен нулю 0134; 0134, 0184 (0074); 0134, 0144 (0154 или 0034 или 0074); 0134, 0144 (0154), 0184 (0074); 0134, 0152 (0032); 0134, 0152 (0032), 0161, 0162; 0134, 0152 (0032), 0161, 0162, 0163 (0123);	$d_{цo} < 25$ $d_{ко} < 25$ $d_{цo} > 25$ $d_{ко} > 25$ $d_{цo} < 25$
СУ	9-11 — 7-8 — 5-6 —	3,2-6,3 — 1,6-3,2 — 0,4-0,8 —	0134, 1104, 0152 (0032 или 0072); 0134, 0144, 1104, 0152 (0032 или 0072); 0134, 1104, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162; 0134, 0144, 1104, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162; 0134, 1104, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162, 0163; 0134, 0144, 1104, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162, 0163;	$d_o < 25$ $d_o > 25$ $d_o < 25$ $d_o > 25$ $d_o < 25$ $d_o > 25$

Продолжение приложения 11

СЗ	8-10	1,6-2,5	0134, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0431 (0441);	d _o <25
	—	—	0134, 0144, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0431 (0441);	d _o >25
	6-8	0,6-1,25	0134, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0444 (0434);	d _o <25
	—	—	0134, 0144, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0444 (0434);	d _o >25
	5-6	0,08-0,25	0134, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0444, 0443 (0434, 04330);	d _o <25
СН, Ч, ЦС	—	—	0134, 0144, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0444 0443 (0434, 04330);	d _o >25
	10-14	6,3-12,5	Начальный диаметр не равен нулю	цилин. конус
	—	—	0144 (0154);	
	—	—	0144 (0154), 0184 (0074);	
	9-11	3,2-6,3	0144 (0154 или 0034 или 0074);	
7-8	1,6-3,2	0144 (0151), 0152 (0032 или 0072);		
СУ	5-6	0,4-0,8	0144, (0151), 0152 (0032), 0161, 0162;	цилин. конус
	—	—	0144 (0151), 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162, 0163 (0123 или 0073);	
	9-11	3,2-6,3	0144 (0151), 1104, 0152 (0032 или 0072), ;	
	—	—	0144 (0151), 1104, 0152 (0184 или 0032 или 0072);	
	7-8	1,6-3,2	0144 (0151), 1104, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162;	
СЗ	—	—	0144 (0151), 1104, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162;	цилин. конус
	5-6	0,4-0,8	0144 (0151), 1104, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162, 0163;	
	—	—	0144 (0151), 1104, 0152 (0032 или 0072), 0161, 0162, 0163;	
	8-10	1,6-2,5	0144, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0431 (0441);	
	—	—	0144, 0152 (0184 или 0032 или 0072), 1094, 0431 (0441);	
СН, Ч, ЦС	6-8	0,6-1,25	0144, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0444 (0434);	цилин. конус
	—	—	0144, 0152 (0184 или 0032 или 0072), 1094, 0444 (0434);	
	5-6	0,08-0,25	0144, 0152 (0032 или 0072), 1094, 0444, 0443 (0434 или 0433);	
	—	—	0144, 0152 (0184 или 0032 или 0072), 1094, 0444 0443 (0434 или 0433);	
	—	—	0144, 0152 (0184 или 0032 или 0072), 1094, 0444 0443 (0434 или 0433);	
1.3 Торцы				
СН, Ч, ЦС	10-14	6,3-12,5	0051;	
	8-10	1,6-2,5	0054 (0051, 0052)	
	6-8	0,6-1,25	0051, 0052, 0053	
СУ	8-10	1,6-2,5	0051, 1104, 0052;	
	6-8	0,6-1,25	0051, 1104, 0052, 0053 (0464);	
СЗ	8-10	1,6-2,5	0051, 1094, 0461;	
	6-8	0,6-1,25	0051, 1094, 0464 (0461, 0462);	

1.4 Шлицевые поверхности наружные				
СН, Ч, ЦС	9-10	2,5-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 0232 (0842 или 0874);	
	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 0012 (0062), 0232 (0842), 0233 (0874);	
СУ	9-10	2,5-3,2	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0232 (0842 или 0874);	
	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0232 (0842), 0233 (0874);	
СЗ	9-10	2,5-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 0232 (0842), 1094, 0941;	
	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 0012 (0062), 0232 (0842), 1094, 0944;	
1.4 Шлицевые поверхности внутренние				
СН, Ч, ЦС	9-10	2,5-3,2	0031 (0071), 0032 (0072), 0364 (0304);	
	7-8	1,25-1,6	0031 (0071), 0032 (0072), 0364, 0362;	
	9-10	2,5-3,2	0031 (0071), 1104, 0032 (0072), 0364 (0304 или 0384);	
	7-8	1,25-1,6	0031 (0071), 1104, 0032 (0072), 0364 (0384), 0362 (0382);	
1.5 Зубчатые венцы цилиндрические, наружные				
СН, Ч, ЦС	9-10	2,5-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 0824 (0841 или 0851);	
	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 0012 (0062), 0844 (0841, 0842 или 0851, 0852);	
СУ	9-10	2,5-3,2	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0824 (0841 или 0851);	
	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0844 (0841, 0842 или 0851, 0852), 0904 (0901, 0902);	
	5-6	0,4-0,8	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0844 (0841, 0842 или 0851, 0852), 0904 (0901, 0902 или 0922 или 0932 или 0942);	
СЗ	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 0012 (0062), 0824 (0841 или 0851), 1094, 0904 (0901, 0902);	
	5-6	0,4-0,8	0011 (0061), 0012 (0062),), 0824 (0841 или 0851), 1094, 0904 (0901, 0902 или 0922 или 0932 или 0942);	
1.6 Зубчатые венцы цилиндрические, внутренние				
СН, Ч, ЦС	9-10	2,5-3,2	0031 (0071), 0032 (0072), 0864;	
	7-8	1,25-1,6	0031 (0071), 0032 (0072), 0864, 0901;	
СУ	9-10	2,5-3,2	0031 (0071), 1104, 0032 (0072), 0864;	
	7-8	1,25-1,6	0031 (0071), 1104, 0032 (0072), 0864, 0901;	
1.7 Зубчатые венцы конические, прямозубые				
СН, Ч, ЦС	9-10	2,5-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 0984 (0971);	
	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 0012 (0062), 0974 (0971, 0972);	
СУ	9-10	2,5-3,2	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0984 (0971);	
	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0974 (0971, 0972);	
1.8 Зубчатые венцы червячные				
Ч, ЦС	9-10	2,5-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 0844;	
	7-8	1,25-1,6	0011 (0061), 0012 (0062), 0841, 0842;	

1.9 Резьба крепежная наружная				
СН, Ч, ЦС	6-8	1,6-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 0684 (0704 или 0744);	
СУ	6-8	1,6-3,2	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0684 (0704 или 0744);	
СЗ	6-8	1,6-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 1094, 0804; 0011 (0061), 0012 (0062), 0681, 1094, 0801	S<2 S≥2
1.10 Резьба крепежная, внутренняя				
СН, Ч, ЦС	6-8		0134 (0134, 0154), 0724 (0694 или 0794);	
СУ	6-8		0134 (0134, 0154), 1104, 0724 (0694 или 0794);	
Примечания: 1. Для зубчатых и резьбовых поверхностей в 2 степени точности. 2. В скобках варианты предыдущего перехода.				
1.11 Резьба ходовая наружная				
СН, Ч, ЦС	6-8	1,6-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 0684 (0734 или 0754);	
СУ	6-8	1,6-3,2	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0684 (0734 или 0754);	
	4-6	1,25-1,6	0011 (0061), 1104, 0012 (0062), 0681 (0731), 0683;	
СЗ	6-8	1,6-3,2	0011 (0061), 0012 (0062), 0684 (0734 или 0754), 1094, 0804;	
	4-6	0,8-1,25	0011 (0061), 0012 (0062), 0681 (0734 или 0754), 1094, 0801, 0802;	
3. Корпусные детали				
2.1. Внутренние поверхности вращения				
Ч, ЦС	10-14	6,3-12,5	Начальный диаметр равен нулю 0134;	d<25
	—	—	0134, 0144 (0104 или 0034 или 0074);	d>25
	9-11	3,2-6,3	0134, 0152 (0032 или 0102 или 0112);	d<25
	—	—	0134, 0144, 0152 (0032 или 0102 или 0112);	d>25
	7-8	1,6-3,2	0134, 0152 (0032 или 0102 или 0112), 0161, 0162;	
	5-6	0,4-0,8	0134, 0152 (0032 или 0102 или 0112), 0161, 0162, 0163 (0123);	
Ч, ЦС	10-14	6,3-12,5	Начальный диаметр не равен нулю 0144 (0154), 0104 (0034);	цилин. конус цилин.
	—	—	0144 (0154), 0104 (0174);	
	9-11	3,2-6,3	0144 (0151), 0152 (0032 или 0102);	
	7-8	1,6-3,2	0144, (0151), 0152 (0032 или 0102), 0161, 0162;	
	5-6	0,4-0,8	0144 (0151), 0152 (0032 или 0102), 0161, 0162, 0163 (0123);	
2.2 Канавки внутренние (в отверстиях)				
Ч,ЦС	10-14	6,3-12,5	0044 (0264);	
2.3 Торцы				
Ч, ЦС	10-14	6,3-12,5	0051 (0214 или 0174);	
	8-10	1.6-2.5	0054 (0051, 0052 или 0211, 0212)	
	6-8	0,6-1,25	0051, 0052 (0211, 0212), 0053 (0213);	

2.4 Резьба крепежная, внутренняя				
Ч, ЦС	6-8		0134 (0134, 0154), 0724; 0200, 0134 (0134, 0154), 0724;	
2.5 плоскости				
Ч, ЦС	10-14 8-10 6-8	6,3-12,5 1.6-2.5 0,6-1,25	0214 (0284); 0211 (0281), 0212 (0282); 0211 (0281), 0212 (0282), 0213 (0283 или 0452);	
2.6 Канавки и уступы прямые				
Ч, ЦС	10-14 8-10 6-8	6,3-12,5 1.6-2.5 0,6-1,25	0224 (0234 или 0284); 0221 (0231), 0222 (0232 или 0282); 0221 (0231), 0222 (0232 или 0282), 0213 (0283 или 0452 или 0223);	

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

ОСНОВНОЕ ВРЕМЯ НЕКОТОРЫХ ОПЕРАЦИЙ

Переход	Наиболее вероятное основное время
1	2
Разрезание металла	
Разрезание дисковой пилой	$0,011 \cdot L$
Разрезание ножовкой	$0,0877 \cdot L$
Отрезание резцом	$0,000393 \cdot D^2$
Подрезание торца (за один проход)	
Черновое подрезание торца (кольца)	$0,0000224 \cdot (D^2 - d^2)$
Чистовое подрезание торца (кольца)	$0,000011 \cdot (D^2 - d^2)$
Черновое подрезание торца (сплошного круга)	$0,0000224 \cdot D^2$
Чистовое подрезание торца (сплошного круга)	$0,000011 \cdot D^2$
Обработка тел вращения	
<i>Обтачивание тел вращения D 20–100 мм одной ступени за один проход</i>	
Обтачивание черновое	$0,000075 \cdot D \cdot L$
Обтачивание чистовое	$0,000175 \cdot D \cdot L$
<i>Шлифование наружное круглое с продольной подачей</i>	
Шлифование предварительное	$0,00012 \cdot D \cdot L$
Шлифование чистовое	$0,000184 \cdot D \cdot L$
Шлифование тонкое	$0,000327 \cdot D \cdot L$
<i>Шлифование наружное бесцентровое с продольной подачей</i>	
Шлифование предварительное	$0,00422 \cdot L$
Шлифование чистовое	$0,00693 \cdot L$
<i>Шлифование наружное круглое врезное</i>	
Шлифование грубое	$0,00362 \cdot D$
Шлифование чистовое	$0,0068 \cdot D$
Шлифование тонкое	$0,0079 \cdot D$
<i>Обработка отверстий</i>	
Сверление отверстий диаметром до 20 мм	$0,00056 \cdot D \cdot L$
Рассверливание отверстий диаметром 20–70 мм	$0,000423 \cdot D \cdot L$
Зенкерование	$0,00021 \cdot D \cdot L$
Развертывание черновое	$0,00436 \cdot D \cdot L$
Развертывание чистовое	$0,000876 \cdot D \cdot L$
Растачивание черновое	$0,000134 \cdot D \cdot L$
Растачивание чистовое	$0,00018 \cdot D \cdot L$
<i>Шлифование внутреннее</i>	
Шлифование предварительное	$0,000146 \cdot D \cdot L$
Шлифование чистовое	$0,000583 \cdot D \cdot L$
<i>Протягивание внутренних поверхностей</i>	
Протягивание рядовое	$0,000286 \cdot L$
Протягивание чистовое	$0,0005 \cdot L$
Протягивание упрочняющими многозубыми протяжками	$0,0004 \cdot L$
Прошивание чистовое	$0,00033 \cdot L$
Прошивание тонкое	$0,0005 \cdot L$
<i>Обработка внутренних поверхностей упрочняющим инструментом</i>	
Калибрование после растачивания (дорном и т. п.)	$0,0005 \cdot L$
Полирование	$0,00016 \cdot F_{\Sigma}$
Хонингование среднее	$0,126 \cdot h$
Хонингование тонкое	$0,121 \cdot h$
Суперфиниширование	$0,0238 \cdot D$
Механическая притирка деталей из закаленной стали	$0,000225 \cdot F_{\Sigma}$

1	2
Обработка плоских поверхностей	
<i>Фрезерование торцевой фрезой</i>	
Фрезерование черновое	$0,0059 \cdot L$
Фрезерование чистовое	$0,00482 \cdot L$
Фрезерование тонкое	$0,00286 \cdot L$
<i>Фрезерование цилиндрической фрезой</i>	
Фрезерование черновое	$0,00666 \cdot L$
Фрезерование чистовое	$0,00352 \cdot L$
Фрезерование тонкое	$0,00166 \cdot L$
Подрезание бобышек торцевым зенкером	$0,0007 \cdot D \cdot L$
<i>Строгание или долбление</i>	
Строгание черновое	$0,0000434 \cdot B \cdot L$
Строгание чистовое	$0,0000034 \cdot B \cdot L$
<i>Шлифование плоское торцом круга (стол с возвратно-поступательным движением)</i>	
Шлифование предварительное	$0,0015 \cdot L$
Шлифование чистовое	$0,0013 \cdot L$
Шлифование тонкое	$0,0015 \cdot L$
<i>Протягивание наружных плоских поверхностей</i>	
Протягивание рядовое	$0,000286 \cdot L$
Протягивание чистовое	$0,0005 \cdot L$
<i>Доводка плоских поверхностей</i>	
Полирование ($B \cdot L = F_{\Sigma}$) $B \cdot L$ от 30×30 до 200×200	$0,00016 \cdot F_{\Sigma}$
Механическая притирка деталей из незакаленной стали	$0,00024 \cdot F_{\Sigma}$
Механическая притирка деталей из закаленной стали	$0,000225 \cdot F_{\Sigma}$
Обработка винтовых поверхностей	
Нарезание резьбы метчиком, плашкой и винторезной нераскрывающейся головкой	$0,000319 \cdot D \cdot L$
Нарезание резьбы самораскрывающейся резьбонарезной головкой	$0,000112 \cdot D \cdot L$
Фрезерование резьб многониточной фрезой (наружные резьбы)	$0,033 \cdot D$
Накатывание резьб роликами и плашкой	$0,032 \cdot D$
Нарезание резьбы резцом черновое (однозаходная резьба)	$0,000278 \cdot D \cdot L$
Нарезание резьбы резцом чистовое (однозаходная резьба)	$0,000091 \cdot D \cdot L$
Шлифование резьбы чистовое (однозаходная резьба)	$0,0046 \cdot D \cdot L$
Обработка эвольвентных поверхностей	
<i>Обработка зубьев цилиндрических зубчатых колес ($m = 1 \dots 10$ мм)</i>	
Долбление зубьев черновое (за один обкат)	$B \cdot m \cdot (0,0035 + Z \cdot 0,000713)$
Долбление зубьев чистовое	$B \cdot m \cdot (0,0324 + Z \cdot 0,00084)$
Фрезерование черновое (вертикальная подача)	$0,00488 \cdot B \cdot Z$
Фрезерование чистовое (вертикальная подача)	$0,00943 \cdot B \cdot Z$
Шевингование чистовое	$0,001 \cdot B \cdot Z$
Шлифование коническим кругом по методу обката	$(0,027 \cdot L + 0,4) \cdot Z$

1	2
<i>Обработка торцов зубьев пальцевой фрезой</i>	
Закругление зубьев	$0,0384 \cdot Z$
<i>Фрезерование зубьев червячных колес</i> <i>($m = 1 \dots 6$ мм)</i>	
Фрезерование черновое (фреза однозаходная)	$0,0346 \cdot D$
Фрезерование чистовое (фреза однозаходная)	$0,0212 \cdot D \cdot \sqrt{Z}$
<i>Зубострогание прямозубых конических колес</i> <i>($m = 1 \dots 10$ мм)</i>	
Предварительное нарезание	$Z \cdot (0,00668 \cdot L + 0,05)$
Зубострогание чистовое	$0,2 \cdot Z$
Зубострогание тонкое	$0,25 \cdot Z$
<i>Нарезание криволинейных конических колес зуборезными головками ($m = 1 \dots 10$ мм)</i>	
Черновое нарезание	$0,36 \cdot Z$
Чистовое нарезание	$0,32 \cdot Z$
Обработка шлицевых поверхностей	
Фрезерование черновое	$0,0047 \cdot L \cdot Z$
Фрезерование чистовое	$0,0087 \cdot L \cdot Z$
Шлифование dna впадин шлицев	$0,00104 \cdot L \cdot Z$

B — ширина заготовки, мм;

D, d — диаметр заготовки (отверстия), мм;

L — длина заготовки, ступени, длина хода, протяжки, мм;

H — припуск на обработку, мм;

F_{Σ} — суммарная площадь обрабатываемой поверхности, мм²;

Z — число зубьев зубчатого колеса, шлицевого вала, мм;

m — модуль зубчатого колеса, мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО И ШТУЧНО-КАЛЬКУЛЯЦИОННОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Станки	Коэффициенты	
	χ_{op}	$\chi_{шк}$
Токарно-винторезные	1,64	2,14
.....	1,47	2,25
Токарно-карусельные	1,94	3,25
Горизонтально-расточные	1,82	1,98
Токарно-револьверные	1,61	1,72
Вертикально-сверлильные	1,60	1,75
Радиально-сверлильные	1,59	1,84
Горизонтально- и вертикально-фрезерные	1,67	1,92
Продольно-фрезерные	1,28	1,75
Продольно-строгальные	1,27	1,73
Поперечно-строгальные	1,41	1,86
Долбежные	1,36	2,10
Круглошлифовальные	1,23	2,20
Внутришлифовальные	1,36	2,00
Плоскошлифовальные	1,14	1,66
Зубофрезерные	1,19	1,65
Зубодолбежные	1,15	1,85
Зубострогальные для конических колес	1,16	1,50
Шлицефрезерные	1,41	1,75
Резьбофрезерные (гребенчатой фрезой)	1,15	1,66
Зубошлифовальные	1,10	1,60
Шлицешлифовальные	1,43	1,88
Резьбошлифовальные		

Формулы для определения операционного t_{op} и штучно-калькуляционного $t_{шк}$ времени

$$t_{op} = t_o \cdot \chi_{op}; \quad t_{шк} = t_o \cdot \chi_{шк}.$$

ОБЩЕОТРАСЛЕВОЙ ФОНД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ

1. Количественные изменения.

1.1. Увеличить в объекте число одинаковых или подобных друг другу компонентов (или сделать наоборот). Изменить число одновременно обрабатываемых объектов или действующих компонентов.

Например, в массовом производстве широко применяются многопозиционные и многоинструментные станки, в каждой рабочей позиции которых установлено и обрабатывается по несколько заготовок.

1.2. Увеличить степень дробления (измельчения) компонента или сделать наоборот.

1.3. Изменить (усилить) вредные факторы настолько, чтобы перестали быть вредными (превратились в полезные).

1.4. Изменить габаритные размеры, объем или длину объекта при его переводе из рабочего в нерабочее состояние.

Например, складывающиеся (нож, удочка, стул) или надувные (лодка) технические системы.

1.5. Использовать идею избыточного (недостаточного) решения, т. е. если невозможно получить 100% требуемого эффекта, получить несколько больше (меньше).

1.6. Уменьшить (увеличить) число функций системы, сделав ее более специализированной (универсальной).

Например, специальный станок стоит дешевле универсального за счет изъятия ненужных компонентов и обеспечивает большую производительность за счет возможности установить наилучшие режимы обработки.

1.7. Изменить частоту колебаний или периодичность воздействия.

1.8. Создать местное локальное качество; осуществить локальную концентрацию сил, напряжения и т.д.

1.9. Резко изменить (в несколько раз, в десятки и сотни раз) показатели объекта (его элементов, окружающей среды).

2. Преобразование формы системы или ее компонентов.

2.1. Использовать компактную (круговую, спиральную, сферическую или древовидную) форму.

2.2. Найти глобально-оптимальную форму компонента. Например, для устранения вибраций (автоколебаний) притупляют режущую кромку резца, выполняя на ней фаску размером до 0,05 мм с отрицательным передним углом - 85 градусов.

2.3. Компоненту, работающему под нагрузкой, придать выпуклую в сторону действия силы форму. Например, арочный мост.

2.4. Перейти от асимметричной формы компонента к симметричной (инверсия приема).

2.5. Выполнить компонент в форме: другого компонента, имеющего аналогичное название или назначение; животного, растения, человека или их органов.

2.6. Выполнить в компоненте отверстия или полости. Инверсия приема.

2.7. Использовать периодическое изменение формы в пространстве или во времени.

2.8. Вывернуть форму «наизнанку» или изменить традиционную форму.

2.9. Преобразовать форму с учетом уменьшения «неработающей» поверхности или пространства.

2.10. Компенсировать нежелательную форму сложением с противоположной по очертанию формой.

2.11. Предусмотреть изменение формы как реакцию на изменение внешних условий, среды или условий работы.

3. Преобразования в пространстве.

3.1 Изменить традиционную ориентацию системы в пространстве: горизонтальное положение на вертикальное или наклонное; перевернуть; положить на бок. Например, изменение традиционно горизонтального расположения осей шпинделей многошпиндельных прутковых автоматов на вертикальное. Это сокращает потребную площадь и делает ненужным специальный механизм подачи прутка, так как последний подается до упора силой тяжести.

3.2 Использовать пустое пространство между компонентами. Один компонент проходит сквозь полость в другом (размещается в другом).

3.3. Перейти от одноэтажной (однослойной) компоновки к многоэтажной (многослойной). Инверсия приема. Например, схема замены традиционно "одноэтажной" компоновки на многоэтажную позволяет в несколько раз увеличить производительность доводки шариков.

3.4. Перейти от контакта в точке к контакту по линии; от контакта по линии к контакту по поверхности. Инверсия приема.

3.5. Изменить направление действия рабочей силы или среды. Например, изменение направления действия силы резания часто повышает виброустойчивость технологической системы при точении.

3.6. Приблизить рабочие компоненты системы к месту выполнения ими своих функций без перемещения объекта действия или рабочих компонентов.

3.7. Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на доставку.

3.8. Перейти от последовательного соединения компонентов к параллельному или смешанному. Инверсия приема.

3.9. Вынести за пределы системы компонент – источник вредных (нежелательных) эффектов.

3.10. Использовать обратную сторону поверхности у тонких компонентов. Например, поверхность Мебиуса.

3.11. Придать объекту свойства, обеспечивающие изменение компоновки при воздействии внешней среды или изменении условий работы.

4. Преобразования во времени.

4.1. Перенести выполнение действия на другое время. Выполнить требуемое действие до начала или после окончания работы.

4.2. Перейти от непрерывной подачи энергии (вещества) или непрерывного действия (процесса) к периодическому или импульсному. Инверсия приема.

4.3. Перейти от стационарного во времени режима к изменяющемуся. Например, изменять подачу при отрезании заготовки дисковой пилой так, чтобы несмотря на переменность длины реза нагрузка на пилу оставалась постоянной и оптимальной.

4.4. Исключить бесполезные ("вредные") интервалы времени. Использовать паузу между импульсами (периодическими действиями) для осуществления другого действия.

4.5. По принципу непрерывного полезного действия осуществлять работу системы непрерывно, без холостых ходов.

4.6. Перейти от последовательного выполнения действий (технологических переходов) к параллельному (одновременному). Например, вместо последовательного сверления группы отверстий, перпендикулярных одной плоскости, применить многошпиндельную головку для одновременной их обработки.

4.7. Характеристики системы (или окружающей среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы.

4.8. Изменить последовательность операций.

5. Преобразования движения и силы.

5.1. Изменить направление движения, в том числе и на противоположное. Например, отрезание детали от групповой заготовки на токарном станке при обратном вращении заготовки (перевернутым резцом) часто устраняет вибрации и позволяет повысить режимы (скорость) обработки.

5.2. Заменить поступательное или возвратно-поступательное движение вращательным. Инверсия приема.

5.3. Сообщить системе или ее компоненту колебательное движение.

5.4. Применить вместо механических вибраторов гидравлические, магнито-стрикционные, электромагнитные или пьезоэлектрические.

5.5. Использовать явление резонанса.

5.6. Использовать автоколебания.

5.7. Заменить изгиб растяжением или сжатием. Инверсия приема.

5.8. Разделить систему на части, способные перемещаться друг относительно друга. Сделать движущиеся компоненты неподвижными, а неподвижные – движущимися. Например, в ротационных инструментах традиционно неподвижные относительно державок режущие компоненты сделаны вращающимися, что позволяет за счет трения о стружку непрерывно выводить нагревающуюся часть из зоны резания, вводя при этом холодную, и существенно повысить режимы (скорость) обработки.

5.9. Разделить систему на две части – "тяжелую" и "легкую", передвигать только "легкую" часть.

5.10. Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать обрабатываемый объект.

5.11. Перейти от неподвижного физического поля к движущемуся. Инверсия приема.

5.12. Изменить условия работы так, чтобы опасные или "вредные" действия проводились на большой скорости.

5.13. Компенсировать действие массы объекта соединением его с объектом, обладающим подъемной силой, или взаимодействием со средой (жидкостью или газом).

5.14. Использовать силы магнитного поля для воздействия на компоненты технической системы. Например, магнитное полирование.

5.15. Использовать ультразвуковые колебания в сочетании с электромагнитным полем.

5.16. Использовать поле в сочетании с ферромагнитными частицами.

5.17. Изменить число степеней свободы движения. Например, движение по прямой линии (в одном измерении) заменить движением по плоскости (в двух измерениях) или в пространстве (в трех измерениях).

5.18. Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие. Например, станки с гидравлическим приводом в процессе работы постепенно (в течение 5...7-ми часов) нагреваются. Основным источником тепла является дросселирование масла в аппаратах гидросистемы. При нагреве нарушается размерная настройка станка, что требует ее частой коррекции и ведет к снижению производительности. Борьба с этим явлением путем охлаждения обходится довольно дорого. Проще быстро нагревать масло в баке до стабильной температуры, которую оно приобретает за смену работы станка.

6. Преобразование материала системы или ее компонентов.

6.1. Выполнить элемент или его подповерхностный слой из пористого материала. Заполнить поры каким-либо веществом. Например, пористые подшипники скольжения.

6.2. Убрать лишний материал, не несущий функциональной нагрузки.

6.3. Изменить поверхностные свойства элемента (повысить твердость, нейтрализовать химические свойства материала).

6.4. Заменить жесткую часть системы элементами из материала, допускающего изменение формы при эксплуатации; вместо жестких объемных конструкций использовать гибкие оболочки и пленки. Инверсия приема.

6.5. Использовать другой материал (более дешевый, прочный, легкий).

6.6. Отделить вредные или нежелательные примеси от вещества.

6.7. Заменить объекты их оптическим копиями (изображениями); использовать изменение масштаба изображения. Перейти от видимых оптических копий к инфракрасным, ультрафиолетовым или другим изображениям.

6.8. Дорогостоящий долговечный элемент заменить недолговечным из дешевого материала и дешевого в изготовлении.

6.9. Выполнить компонент из элементов, материалы которых имеют разные характеристики (например, тепловое расширение), что позволит получить

нужный эффект. Например, главный элемент теплового размыкателя (предохранителя) представляет собой две сваренные пластины с различными коэффициентами теплового расширения.

6.10. Вместо твердых компонентов системы использовать жидкие или газообразные (надувные, гидронаполняемые, воздушные подушки, гидро-, аэростатические опоры, гидрореактивные опоры).

6.11. Использовать материалы с изменяемыми во времени характеристиками (жесткостью, прозрачностью и т. д.) или с памятью формы.

6.12. Изменить окраску компонента системы или внешней среды.

6.13. Изменить степень прозрачности компонента системы или внешней среды.

6.14. Для наблюдения за плохо видимыми объектами или процессами использовать красящие добавки или люминофоры.

6.15. Изменить агрегатное состояние объекта (твердое, эластичное, жидкое, псевдожидкое, газообразное).

6.16. Применить сильные окислители (кислород, озонированный кислород, озон, воздух или кислород под действием ионизирующего излучения).

6.17. Вести процесс в инертной среде или вакууме.

7. Преобразование конфигурации (структуры)

7.1. Исключить компонент при сохранении системой всех прежних функций. Один компонент выполняет несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других компонентах. Убрать "лишние" детали даже при потере одного процента эффекта.

7.2. Присоединить к системе дополнительное орудие труда (функциональный компонент), инструмент и т. п.

7.3. Заменить связи (способ и средства соединения) между компонентами системы. Жесткую связь сделать гибкой и наоборот.

7.4. Соединить однородные или предназначенные для смежных операций компоненты.

7.5. Совместить или объединить традиционно несовместимые компоненты системы, устранив возникающие противоречия.

7.6. Присоединить промежуточный компонент, переносящий или передающий действие.

7.7. Выполнивший свое назначение и ставший ненужным компонент системы отбрасывается (растворяется, испаряется) или видоизменяется непосредственно во время работы.

7.8. Расходуемые части компонента системы должны восстанавливаться непосредственно в ходе работы.

7.9. Выделить в объекте вредное свойство или «мешающий» элемент и изолировать его или оказать на него локальное «устраняющее» воздействие.

7.10. Ликвидировать вредные факторы за счет элементов, имеющих другое назначение или путем сложения с другими вредными факторами (в других элементах).

7.11. Компенсировать массу объекта, соединив его с элементом (объектом), обладающим подъемной силой.

7.12. Сделать элемент (объект) самоустанавливающимся, саморегулирующимся.

7.13. Заменить трение скольжения трением качения. Инверсия приема.

7.14. Перейти от последовательного соединения элементов (совмещения операций) к параллельному или смешенному.

7.15. Заменить связи (способ или средства соединения) между элементами. Например, жесткую связь сделать гибкой или наоборот.

7.16. Дорогостоящий долговечный элемент заменить дешевым, недолговечным.

7.17. Заменить механическую схему управления электрической, электронной, гидравлической, пневматической или оптической.

8. Приемы дифференциации и интеграции

8.1. Разделить поток (вещества, энергии, информации) на два или несколько потоков.

8.2. Сделать компонент съемным, легко отделяемым. Например, замена инструмента с напайкой режущих элементов, инструментом с их механическим креплением.

8.3. Дифференцировать привод и другие источники энергии; приблизить их к исполнительным органам и рабочим зонам.

8.4. Сделать автономным привод и управление каждым компонентом.

8.5. Провести дробление традиционно целого объекта на мелкие однородные элементы с аналогичной функцией. Например, цельное лезвие ковша экскаватора заменяется набором зубьев, что позволяет при местном разрушении лезвия заменять только разрушенную часть, а не все лезвие.

8.6. Разделить объект на части так, чтобы их можно было заменять при изменении режима работы.

8.7. Разделить объект на части: "горячую" и "холодную"; изолировать одну от другой.

8.8. Придать объекту блочную структуру, при которой каждый блок выполняет самостоятельную функцию.

8.9. Выделить в объекте самый нужный элемент (нужное свойство) и усилить его или улучшить условия его работы.

8.10. Разделить функции объекта; разные компоненты должны выполнять различные функции.

8.11. Выделить в объекте самый нужный компонент (нужное свойство) и усилить его или улучшить условия его работы.

8.12. Сосредоточить органы управления и контроля в одном месте.

8.13. Соединить однородные или предназначенные для смежных операций компоненты.

8.14. Объединить в одно целое объекты (компоненты), имеющие самостоятельное назначение, которое сохраняется после объединения в новом комплексе.

8.15. Использовать принцип агрегирования. Создать базовую конструкцию, на которую можно «навесить» различные рабочие органы.

8.16. Соединить или объединить явно несовместимые объекты, устраняя возникающие противоречия.

9. Использование профилактических мер

9.1. Предусмотреть прикрытие и защиту легко повреждающихся механически или химически компонентов. Экранировать объект.

9.2. Выполнить объект (компонент) разборным так, чтобы можно было заменить отдельные поврежденные части.

9.3. Для уменьшения простоев и повышения надежности создать легко используемый запас рабочих органов или компонентов. Предусмотреть в ответственных частях системы дублирующие компоненты.

9.4. Заранее придать объекту напряжения (деформации), противоположные по знаку недопустимым или нежелательным рабочим напряжениям (деформациям).

9.5. Предусмотреть компенсацию погрешностей изготовления и результатов изнашивания.

9.6. Для повышения надежности заранее подготовить аварийные средства.

9.7. Защитить объект (компонент) от электростатического или другого вредного поля.

9.8. Заранее придать компонентам изменения, противоположные недопустимым или нежелательным изменениям, возникающим в процессе работы.

10. Использование резервов

10.1. Использовать массу системы (компонента) или периодически возникающие усилия для получения дополнительного эффекта.

10.2. Компенсировать чрезмерный расход энергии получением какого-либо положительного дополнительного эффекта.

10.3. Использовать или аккумулировать тормозную и другую попутно получаемую энергию.

10.4. Выполнивший свое назначение и ставший ненужным компонент, отходы (энергии, вещества) использовать для других целей.

10.5. Использовать вредные факторы (в частности, вредные воздействия среды) для получения положительного эффекта.

10.6. После конструктивного улучшения какого-либо компонента системы определить, как изменить другие компоненты, чтобы эффективность работы системы в целом еще более повысилась.

10.7. По принципу самообслуживания рабочий компонент системы должен сам себя обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции в процесс работы.

10.8. По принципу непрерывного полезного действия осуществлять работу объекта (элемента) непрерывно, без холостых ходов. Все компоненты объекта должны все время работать с полной нагрузкой.

11. Преобразование по аналогии

11.1. Применить систему, предназначенную для выполнения аналогичной функции в другой отрасли техники.

11.2. Использовать природный принцип повторяемости однотипных элементов (пчелиные соты, клетки, кристаллы и т. п.)

11.3. Использовать в качестве прототипа искомого технического решения объект неживой или живой природы, близкие или отдаленные области техники.

11.4. Использовать аналоги свойств других объектов; использовать свойство без его носителя (объекта). Например, для предотвращения аварий при взлете и посадке самолета из-за попадания птиц в турбореактивный двигатель по границам аэродрома устанавливают устройства, издающие записанный на пленку (отделенный от птицы) сигнал опасности, который они издают.

11.5. Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии.

11.6. Если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным или ультрафиолетовым.

11.7. Выполнить объект по аналогии с одним особо значащим компонентом другого объекта. Инверсия приема (второстепенный компонент).

11.8. Приспособить природные конструкции для технических целей.

11.9. Проверить, как решаются задачи, обратные заданной.

12. Комбинирование

12.1. Рассмотреть возможность использования различных видов энергии (их комбинаций) или различные виды подвода энергии одного вида.

12.2. Базовую техническую систему или ее основные компоненты использовать для создания технических систем различного назначения, близких или различных по рабочему процессу.

12.3. Комбинировать универсальные компоненты для осуществления различных функций.

12.4. Комбинировать привлекательные признаки и свойства объекта, технические идеи.

12.5. Рассмотреть комбинированное использование различных принципов действия и физических эффектов.

12.6. Применить известный объект для другого назначения.

12.7. Придумать для известного объекта новую функцию. Найти новую область или способ применения объекта.

12.8. Найти новое применение найденной идеи или идеи, обратной найденной.

ПРИЛОЖЕНИЕ 15

НЕКОТОРЫЕ ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

1. Устранение (предотвращение) вредных воздействий или вредных последствий воздействия (причем источник вредного воздействия заменить нельзя).

1.1. Видоизменить источник вредного воздействия. В частности: если вредное воздействие (НЭ) связано с полезным (ПЭ), а скорость нарастания ПЭ больше скорости нарастания НЭ, следует ограничить процесс во времени или перейти к импульсному действию.

1.2. Ввести в систему элемент, который "поглощает" вредное воздействие, то есть замыкает энергетическую цепочку. В частности:

а) видоизменить часть системы, вредное воздействие на которую допустимо, таким образом, чтобы она стала "отзывчивой" к восприятию вредного воздействия (т. е. чтобы она стала "притягивать" к себе вредное воздействие);

б) если вредные явления возникают при контактном взаимодействии (соприкосновении) двух компонентов системы (чаще всего подвижных друг по отношению к другу), необходимо ввести между ними третий компонент, являющийся видоизменением одного из них;

1.3. Скомпенсировать вредное воздействие "противовоздействием" (антивоздействием). В частности, использовать в качестве антивоздействия другие вредные воздействия (факторы), скомпенсировать один вредный выход другим (одни отходы – другими отходами).

1.4. Скомпенсировать отрицательные результаты воздействия, введя предварительно в систему антиизменения или средства, нейтрализующие вредные воздействия.

1.5. Допустить вредные воздействия, перейдя от дорогой долговечности к дешевой недолговечности.

2. Преодоление ограничений на ресурсы.

2.1. Общие принципы:

а) сконцентрировать ресурс данного вида на наиболее важных, ценных процессах и (или) объектах;

б) увеличить полноту и рациональность использования ресурса (исключить потери, отходы, паузы);

в) сконцентрировать ресурс в пространстве и (или) во времени;

г) использовать ресурс, который является потерями или отходами окружения;

д) использовать на время полезный ресурс (данного вида) соседней системы, сделав ее и данную динамичными;

е) использовать другого вида в соответствии со скрытыми свойствами компонентов системы;

ж) использовать ресурсы другого вида, видоизменяя их.

2.2. Особенности для ресурсов разного вида:

2.2.1. Для пространства:

- а) отделить от объектов (компонентов) наиболее важные части (свойства), вынеся остальное из наиболее "ценной" области в менее "ценную";
- б) уплотнить компоновку, используя "паузы" пространства (пропуски, зазоры, пустые полости), разместить один компонент внутри другого;
- в) использовать поверхности соседних компонентов, обратную сторону поверхности;
- г) перейти в другое измерение (из одномерного в двух- и трехмерное пространство);
- д) использовать компактные геометрические формы (спираль);
- е) использовать временно объем соседнего компонента (объекта), сделав его и данный компонент динамичными (в частности, если необходимо в одной точке пространства разместить два несовместимых объекта (процесса, свойства), необходимо сделать их прерывистыми (циклическими) таким образом, чтобы один существовал в паузах другого;
- ж) при решении информационных задач отделить информацию (в том числе изображение) от объекта.

2.2.2. Для времени:

- а) ограничить выполнение всего объема операций наиболее ценной частью изделия, в наибольшей степени определяющей результат;
- б) свести к минимуму затраты наиболее "ценного" отрезка времени, предварительно выполнив часть необходимых изменений, сделав объект "отзывчивым" к процессу;
- в) уплотнить процесс, заполнить паузы, устранить простои и холостые ходы, перейти к непрерывному процессу;
- г) перейти от последовательного выполнения операций к параллельному.

2.2.3. Для вещества:

- а) для распределения малого количества вещества в большом пространстве использовать тонкие пленки, порошок (пыль), пар вещества;
- б) использовать вещество окружающей среды в смеси с данным веществом (данное вещество в виде добавок, пены, надувных и гидронаполненных оболочек);
- в) использовать видоизменяемое вещество окружающей среды (лед, струи жидкости или газа).

2.2.4. Для энергии:

- а) ограничить выполнение всего объема операций наиболее ценной частью изделия, в наибольшей степени определяющей результат;
- б) ограничить до минимума наиболее ценный вид энергии, используя менее ценные виды энергии;
- в) уменьшить потери; перейти к специализированным средствам с высоким КПД; уменьшить количество преобразований энергии в системе; перейти к непрерывным процессам;
- г) при дефиците мощности сконцентрировать энергию
 - в пространстве, наложением нескольких маломощных потоков;
 - во времени, перейдя к импульсному действию (с накоплением);

д) использовать на время энергию соседней системы;
е) при ограничении на увеличение интенсивности энергопотока данного вида

– использовать данный энергопоток в качестве управляющего для другого более интенсивного энергопотока;

– наложить дополнительные потоки энергии другого вида, используя скрытые (в частности, магнитные) свойства компонентов системы;

– использовать энергопоток другого вида, преобразовав его;

ж) утилизировать потери энергии данной системы и окружения, использовать энергию окружения.

3. Преодоление ограничений на управляемость (изменяемость, достижение оптимального режима)

3.1. При невозможности изменить целое, перейти к более сильному изменению части (и наоборот).

3.2. Применить осреднение показателя в пространстве или во времени (как правило при наличии инерции воздействия).

3.3. Использовать малые разности больших величин.

3.4. Переместить управление в другое звено энергетической цепочки.

3.5. Заменить воздействие на объект воздействием на его окружение.

3.6. При невозможности достичь оптимума:

– при "пологом" изменении эффекта в области экстремума ограничиться значением показателя чуть большим (меньшим), чем оптимальное;

– сделать больше требуемого, избыток убрать (скомпенсировать).

4. Преодоление ограничений (запретов) на введение добавок в вещество

4.1. Добавка вводится в минимальной дозе, а эффект достигается за счет более упорядоченного распределения частиц добавки в исходном веществе.

4.2. Добавка вводится на минимально необходимое время, а затем выводится.

4.3. Используется преобразуемая добавка:

– часть имеющегося вещества, переведенная в особое (требуемое) состояние или находящееся в этом состоянии;

– химически превращающаяся добавка (выделяется из допустимого химического соединения и (или) переходящая в допустимое соединение).

4.4. Добавка вводится в окружение.

4.5. Вместо вещественной добавки используются энергетические (заряды, магнитные метки и т. д.).

4.6. Используется след добавки (в частности, "пустота" на месте добавки).

4.7. При решении информационных задач вместо объекта используют его копию (модель), в которую допустимо введение добавки.

МАССИВ КОМПОНЕНТОВ С ПАРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

1) Система характеризуется двумя линейными размерами L_1 и L_2 при условии, что:

- а) L_1 – линейный размер системы;
- б) L_2 – линейный размер элемента системы.

Например, это: трос, рессора, порошок и т. д.

2) Твердое тело характеризуется двумя линейными размерами L_1 и L_2 при условии, что;

- а) форма твердого тела – спираль (кольцо, гофр и т. д.);
- б) L_1 – длина спирали (длина окружности кольца и т. д.);
- в) L_2 – габаритный размер спирали (диаметр кольца и т. д.).

3) Твердое тело характеризуется двумя линейными размерами L_1 и L_2 при условии, что;

- а) форма твердого тела – кольцо;
- б) твердое тело вращается;
- в) ось вращения совпадает с центром кольца;
- г) L_1 – абсолютная длина окружности кольца;
- д) L_2 – относительная длина окружности кольца (абсолютная длина окружности кольца, умноженная на число его оборотов).

4) Твердое тело характеризуется двумя линейными размерами L_1 и L_2 при условии, что;

- а) твердое тело – стержень из материала с "памятью формы";
- б) в 1-й период времени температура твердого тела ниже T , а во 2-й период времени температура твердого тела выше T ;
- в) T – температура изменения формы;
- г) L_1 – длина стержня ("сложенного", изогнутого) в 1-й период;
- д) L_2 – длина стержня во 2-й период времени.

5) Твердое тело характеризуется двумя площадями S_1 и S_2 при условии, что:

- а) твердое тело является пористым;
- б) S_1 – площадь поверхности пор тела;
- в) S_2 – площадь внешней поверхности тела.

6) Твердое тело характеризуется двумя плотностями ρ_{o1} и ρ_{o2} при условии, что:

- а) твердое тело является пористым;
- б) ρ_{o1} – плотность твердого тела без учета объема пор;
- в) ρ_{o2} – плотность твердого тела с учетом объема пор.

7) Твердое тело характеризуется двумя линейными скоростями V_1 и V_2 при условии, что:

- а) твердое тело совершает плоское движение;
- б) V_1 – скорость мгновенного полюса вращения;
- в) V_2 – скорость любой другой точки тела.

8) Система характеризуется двумя линейными скоростями V_1 и V_2 при условии, что:

- а) V_1 – скорость системы (переносная);
- б) V_2 – скорость любой точки подвижного компонента системы (относительная).

9) Жидкость характеризуется двумя линейными скоростями V_1 и V_2 при условии, что:

- а) жидкость омывает твердое тело, температура которого ниже температуры кристаллизации жидкости;
- б) V_1 – скорость потока жидкости;
- в) V_2 – скорость жидкости в слое, прилегающем к телу (равна 0).

10) Жидкость характеризуется двумя температурами кипения T_1 и T_2 при условии, что:

- а) жидкость находится внутри капилляра;
- б) T_1 – температура кипения жидкости, находящейся в капилляре;
- в) T_2 – температура кипения жидкости в большом объеме.

11) Жидкость характеризуется двумя теплоемкостями C_1 и C_2 при условии, что:

- а) жидкость находится в состоянии фазового перехода " жидкость - пар" при температуре T ;
- б) C_1 – теплоемкость жидкости;
- в) C_2 – теплоемкость жидкости с учетом ее теплоты испарения.

АРИЗ-77

Этап 1. Выбор задачи.

1.1. Определить конечную цель решения задачи, ответив на вопросы:

- а) какой главный технико-экономический показатель нужно улучшить?
- б) какую характеристику объекта надо изменить?
- в) что улучшится, если задача будет решена?
- г) какие ограничения наложены на решение задачи?

1.2. Проверить обходный путь, т. е. переформулировать задачу, перейдя на уровень надсистемы или подсистемы (уровень вещества).

1.3. Определить, решение какой задачи целесообразнее – первоначальной или одной из обходных.

1.4. Определить требуемые количественные показатели с учетом перспективы и конкретных условий.

1.5. Проверить, решается ли задача прямым применением стандартов на решение изобретательских задач (типовых технических решений).

1.6. Применить оператор РВС (размеры, время, стоимость):

а) как будет решаться задача, если мысленно изменять размеры объекта от заданного значения до 0 и до бесконечности?

б) как будет решаться задача, если мысленно изменять время (скорость) процесса от заданной до 0 или бесконечности?

в) как будет решаться задача, если мысленно изменять стоимость (допустимые затраты) объекта или процесса от заданной до 0 или бесконечности?

Этап 2. Построение модели задачи.

2.1. Записать условия задачи, не используя специальные термины.

2.2. Выделить и записать конфликтующую пару компонентов (изделие и инструмент или два компонента) и взаимодействие этих компонентов.

2.3. Записать два взаимодействия (действия или свойства) компонентов конфликтующей пары: имеющееся и то, которое нужно ввести (или полезное и вредное).

2.4. Записать стандартную формулировку модели задачи, указав конфликтующую пару и техническое противоречие.

Этап 3. Анализ модели задачи.

3.1. Выбрать из компонентов, входящих в модель задачи, тот, который можно легко изменять, заменять и т. д., учитывая, что:

- а) технические объекты легче менять, чем природные;
- б) инструменты легче менять, чем изделия;
- в) если в ТС нет легко изменяемых компонентов, то следует осуществлять выбор из окружающей среды.

3.2. Записать стандартную формулировку идеального технического решения (ИТР).

3.3. Выделить ту золу компонента (указанного в 3.2), которая непосредственно не справляется с требуемым согласно формулировке ИТР комплексом

взаимодействий.

3.4. Сформулировать физическое противоречие в выделенной зоне и записать его стандартную формулировку.

Этап 4. Устранение физического противоречия.

4.1. Рассмотреть простейшие преобразования выделенной зоны:

а) разделение противоречивых свойств в пространстве или во времени;
б) разделение противоречивых свойств путем использования переходных состояний (когда сосуществуют или попеременно появляются противоречивые свойства) или перестройкой структуры (когда части выделенной зоны обладают имеющимся свойством, а вся выделенная зона требуемым (конфликтующим) свойством).

4.2. Использовать таблицу применения физических эффектов.

4.3. Использовать таблицу основных приемов устранения технических противоречий.

4.4. Перейти от физического ответа к техническому: сформулировать способ и дать схему устройства, осуществляющего этот способ.

Этап 5. Предварительная оценка полученного решения.

5.1. Провести предварительную оценку, ответив на контрольные вопросы:

а) обеспечивает ли полученное требование выполнение главных требований ИТР?

б) какое физическое противоречие устранено полученным решением?

в) как осуществляется управление функционированием полученной ТС и ее компонентами?

г) годится ли полученное решение задачи для реальных условий?

Если полученное решение не удовлетворяет хотя бы одному контрольному вопросу, перейти к процедуре 2.1.

5.2. Проверить по патентным данным формальную новизну полученного решения.

5.3. Записать, какие подзадачи (изобретательские, конструкторские, расчетные) могут возникнуть при технической разработке полученной идеи.

Этап 6. Развитие полученного ответа

6.1. Определить, как должна быть изменена надсистема, в которую входит измененная система.

6.2. Проверить, может ли измененная система (или надсистема) применяться по-новому.

ОБОБЩЕННЫЙ ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД

В обобщенном эвристическом методе используется следующая информационная база.

М1 – фонд физико-технических эффектов.

М2 – информационный фонд технических решений (ТР), который содержит наиболее интересные и перспективные ТР в рассматриваемой области техники, систематизированные по предметному или функциональному признаку.

М3 – список эксплуатационных, технологических, экономических и других требований, предъявляемых к технической системе (ТС).

М4 – информационный фонд материалов и конструкционных компонентов, перспективных для создания новых ТС.

М5 – фонд эвристических приемов.

М6 – фонд методов сравнения вариантов ТС.

Этап 1. Предварительная постановка задачи.

1.1. Сформулировать главную полезную функцию (ГПФ) на качественном уровне.

1.2. Сформулировать ГПФ на количественном уровне (1.1, М3).

1.3. Выбрать известные (существующие) ТС, в наибольшей мере удовлетворяющие сформулированной ГПФ (1.2, М2), если при этом будет найдена ТС с необходимой ГПФ, то решение задачи можно прекратить и перейти к этапу 6.

1.4. Составить список недостатков известных ТС (1.2, 1.3, М3).

1.5. Составить предварительную формулировку задачи в одном из следующих вариантов:

1) требуется усовершенствовать функционально близкие ТС для устранения их недостатков;

2) требуется найти принципиально новую ТС, удовлетворяющую количественной формулировке ГПФ (1.2, 1.3, 1.4).

Этап 2. Изучение и анализ задачи.

2.1. Определить возможность усиления отдельных характеристик ГПФ (1.2, 1.3, 1.4, М2, М4).

2.2. Провести ранжирование найденных недостатков с точки зрения степени важности их устранения (1.4, 2.1). Выделить самые важные недостатки, устранение которых можно считать главными целями решения задачи.

2.3. Выявить причины возникновения недостатков известных ТС (1.3, 1.4, 2.1).

2.4. Проверить реальность постановки задачи при современном уровне науки, техники и технологии (1.5, 2.1, 2.3, М1, М2, М4).

2.5. Описать надсистему (систему в которую входит рассматриваемая). Установить и указать связи рассматриваемой ТС с окружением (1.1, 1.2, 1.4, 2.1).

2.6 Проверить возможность решить задачу путем внесения изменений в окружение (1.2, 1.4, 2.1, 2.5). Провести технико-экономическое сравнение первоначальной постановки задачи (1.4, 2.1) с задачами внесения изменений в смежные ТС. Если последние эффективнее, то их нужно проработать согласно процедурам 1.1 – 1.5, 2.1 – 2.5.

2.7. Составить представление об идеальном техническом решении (ИТР) рассматриваемого класса ТС. (1.1, 1.2, 1.4, 2.1, 2.4, М2).

Этап 3. Уточнение и детализация постановки задачи.

3.1. Составить список требований (ограничений) к известным ТС, наиболее полно удовлетворяющих ГПФ (1.2, 1.3, М3).

3.2. Составить список требований к разрабатываемой ТС (1.2, 1.4, 2.1, М3).

3.3. Выделить требования, которые заведомо нельзя снижать при решении задачи (1.2, 1.4, 2.1, 2.3, 3.1, 3.2, М2, М3).

3.4. Выявить ложные требования (ограничения) и исключить их из списка (3.1, 3.2).

3.5. Выделить главные требования к разрабатываемой ТС, которые обычно соответствуют ее ГПФ (1.2, 2.1, 3.2) и внести в них изменения с учетом морального старения.

3.6. Выявить противоречия развития (улучшения) ТС, т. е. технические противоречия (1.2, 1.4, 2.1, 2.2 – 2.6, 3.2 – 3.4).

3.7. Выбрать наиболее важные для решения задачи и трудно разрешимые противоречия улучшения ТС (2.2, 3.6).

Этап 4. Поиск технических идей, решений и физических принципов действия.

4.1. Преобразовать в искомое ТР наиболее близкие решения известных (существующих) ТС (1.3, 1.4, М2, М4).

4.2. Попытаться преобразовать в искомое ТР идеальное ТР, используя различные физические эффекты или дополняя его крайне необходимыми компонентами (2.7, М1, М4).

4.3. Попытаться преобразовать в искомое ТР аналогичные решения из другой отрасли техники (М4).

4.4. Попытаться изменить компоненты надсистемы (2.5, 2.6), чтобы не создавать новую ТС или по крайней мере существенно ее упростить.

4.5. Попытаться решить задачу, устранив причины недостатков прототипов (2.3, М1).

4.6. Подобрать новые физические принципы действия, позволяющие реализовать требуемые функции ТС и ее основных компонентов (1.5, 1.5, 2.1, 2.3, 2.6, 3.1, 3.2, 3.5, 3.6, М1, М2, М4).

4.7. Комбинировать идеи, относящиеся к компонентам проектируемой ТС.

Этап 5. Выбор наилучших ТР.

5.1. Проверить полученные ТР на физическую и технологическую осуществимость, а оставшиеся из них на соответствие основным требованиям (1.2, 2.2, 3.5, М4, М6).

5.2. Выбрать наиболее экономичные варианты ТР (5.1, М6), позволяющие решить задачу при минимальных затратах материалов, трудовых и энергетических ресурсов.

5.3. Выбрать ТР, в которых возможна наибольшая доля стандартных компонентов (5.1, М2, М4).

5.4. Выбрать ТР, наиболее полно реализующие ГПФ, главные цели и требования (1.2, 2.1, 3.5, 5.1, М6).

5.5. Выбрать ТР, наиболее полно устраняющие главные противоречия улучшения (развития) ТС (3.6, 5.1). Примечание: окончательно отобранных ТР должно быть не более 10-и.

Этап 6. Доработка выбранных ТР.

6.1. Проверить наилучшие ТР на их соответствие полному списку требований. Выделить ТР, не удовлетворяющие полному списку требований.

6.2. Преобразовать недопустимые по 6.1 ТР в допустимые, используя процедуры 4-го и 5-го этапов и рассматривая недопустимые ТР как прототипы.

6.3. Попытаться улучшить допустимые функциональные компоненты во всех наилучших допустимых ТР. Составить уточненный список наилучших ТР.

6.4. Провести ранжирование наилучших ТР по степени эффективности, достижения главной цели и т. д.

6.5. Разработать рабочую документацию для наилучших ТР.

6.6. Произвести экспериментальную проверку наилучших ТР.

6.7. Выявить недостатки ТР (в результате экспериментальной проверки). Устранить их. Если недостатки существенны и при этом не очевидны пути их устранения, то вновь использовать процедуры 4-го и 5-го этапов.

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ПОИСКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

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).

1.2.1.3. 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 главная полезная функция (ГПФ) (указать), для выполнения которой выбрать (синтезировать) ТС. Перейти к С.2.1.

1.7.2. Дана ТС, состоящая из компонентов (указать). Для выполнения еще одной ГПФ не хватает компонентов, которые необходимо выбрать. Перейти к С.2.1.

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

Этап С.2. Функциональный синтез технической системы

С.2.1. Составить список ПФ проектируемой ТС (см. табл. 1.2). Если выбрана форма 1.7.1, то ГПФ относится ко всей ТС. Если выбрана форма 1.7.2, то ГПФ относится к достраиваемым компонентам. ПФ, относящиеся к прототипу, считаются заданными в ограничениях.

С.2.2. Определить входы и выходы искомой ТС (достраиваемой части ТС). Отметить энергопотоки, проходящие через ТС (достраиваемую часть) и требования к ним (состав, вид энергии, типы превращений, основные и управляющие потоки, особенности пространственно-временной организации энергетических потоков).

С.2.3. 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.

С.2.4. Наметить возможные варианты компонентов ТС (КТС) для выполнения заданных ПФ, пользуясь массивом типовых технических решений (МТТР), с учетом ограничений, требований к энергопотокам и их пространственно-временной организации. 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.

С.2.5. Сравнить между собой варианты центрального КТС и выбрать два – три наиболее предпочтительных по обеспечению критериев предпочтения. Учесть требования, предъявляемые к системе в целом.

С.2.6. Присоединяя в порядке, указанном в С.2.4, к центральному КТС связанные с ним основные, а также другие КТС, заданные ограничениями, произвести выбор вариантов этих КТС и их увязку (согласовать входы и выходы). Примечания: 1) если при взаимной увязке КТС можно объединить их элементы, выполнить объединение. 2) если при объединении и взаимной увязке КТС возникает необходимость введения дополнительных КТС, вернуться к С.2.4 и проделать С.2.6.

С.2.7. Рассмотреть комплексы КТС, полученные в С.2.6, сравнить их между собой и выбрать в соответствии с критериями предпочтения несколько наиболее предпочтительных.

С.2.8. Довести до конца синтез ТС, присоединяя к комплексам, выбранным в С.2.7, остальные КТС. Если при заданных ограничениях взаимная увязка КТС не получается, выявить соответствующие противоречия и разрешить их, видоизменяя КТС и связи между ними.

С.2.9. Описать полученную ТС (техническое решение). Указать состав и взаимодействие компонентов.

С.2.10. Выполнить анализ полученных ТС. 1) Проверить энергетическую и функциональную полноту. 2) Определить входы и выходы. 3) Определить, соответствует ли степень управляемости ТС условиям ее функционирования.

С.2.11. Выявить отличия полученных характеристик ТС от заданных:

1) есть ли недостающие полезные выходы (способности);

- 2) есть ли дополнительные входы;
- 3) есть ли дополнительные бесполезные выходы;
- 4) есть ли отступления от требований главных ограничений;
- 5) достаточна ли степень управляемости ТС.

Если отличий нет, перейти к С.2.13, если есть – к С.2.12.

С.2.12. Устранить недопустимые отличия характеристик ТС от заданных.

Для чего:

- 1) выделить среди выявленных отличий явно недопустимые;
- 2) видоизменить конфигурацию ТС, устраняя недопустимые отличия с помощью массива типовых технических решений. Если последнее невозможно, выявить технические (физические) противоречия, обострение которых мешает устранить недопустимые отличия (перейти к У.2.1).

С.2.13. Описать полученную после видоизменения ТС. Указать конфигурацию ТС. Привести схематическую модель ТС. Перейти к О.6.1.

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 (в частности не позволяет иметь ТС те или иные "способности" или повысить ее производительность).

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. Уточнить структуру ТПр. Применяя оператор отрицания, наметить возможные направления разрешения ТПр. Выбрать из них наиболее предпочтительное с учетом ограничений. Желательно использовать ТПр типа "ГПФ – затраты" или "затраты – затраты".

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 условном 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.3.6.2. Сравнить между собой сформулированные требования к элементу модели решения и выделить пары несовместимых требований. Если такие есть, то перейти к У.3.7. Если все требования совместимы, проверить, не вызывает ли реализация этих требований нарушения ограничений и каких либо еще ухудшений в ТС. Если нарушения или ухудшения выявлены, перейти к У.3.7, если нет – к У.4.2.

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.

У.3.7.2. Если получено одно или несколько ФПр, не соответствующих исходному ТПр, заданному в модели задачи, необходимо:

- а) сформулировать ТПр, соответствующие полученным ФПр;
- б) выявить среди них те, которые необходимо разрешить;
- в) выделить среди них центральное ТПр (наиболее важное для ТС, разрешение которого позволит устранить обострение наибольшего числа нежелательных эффектов) и перейти с ним к У.4.1.

Этап У.4. Синтез решения

У.4.1. Разрешить противоречия и сформулировать принципиальное решение. Определить, при каких условиях элемент модели решения будут 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;

в) если полученные в результате разрешения ФПр новые принципы организации ТС не достаточно ясны, возвратиться к У.3.4, принять полученное принципиальное решение за модель решения и повторить анализ, углубляясь в свойства элементов вплоть до перехода на микроуровень;

г) если противоречие не разрешается, необходимо:

- 1) вернуться к У.3.4 или У.3.6 и выбрать другой элемент,
- 2) вернуться к У.3.3 и выбрать другое направление разрешения ТПр,
- 3) вернуться к У.3.2 и выбрать другую модель задачи.

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. Если нет, а

суть подзадачи заключается в достройке или построении компонента ТС, перейти к У.4.3.

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.4.2.4. Определить физические свойства (явления, эффекты), которые необходимо использовать для реализации необходимых изменений и (или) воздействий. При необходимости откорректировать намеченные структурные изменения.

У.4.2.5. Сформулировать физическое решение, уточнив при этом конфигурацию ТС. Если физическое решение не удастся получить, то: а) вернуться к У.3.3 и выбрать другое направление решения; б) вернуться к У.3.2 и выбрать другую модель задачи. Если физическое решение получено, перейти к У.4.4.

У.4.3. Выполнить необходимую достройку или построение компонента ТС.

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).

Этап У.5. Проверка правильности синтеза решения

У.5.1. Выполнить анализ полученной ТС. Для чего проверить:

а) функциональную полноту; б) энергетическую полноту; в) обеспечение необходимой степени управляемости ТС; г) достижение заданной конечной цели; д) нарушение требований ограничений; е) разрешение всех выявленных ранее противоречий. Если проверка дает положительный результат, перейти к У.5.3. Если выявлены отклонения от требований, перейти к У.5.2.

У.5.2. Устранить выявленные отклонения ТС от требований, видоизменяя ее конфигурацию. Выявить противоречия, обострение которых мешает устранить эти отклонения, и разрешить их. При необходимости сформулировать подзадачи и решить их, перейдя к У.2.1. Если при заданных ограничениях устранить отклонения не удастся, вернуться к процедуре 1.6 и пересмотреть уточнение ограничений. Если и это не дает результатов, вернуться к процедуре 1.5, выбрать другое направление решения в рамках главных ограничений и повторить решение задачи. Если замена направления решения не дает результатов, вернуться к процедуре 1.4, пересмотреть главные ограничения и повторить решение задачи.

У.5.3. Описать полученную после видоизменения ТС (или ее часть). Указать конфигурацию. Изобразить полученную ТС графически в виде схемы. Описав ТС, перейти к О.6.1.

Этап О.6. Оценка и выбор решения

О.6.1. Оценить степень улучшения и ухудшения, выбрать вариант ТС.

О.6.1.1. Определить, что ухудшается при использовании полученной ТС. Проверить связи в системе и надсистеме. Выявить возникшие и обострившиеся противоречия.

О.6.1.2. Видоизменить ТС, устраняя наиболее существенные ухудшения и разрешая обострившиеся противоречия. Выполнить для видоизмененной ТС процедуру О.6.1.1.

О.6.1.3. Сравнить между собой исходную ТС (если она задана), систему, полученную в результате решения, и видоизмененную ТС, полученную в О.6.1.2. Учесть их положительные и отрицательные стороны. Выбрать наиболее предпочтительный вариант ТС.

Если в результате решения задачи получено несколько вариантов ТС, то:

а) надо фиксировать в описании ТС все варианты, расположив их по степени предпочтительности;

б) при проверке правильности синтеза нужно выполнять все процедуры поочередно для всех вариантов, начиная с наиболее предпочтительного;

в) при оценке улучшения и ухудшения ТС (процедура О.6.1.1) можно не видоизменять варианты ТС, а ограничиться сравнением между собой исходной системы и всех полученных вариантов. Если исходная ТС оказалась предпочтительнее, вернуться к У.3.3, выбрать другое направление разрешения ТПр, или к У.3.2, выбрать другую модель задачи и повторить процесс решения.

О.6.2. Выполнить анализ степени идеальности выбранной ТС. Если выявлены существенные отступления от принципов идеальности, проанализировать соотношение между эффектом и затратами для компонентов ТС. Если выявлены существенные диспропорции между полученным эффектом и затратами ресурсов на ТС, устранить их, видоизменив ТС. Сравнить ТС до и после видоизменений и выбрать предпочтительный вариант.

О.6.3. Выполнить оценку количественных показателей ТС. Если в 1.6 определены количественные показатели, выполнить количественный анализ ТС и выявить, в чем полученные показатели хуже требуемых. Если ухудшение выявлено, проверить возможность достижения требуемых показателей за счет параметрической оптимизации ТС. Если оптимизация не дает результатов, выявить противоречия, обострение которых не позволяет получить требуемые количественные показатели, и разрешить их, видоизменив ТС. Повторить количественный анализ.

О.6.4. Сформулировать полученное решение с учетом произведенных изменений. Описать полученную ТС. Разработать схему полученного устройства и (или) процесса (способа).

О.6.5. Сформулировать подзадачи, которые могут возникнуть при технической разработке и реализации решения. Определить порядок их решения, выявив приоритетные подзадачи.

Этап О.7. Развитие полученного решения

О.7.1. Определить новые возможности, полученные в результате решения.

О.7.2. Расширить область применения полученной ТС, рассмотрев ее модификации.

О.7.3. Выявить новую информацию, полученную в результате решения.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

Таблица П.20.1

Критические значения критерия Стьюдента $t(P, m)$

m	P=0,90	P=0,95	P=0,975	m	P=0,90	P=0,95	P=0,975
3	2,920	4,303	6,205	16	1,753	2,132	2,490
4	2,353	3,183	4,177	18	1,739	2,110	2,458
5	2,132	2,776	3,495	20	1,729	2,093	2,433
6	2,015	2,571	3,163	22	1,721	2,080	2,414
7	1,945	2,447	2,969	24	1,714	2,069	2,398
8	1,895	2,365	2,841	25	1,711	2,064	2,391
9	1,859	2,306	2,752	30	1,699	2,045	2,364
10	1,833	2,262	2,685	40	1,684	2,021	2,329
12	1,796	2,201	2,593	60	1,671	2,000	2,299
14	1,771	2,160	2,533	120	1,658	1,980	2,270

Таблица П.20.2

Значения критерия d_m для оценки σ по размаху

m	2	3	4	5	6	7	8
d_m	1,128	1,643	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847
m	9	10	11	12	13	14	15
d_m	2,970	3,078	3,173	3,258	3,336	3,408	3,472

Таблица П.20.3

Значения критерия $q(m, P)$ для интервальной оценки σ

m	P		m	P	
	0,95	0,99		0,95	0,99
11	0,59	0,98	25	0,32	0,49
12	0,55	0,90	30	0,28	0,43
13	0,52	0,83	35	0,26	0,38
14	0,48	0,78	40	0,24	0,35
15	0,46	0,73	45	0,22	0,32
16	0,44	0,70	50	0,21	0,30
17	0,42	0,66	60	0,188	0,269
18	0,40	0,63	70	0,174	0,245
19	0,39	0,60	80	0,161	0,226
20	0,37	0,58	90	0,151	0,211

Таблица П.20.4

Значения критерия $\chi^2 / (m - 1)$ для интервальной оценки дисперсии

m	Доверительная вероятность P			
	0,95		0,98	
	$\chi_1^2 / (m - 1)$	$\chi_2^2 / (m - 1)$	$\chi_1^2 / (m - 1)$	$\chi_2^2 / (m - 1)$
3	3,689	0,025	4,605	0,010
4	3,116	0,072	3,782	0,038
5	2,786	0,121	3,319	0,074
6	2,556	0,166	3,017	0,111
7	2,408	0,206	2,802	0,145
8	2,288	0,241	2,639	0,177
9	2,192	0,273	2,511	0,206
10	2,114	0,300	2,407	0,232
12	1,993	0,347	2,248	0,278
14	1,903	0,385	2,130	0,316
16	1,883	0,418	2,039	0,349
18	1,776	0,445	1,965	0,377
20	1,729	0,469	1,905	0,402
22	1,690	0,490	1,854	0,424
24	1,656	0,508	1,810	0,443
26	1,626	0,525	1,773	0,461
28	1,600	0,540	1,739	0,477
30	1,557	0,553	1,710	0,492
35	1,523	0,583	1,649	0,523
40	1,490	0,606	1,601	0,549
45	1,459	0,627	1,562	0,572
50	1,433	0,644	1,529	0,591
55	1,411	0,659	1,501	0,607

Таблица П.20.5

Критические значения критерия $v_k(P, m)$

m	$P=0,90$	$P=0,95$	$P=0,975$	m	$P=0,90$	$P=0,95$	$P=0,975$
3	1,406	1,412	1,414	16	2,354	2,523	2,670
4	1,645	1,689	1,710	18	2,404	2,577	2,728
5	1,791	1,869	1,917	20	2,447	2,623	2,779
6	1,894	1,996	2,067	22	2,486	2,664	2,823
7	1,947	2,093	2,182	24	2,521	2,701	2,862
8	2,041	2,172	2,273	26	2,553	2,734	2,897
9	2,097	2,238	2,349	28	2,582	2,764	2,929
10	2,146	2,294	2,414	30	2,609	2,792	2,958
12	2,229	2,387	2,519	35	2,668	2,853	3,022
14	2,297	2,461	2,602	40	2,718	2,904	3,075

Таблица П.20.6

Критические значения критерия Фишера F_K

P	m_2	m_1							
		4	6	8	10	15	20	30	40
0,90	4	5,39	5,31	5,27	5,24	5,20	5,18	5,17	5,16
0,95		9,28	9,10	8,89	8,81	8,70	8,66	8,62	8,59
0,90	6	3,62	3,45	3,37	3,32	3,24	3,21	3,17	3,16
0,95		5,41	5,05	4,88	4,77	4,62	4,56	4,50	4,46
0,90	8	3,07	2,83	2,78	2,70	2,63	2,59	2,56	2,54
0,95		4,35	3,87	3,79	3,64	3,51	3,44	3,38	3,34
0,90	10	2,81	2,61	2,51	2,44	2,34	2,30	2,25	2,23
0,95		3,86	3,48	3,29	3,18	3,01	2,94	2,86	2,83
0,90	15	2,52	2,24	2,19	2,12	2,01	1,96	1,91	1,89
0,95		3,34	2,85	2,76	2,65	2,46	2,39	2,31	2,27
0,90	20	2,40	2,18	2,06	1,98	1,86	1,81	1,76	1,73
0,95		3,13	2,74	2,54	2,42	2,23	2,16	2,07	2,03
0,90	30	2,28	2,05	1,93	2,85	1,72	1,67	1,61	1,57
0,95		2,92	2,53	2,33	2,21	2,01	1,93	1,84	1,79
0,90	40	2,23	2,00	1,87	1,79	1,66	1,61	1,54	1,51
0,95		2,84	2,45	2,25	2,12	1,92	1,84	1,74	1,69
0,90	60	2,18	1,95	1,82	1,74	1,60	1,54	1,48	1,44
0,95		2,76	2,37	2,17	2,04	1,84	1,75	1,65	1,59

Таблица П.20.7

Критические значения критерия t_K

m	P		m	P	
	0,95	0,99		0,95	0,99
4	0,390	0,256	16	0,614	0,475
5	0,410	0,269	17	0,624	0,487
6	0,445	0,281	18	0,633	0,499
7	0,468	0,307	19	0,642	0,510
8	0,491	0,331	20	0,650	0,520
9	0,514	0,354	25	0,678	0,542
10	0,531	0,376	30	0,704	0,573
11	0,548	0,397	35	0,725	0,611
12	0,564	0,414	40	0,742	0,636
13	0,578	0,431	45	0,754	0,658
14	0,591	0,447	50	0,769	0,674
15	0,603	0,461	60	0,789	0,702

Таблица П.20.8

Критические значения критерия Кохрена G_K

n	m							
	4	5	6	7	8	9	10	17
	P = 0,95							
3	0,798	0,746	0,707	0,677	0,653	0,633	0,617	0,547
4	0,648	0,629	0,589	0,560	0,537	0,518	0,502	0,437
5	0,589	0,544	0,507	0,478	0,456	0,439	0,424	0,365
6	0,532	0,480	0,445	0,418	0,398	0,382	0,368	0,314
7	0,480	0,431	0,397	0,373	0,354	0,338	0,326	0,276
8	0,438	0,391	0,359	0,336	0,319	0,304	0,293	0,246
10	0,373	0,331	0,303	0,282	0,267	0,254	0,244	0,203
12	0,326	0,288	0,262	0,244	0,230	0,219	0,210	0,174
15	0,276	0,242	0,219	0,203	0,191	0,182	0,141	0,143
20	0,220	0,192	0,174	0,160	0,150	0,142	0,136	0,111
n	P = 0,99							
	4	5	6	7	8	9	10	17
	P = 0,99							
3	0,883	0,834	0,793	0,761	0,734	0,711	0,691	0,606
4	0,781	0,721	0,676	0,641	0,613	0,590	0,570	0,488
5	0,696	0,633	0,588	0,553	0,526	0,504	0,485	0,409
6	0,626	0,564	0,520	0,487	0,461	0,440	0,423	0,353
7	0,589	0,508	0,466	0,435	0,411	0,391	0,375	0,310
8	0,521	0,463	0,423	0,393	0,370	0,352	0,337	0,278
10	0,447	0,393	0,357	0,331	0,311	0,295	0,281	0,230
12	0,392	0,343	0,310	0,286	0,268	0,254	0,242	0,196
15	0,332	0,288	0,259	0,239	0,223	0,210	0,200	0,161
20	0,265	0,229	0,205	0,188	0,175	0,165	0,157	0,125

ГРАФИКИ МОДЕЛЕЙ И СПРЯМЛЯЮЩИЕ ПОДСТАНОВКИ

Таблица П.21.1

Дробно-рациональные модели

№	Графики моделей	Конфигурация модели и спрямляющая подстановка
1	2	3
1		$Y = \frac{X}{b_0 + b_1 X};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{X}{Y}; \quad U = X.$
2		$Y = \frac{1}{b_0 + b_1 X};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{1}{Y}; \quad U = X.$
3		$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{X^2}{Y}; \quad U = X.$
4		$Y = \frac{1}{b_0 + b_1 X^2};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{1}{Y}; \quad U = X^2.$

Продолжение таблицы П.21.1

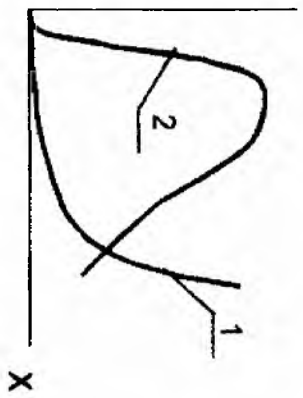
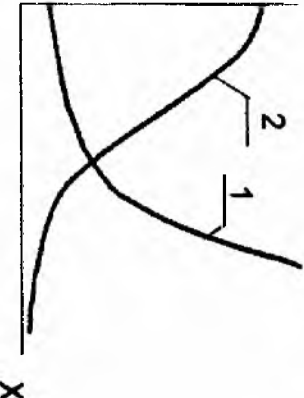
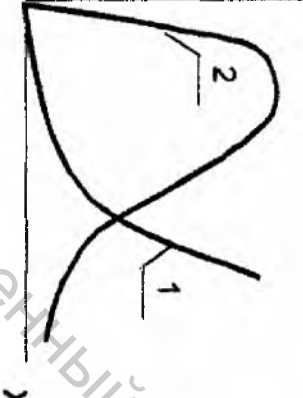
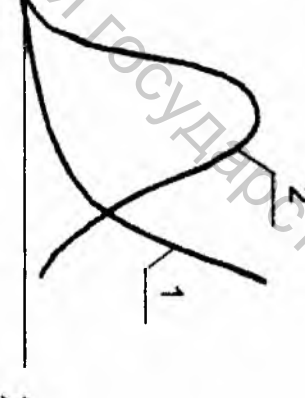
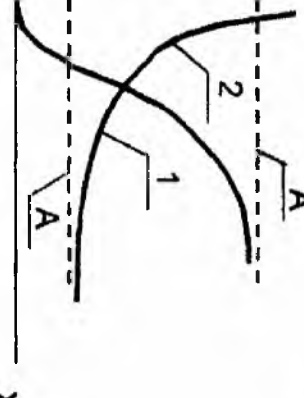
1	2	3
5		$Y = \frac{X}{b_0 + b_1 X^2};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{X}{Y}; \quad U = X^2.$
6		$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X^2};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{X^2}{Y}; \quad U = X^2.$
7		$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X^3};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{X^2}{Y} \quad U = X^3.$
8		$Y = \frac{X}{b_0 + b_1 X^3};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{X}{Y}; \quad U = X^3.$
9		$Y = \frac{1}{b_0 + b_1 X^3};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{1}{Y}; \quad U = X^3.$

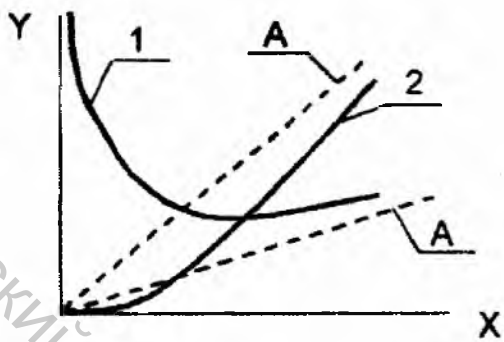
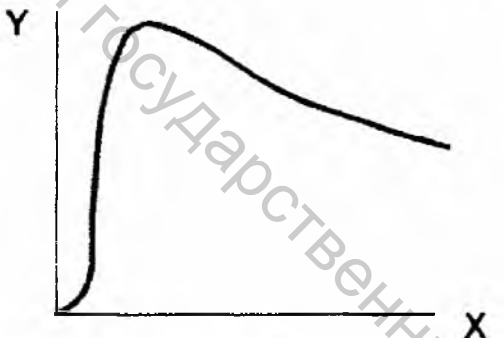
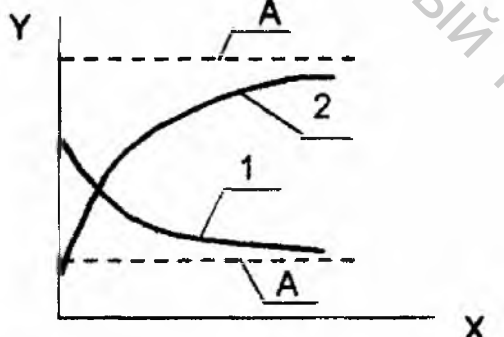
Окончание таблицы П.21.1

1	2	3
10		$Y = \frac{X^3}{b_0 + b_1 X^3};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \frac{X^3}{Y}; \quad U = X^3.$
11		$Y = \frac{X^3}{b_0 + b_1 X^2};$ $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ $Z = \frac{X^3}{Y}; \quad U = X^2.$

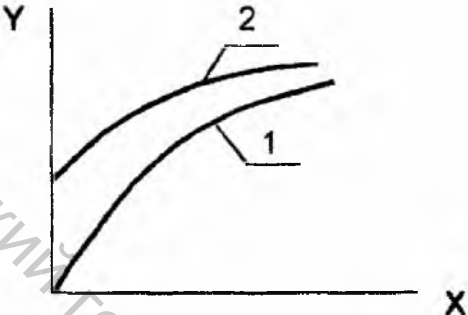
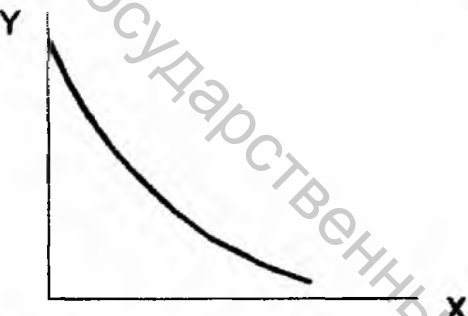
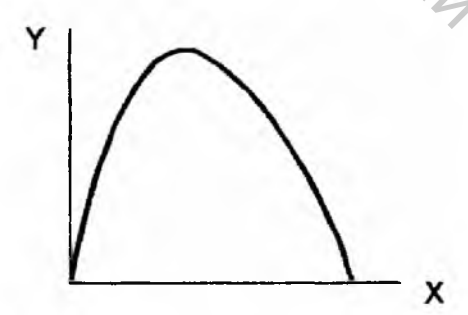
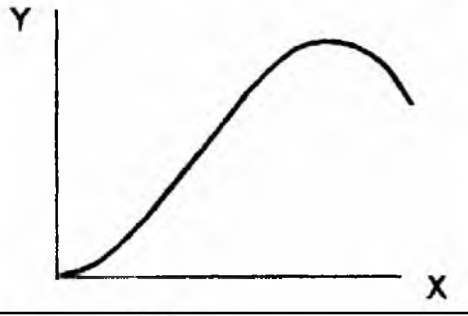
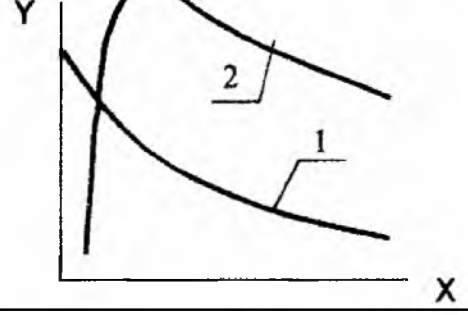
Таблица П.21.2
Показательные модели с двумя параметрами

№	Графики моделей	Конфигурация модели и спрямляющая подстановка
1	2	3
1 (12)		$Y = b_0 e^{b_1 X};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \ln Y; \quad U = X.$
2 (13)		$Y = b_0 X e^{b_1 X};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \ln \frac{Y}{X}; \quad U = X.$

1	2	3
3 (14)		$Y = b_0 X^2 e^{b_1 X};$ 1. $b_0 > 0;$ $b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0;$ $b_1 < 0;$ $Z = \ln \frac{Y}{X^2}; \quad U = X.$
4 (15)		$Y = b_0 e^{b_1 X^2};$ 1. $b_0 > 0;$ $b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0;$ $b_1 < 0;$ $Z = \ln Y; \quad U = X^2.$
5 (16)		$Y = b_0 X e^{b_1 X^2};$ 1. $b_0 > 0;$ $b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0;$ $b_1 < 0;$ $Z = \ln \frac{Y}{X}; \quad U = X^2.$
6 (17)		$Y = b_0 X^2 e^{b_1 X^2};$ 1. $b_0 > 0;$ $b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0;$ $b_1 < 0;$ $Z = \ln \frac{Y}{X^2}; \quad U = X^2.$
7 (18)		$Y = b_0 e^{b_1/X};$ 1. $b_0 > 0;$ $b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0;$ $b_1 < 0;$ $Z = \ln Y; \quad U = \frac{1}{X}.$

1	2	3
8 (19)		$Y = b_0 X e^{b_1/X};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \ln \frac{Y}{X}; \quad U = \frac{1}{X}.$
9 (20)		$Y = \frac{b_0}{X} e^{b_1/X};$ $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \ln Y \cdot X; \quad U = \frac{1}{X}.$
10 (21)		$Y = b_0 e^{b_1/(1+X)};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \ln Y; \quad U = \frac{1}{X+1}.$
11 (22)		$Y = \frac{b_0}{X^2} e^{b_1/X};$ $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \ln Y \cdot X^2; \quad U = \frac{1}{X}.$

Логарифмические модели с двумя параметрами

№	Графики моделей	Конфигурация модели и спрямляющая подстановка
1 (23)		$Y = b_0 \ln[b_1(1 + X)];$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 = 1;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 > 1;$ $Z = Y; \quad U = \ln(1 + X).$
2 (24)		$Y = b_0 \ln \left[\frac{b_1}{1 + X} \right];$ $b_0 > 0; \quad b_1 > 1;$ $Z = Y; \quad U = \ln(1 + X).$
3 (25)		$Y = b_0 X \ln \left[\frac{b_1}{X} \right];$ $b_0 < 0; \quad b_1 > 0;$ $Z = \frac{Y}{X}; \quad U = \ln X.$
4 (26)		$Y = b_0 X^2 \ln \left[\frac{b_1}{X} \right];$ $b_0 < 0; \quad b_1 > 0;$ $Z = \frac{Y}{X^2}; \quad U = \ln X.$
5 (27)		$Y = \frac{b_0}{X} \ln \left[\frac{b_1}{1 + X} \right];$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 = 1;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 > 1;$ $Z = Y \cdot X; \quad U = \ln(1 + X).$

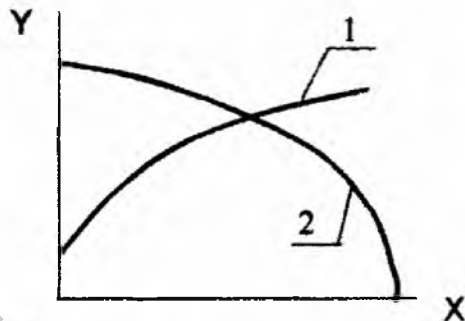
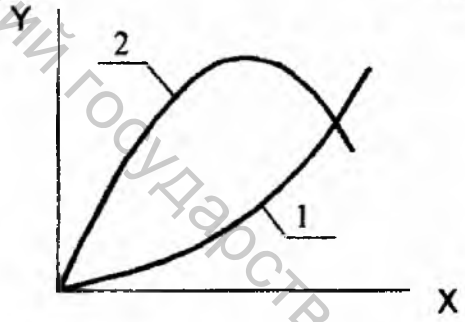
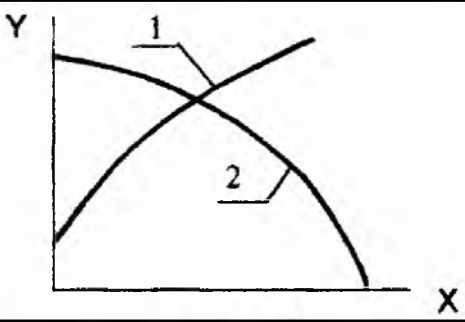
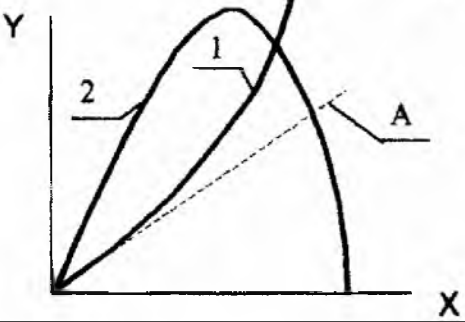
1	2	3
6 (28)		$Y = \ln(b_0 + b_1 \cdot X);$ 1. $b_0 > 1; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 1; \quad b_1 < 0;$ $Z = e^Y; \quad U = X.$
7 (29)		$Y = X \ln(b_0 + b_1 \cdot X);$ 1. $b_0 > 1; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 1; \quad b_1 < 0;$ $Z = e^Y; \quad U = X.$

Таблица П.21.4

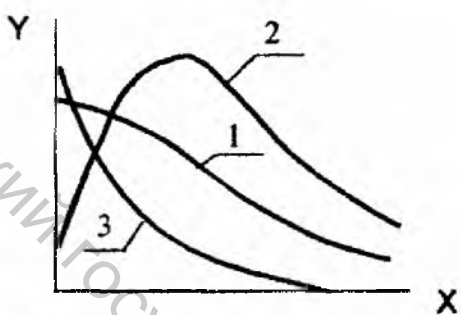
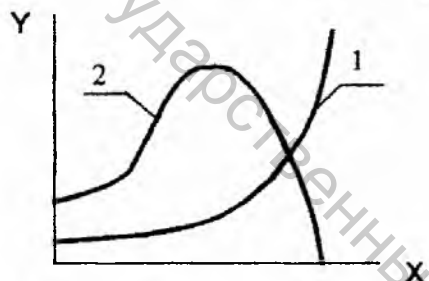
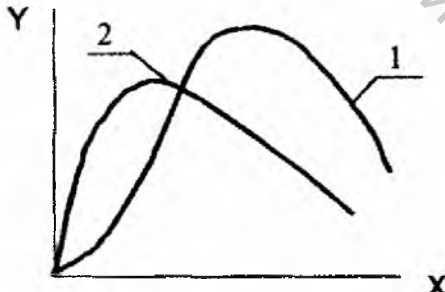
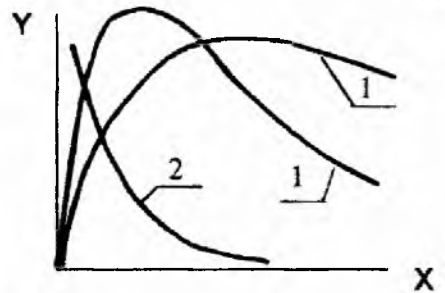
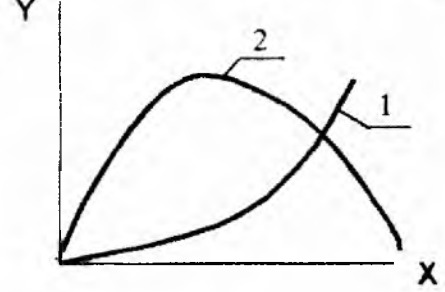
Иррациональные модели с двумя параметрами

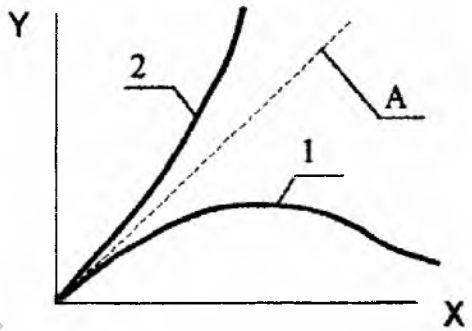
№	Графики моделей	Конфигурация модели и спрямляющая подстановка
1	2	3
1 (30)		$Y = \sqrt{b_0 + b_1 \cdot X};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = Y^2; \quad U = X.$
2 (31)		$Y = X \sqrt{b_0 + b_1 \cdot X};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; \quad b_1 < 0;$ $Z = \left(\frac{Y}{X}\right)^2; \quad U = X.$

1	2	3
3 (32)		$Y = X \sqrt{b_0 + b_1 \cdot X^2};$ 1. $b_0 > 0$; $b_1 > 0$; 2. $b_0 > 0$; $b_1 < 0$; $Z = \left(\frac{Y}{X} \right)^2; \quad U = X^2.$
4 (33)		$Y = \sqrt{X \cdot (b_0 + b_1 \cdot X)};$ 1. $b_0 > 0$; $b_1 > 0$; 2. $b_0 > 0$; $b_1 < 0$; $Z \neq \frac{Y^2}{X}; \quad U = X.$
5 (34)		$Y = \sqrt{b_0 + b_1 \cdot X^2};$ 1. $b_0 > 0$; $b_1 > 0$; 2. $b_0 > 0$; $b_1 < 0$; $Z = Y^2; \quad U = X^2.$
6 (35)		$Y = \sqrt{\frac{X}{b_0 + b_1 \cdot X^2}};$ 1. $b_0 > 0$; $b_1 > 0$; 2. $b_0 > 0$; $b_1 < 0$; $Z = \frac{X}{Y^2}; \quad U = X.$
7 (36)		$Y = b_0 \cdot X^{b_1};$ 1. $b_0 > 0$; $b_1 > 1$; 2. $b_0 > 0$; $0 < b_1 < 1$; 3. $b_0 > 0$; $b_1 < 0$; $Z = \ln Y; \quad U = \ln X.$

Таблица П.21.5

Комбинированные модели с двумя параметрами

№	Графики моделей	Конфигурация модели и спрямляющая подстановка
1 (37)		$Y = (b_0 + b_1 X) \cdot e^{-X};$ 1. $b_0 > 0; b_0 > b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; b_0 < b_1; b_1 > 0;$ 3. $b_0 > 0; b_1 < 0;$ $Z = Y \cdot e^X; \quad U = X.$
2 (38)		$Y = (b_0 + b_1 X) \cdot e^X;$ 1. $b_0 > 0; b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; b_1 < 0;$ $Z = Y \cdot e^{-X}; \quad U = X.$
3 (39)		$Y = b_0 X^{b_1} \cdot e^{-X};$ 1. $b_0 > 0; b_1 > 1;$ 2. $b_0 > 0; 0 < b_1 < 1;$ $Z = X + \ln Y; \quad U = \ln X.$
4 (40)		$Y = b_0 X^{(1-b_1)} \cdot e^{-b_1 X};$ 1. $b_0 > 0; 0 \leq b_1 < 1;$ 2. $b_0 < 0; b_1 > 1;$ $Z = \ln \frac{Y}{X}; \quad U = \ln X + X.$
5 (41)		$Y = (b_0 + b_1 X) \ln(1 + X);$ 1. $b_0 > 0; b_1 > 0;$ 2. $b_0 > 0; b_1 < 0;$ $Z = \frac{Y}{\ln(1 + X)}; \quad U = X.$

1	2	3
6 (42)	 The graph shows a coordinate system with a vertical axis labeled 'Y' and a horizontal axis labeled 'X'. Two curves originate from the origin (0,0). Curve 1 is concave down, reaching a peak and then slightly declining. Curve 2 is concave up, increasing monotonically. A dashed straight line, labeled 'A', also originates from the origin and lies between the two curves for a certain range of X.	$Y = \frac{X}{1 + b_0 X^{b_1}};$ 1. $b_0 > 0; \quad b_1 > 1;$ 2. $b_0 < 0; \quad b_1 > 0;$ $Z = \ln \left(\frac{X}{Y} - 1 \right), \quad U = \ln X.$

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшуллер, Г. С. Найти идею / Г. С. Альтшуллер. – Новосибирск : Наука, 1986. – 209 с.
2. Альтшуллер, Г. С. Творчество, как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – Москва : Советское радио, 1979. – 103 с.
3. Альтшуллер, Г. С. Поиск новых идей: от озарения к технологии (теория и практика решения изобретательских задач) / Г. С. Альтшуллер, Б. Л. Злотин, А. В. Зусман. – Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1989. – 381 с.
4. Антонов, А. В. Психология изобретательского творчества / А. В. Антонов. – Киев : Вища школа, 1979. – 175с.
5. Буш, Г. Я. Рождение изобретательских идей / Г. Я. Буш. – Рига : Лиесма, 1976. – 268с.
6. Быков, В. П. Методика проектирования объектов новой техники: учебное пособие / В. П. Быков. – Москва : Высшая школа, 1990. – 166с.
7. Глазунов, В. Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике / В. Н. Глазунов. – Москва : Речной транспорт, 1990. – 150 с.
8. Голдовский, В. И. Комплексный метод поиска решений технических проблем / В. И. Голдовский, М. Н. Вайнерман. – Москва : Речной транспорт, 1990. – 112с.
9. Голдовский, В. И. Рациональное творчество / В. И. Голдовский, М. Н. Вайнерман. – Москва : Речной транспорт, 1990. – 213с.
10. Дворянкин, А. М. Методы синтеза технических решений / А. М. Дворянкин, А. И. Половинкин, А. Н. Соболев. – Москва : Наука, 1977. – 103с.
11. Джонс, Дж. К. Методы проектирования : пер. с англ. / Дж. К. Джонс. – 2-е изд. – Москва : Мир, 1986. – 328с.
12. Дитрих, Я. Проектирование и конструирование: системный подход / Ян Дитрих. – Москва : Мир, 1981. – 266с.
13. Имитационное моделирование производственных систем / под ред. А. А. Вавилова. – Москва : Машиностроение, 1983. – 416с.
14. Каменев, А. Ф. Технические системы : закономерности развития / А. Ф. Каменев. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 216с.
15. Классификатор технологических операций в машиностроении и приборостроении. – Москва : Издательство стандартов, 1975. – 24с.
16. Кожевников, С. Н. Элементы механизмов / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин. – Москва : Оборонгиз, 1956. – 1058с.
17. Крайнев, А. Ф. Идеология конструирования / А. Ф. Крайнев. – Москва : Машиностроение, 2003. – 384 с.
18. Левин, В. И. Информационные технологии в машиностроении / В. И. Левин. – Москва : Академия, 2006. – 240 с.
19. Литвинов, Б. В. Основы инженерной деятельности / Б. В. Литвинов. – Москва : Машиностроение, 2005. – 288 с.
20. Лищинский, Л. Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Л. Ю. Лищинский. – Москва : Машиностроение, 1990. – 312с.

21. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования : учебник для ВУЗов / И. П. Норенков. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 360 с.

22. Папандимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация. Теория и алгоритмы / Х. Папандимитриу, К. Стейглиц. – Москва : Мир, 1983. – 512 с.

23. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества : учебное пособие / А. И. Половинкин. – Москва : Машиностроение, 1988. – 360с.

24. Справочник по функционально-стоимостному анализу / А. П. Ковалев [и др.] ; под ред. А. К. Карпунина, Б. И. Майданчика. – Москва : Финансы и статистика, 1988. – 431с.

25. Сторожук, О. А. Моделирование и вариантное прогнозирование развития техники. / О. А. Сторожук. – Москва : Машиностроение, 2005. – 252 с.

26. Таленс, Я. Ф. Работа конструктора / Я. Ф. Таленс. – Ленинград : Машиностроение, 1997. – 255 с.

27. Чус, А. В. Основы технического творчества / А. В. Чус, В. Н. Данченко. – Киев : Вища школа, 1983. – 184 с.

Учебное издание

Махаринский Ефим Ильич
Махаринский Юрий Ефимович
Ольшанский Валерий Иосифович
Беляков Николай Владимирович

Учебное пособие

Редактор *Угольников А.А.*
Компьютерная верстка *Беляков Н.В.*
Корректор *Богачева Е.М.*
Технический редактор *Жук Н.В.*

Подписано к печати 22.04.09. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$ Бумага офсетная №1
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. листов 20,46. Уч.-изд. листов 22,4.
Тираж 317 экз. Заказ № 208.

Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет» 210035, г. Витебск, Московский пр., 72

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет»
Лицензия №02330/0494384 от 16 марта 2009г.