

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЁВА»

А.П. Быков, В. Р. Каргин

## ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2009

УДК СГАУ/62(075)

ББК 30у

Б 953

Рецензенты: д.т.н., профессор И.П. Попов,  
к.т.н., доцент В.И. Дровяников

*Быков А.П.*

**Б 953 Основы инженерного творчества: учеб. пособие / А.П. Быков, В.Р. Каргин.** – Самара: Издательство СГАУ, 2009. -108 с.

**ISBN 978-5-7883-0700-8**

Рассмотрены основные определения и понятия инженерного творчества, раскрыты психолого-педагогическая сущность творческого процесса. Изложены закономерности строения и развития технических систем, эвристические методы и приемы генерирования новых идей, изобретений, элементы патентоведения.

Рекомендовано студентам инженерно-технологического факультета, обучающимся по специальностям «Обработка металлов давлением», «Машины и технология обработки металлов давлением», «Экономика и управление на предприятии (металлургия)».

УДК СГАУ/62(075)

ББК 30у

**ISBN 978-5-7883-0700-8**

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРЕДМЕТ ТРУДА ИНЖЕНЕРА.....	5
1.1. Квалификация-инженер.....	5
1.2. Психологические и социальные аспекты творчества инженера.....	12
1.3. Вопросы для самоконтроля.....	17
1.4. Задачи и упражнения.....	17
2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПРИЕМЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ.....	19
2.1. Определение системы.....	19
2.2. Типы систем.....	27
2.3. Структурный анализ.....	29
2.4. Метод дерева целей.....	34
2.5. Этапы системного проектирования.....	38
2.6. Методы формирования обобщенных критериев.....	40
2.7. Метод экспертных оценок.....	47
2.8. Вопросы для самоконтроля.....	50
2.9. Задачи и упражнения.....	51
3. ПРОТИВОРЕЧИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	55
3.1. Сущность и виды противоречий.....	55
3.2. Пути разрешения противоречий.....	61
3.3. Вопросы для самоконтроля.....	65
3.4. Задачи и упражнения.....	65
4. МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА.....	68
4.1. Метод проб и ошибок.....	68
4.2. Метод контрольных вопросов.....	70
4.3. Метод морфологического анализа.....	72
4.4. Метод мозговой атаки.....	75
4.5. Ассоциативные методы.....	78
4.6. Алгоритм решения изобретательных задач.....	80
4.7. Вопросы для самоконтроля.....	85
4.8. Задачи и упражнения.....	86

5. ПАТЕНТОВЕДЕНИЕ.....	88
5.1. Интеллектуальная собственность.....	88
5.2. Организация патентных исследований.....	93
5.3. Составление заявок на изобретение.....	95
5.4. Вопросы для самоконтроля.....	98
5.5. Задачи и упражнения.....	98
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	103

## 1. ПРЕДМЕТ ТРУДА ИНЖЕНЕРА

### 1.1. Квалификация-инженер

После окончания высшего учебного заведения студентам-выпускникам решением государственной аттестационной комиссии присваивается квалификация инженера.

Инженер происходит от латинского слова *ingenium* (остроумное изобретение), то есть человек, способный изобретать.

Издавна человек создавал устройства, с помощью которых он мог заставить природу работать на себя. Так, от ковыряния земли палкой человек пришел к созданию сохи, потом изобрел плуг. Он изобрел ветряк, чтобы использовать силу ветра для дробления зерен, водяное колесо для привода молота, прокатного стана, способ получения железа из руды, а из железа - разнообразных деталей.

Уже в древние века наряду со священниками, врачами, учителями были люди, посвятившие себя созданию приспособлений, устройств, машин. Эти люди создавали оружие, строили крепости, мосты, каналы. Они были предшественниками современных инженеров. Их дела особенно ярко проявились во времена Египетской и Римской империй, гениальными сооружениями которых люди восхищаются и по сей день (пирамиды Хеопса, Великая Китайская стена, дворец Парфенон, храмы Афин и т.п.). Инженерное дело в то время основывалось на эмпирических знаниях, на здравом смысле, эксперименте, изобретательности. Законы природы в древние времена были малоизвестны инженерам. В таком виде инженерное дело существовало много столетий, накапливая практические знания. Уровень инженерного дела возрос, когда интенсивно начала развиваться наука, это XVIII век, когда была изобретена паровая машина. Инженеры XIX века понимали, что наука поможет разрешить многие задачи, и пытались применить науку на практике. Благодаря их усилиям классическое инженерное дело превратилось в современное.

Целью современного инженера является применение полученных знаний в вузе для удовлетворения потребностей производства и общества (рис. 1)

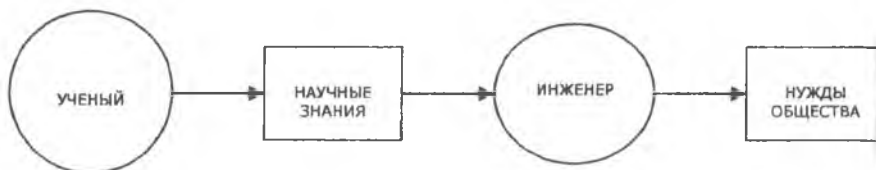


Рис. 1. Роль инженера в обществе

Инженер – это посредник между наукой и обществом. Он создаёт реальный прибор, контролирующий степень деформации при прокатке, технологический процесс изготовления поковок, автоматизированный волочильный стан, т.е. то, что нужно людям (рис.2). Инженеры всегда были и остаются специалистами, решающими технические задачи.

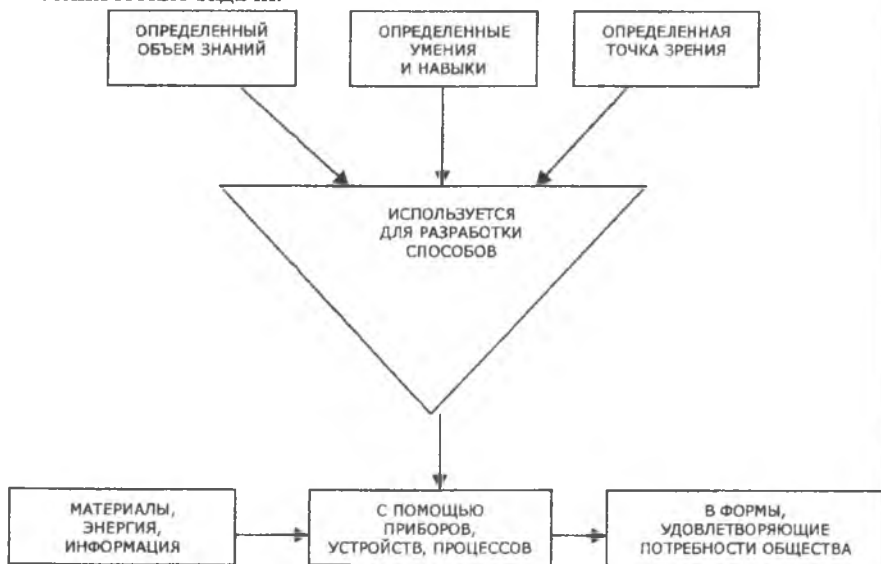


Рис. 2. Схема решения инженерных задач

Работа инженера и работа ученого отличаются друг от друга. Ученый большую часть времени затрачивает на усвоение того, что изучено другими, на формулирование теорий, на постановку экспериментов, на попытки обобщить то, что изучено другими. Основное стремление ученого - расширить познания людей. Инженер, наоборот, стремится разработать что-то новое, полезное людям. Инженер созидает. Все, что окружает нас на Земле - это результат удивительного и величественного процесса – инженерного творчества: создание различных материалов, изделий, машин и технологий.

Современный инженер, чтобы успешно решать технические задачи, должен обладать следующими качествами:

- сочетание профессиональных знаний, практических навыков, умений и опыта;
- изобретательность – это свойство постоянно придумывать что-либо, прежде всего, в технической области, заглядывать в будущее, уметь находить различные варианты решения инженерных задач;
- компетентность – это свойство знающего и умеющего человека, имеющего не только опыт, но и грамотно объясняющего свои действия;
- самостоятельность – это свойство осуществлять процессы жизнедеятельности, строить интеллектуальные модели, изобретать, оценивать свои поступки независимо от мнения других, их предпочтений, общественных желаний;
- коммуникабельность – это умение легко и эффективно общаться и работать с людьми;
- умение проводить анализ – детальное изучение каждого варианта решения инженерной задачи;
- умение принимать решения – из множества различных решений инженерной задачи выбрать наиболее предпочтительное, лучшее, ценное;
- умение работать на компьютере;

- умение свободно выражать свои мысли, идеи по техническим вопросам словами, графически, математически;
- стремление к самосовершенствованию, самообразованию;
- добросовестность – это свойство всегда честно и серьезно выполнять свои обязанности инженера;
- наличие собственной точки зрения. Это свойство, которое нельзя отнести ни к знаниям, ни к опыту, включает в себя умение инженера настоять на том, что любая операция проектируемого технологического процесса имеет свое право на существование, умение быть объективным, соблюдать профессиональную этику, иметь чувство долга; гражданскую позицию; экологическое сознание.

Инженерная задача возникает всякий раз, когда нужно перейти от одного состояния к другому. Например:

**Состояние А → Состояние Б**

Руда → Металл

Металл → Заготовка

Заготовка → Труба

У любой задачи есть начальные условия, которые называются входом (состояние А), условия, которых нужно достичь - выход (состояние Б).

Очевидно, у таких задач существует большое число решений, т.е. различных способов перехода из состояния А в состояние Б. Так, например, трубу из заготовки можно получить прессованием, волочением, поперечно-винтовой прокаткой, сваркой и т.п. Если нет различных способов достижения требуемого результата, то и нет инженерной задачи. При решении задачи могут быть использованы различные средства. Они различаются по затратам, стоимости, дефицитности и т.д. Каждое решение задачи должно быть физически осуществимым (соответствовать законам природы), технически реализуемым, соответствовать ресурсам, экономически выгодным.



Инженерная задача всегда требует из множества решений нахождение предпочтительного метода достижения желаемого результата. Основной признак, по которому одно решение выбирается из многих возможных, будем называть критерием. Критерий должен быть универсальным, количественным, простым и легко вычисляемым, иметь физический смысл (рис. 3). Лучшим будет тот критерий, который в максимальной степени способствует достижению поставленной цели. В качестве критерия при обработке металлов давлением могут быть следующие показатели: себестоимость, рентабельность, коэффициент использования металла, производительность, механические свойства готовых изделий, качество металлопродукции.

При переходе из состояния А в состояние Б часто существуют определенные средства, применение которых неизбежно. Например, при изготовлении трубы из заготовки обязательно должен быть использован процесс прессования, а не волочения. Средства, которые должны быть обязательно применены при решении задачи, будем называть ограничениями.

Таким образом, инженерная задача существует тогда, когда требуется перейти из одного состояния к другому, если имеется более чем одно возможное решение и если все возможные решения не очевидны.

Все инженерные задачи представляют собой множество весьма отличающихся друг о друга объектов. Г. Альтшуллер предложил все множество инженерных задач разделить на 5 уровней по степени трудности их решения:

1. Использование готового объекта или решения. Задача и средства ее решения лежат в пределах общих знаний специалистов.
2. Выбор одного объекта или решения из нескольких известных в данной области техники.

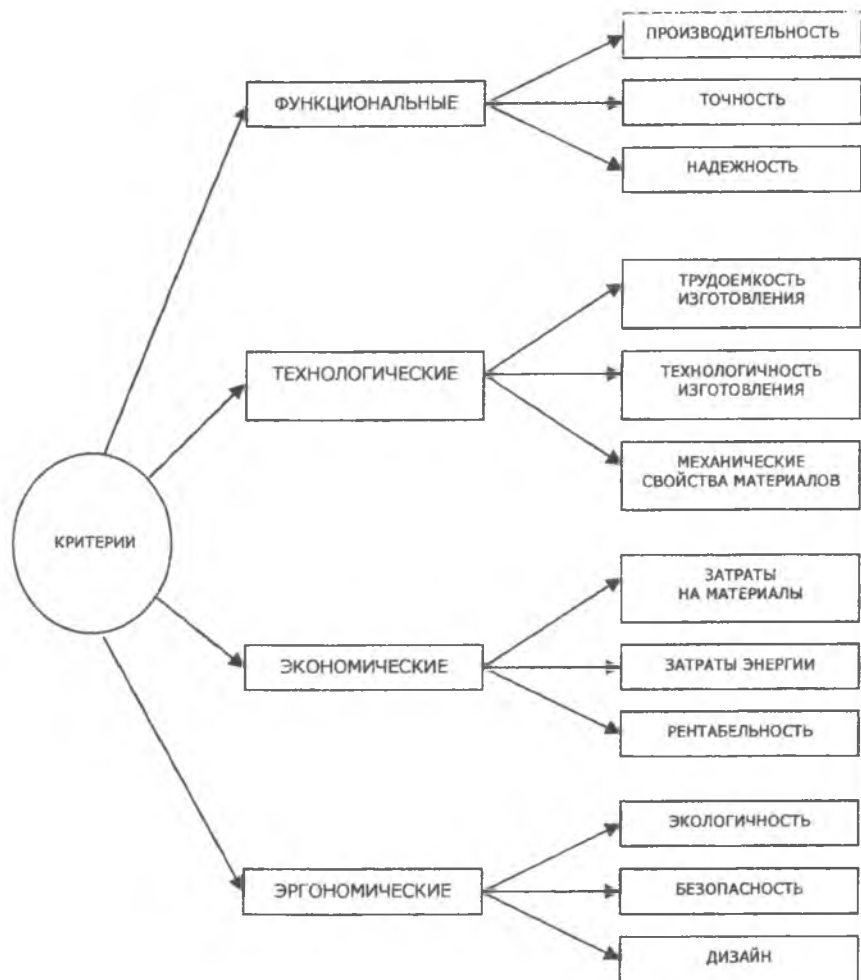


Рис. 3. Критерии выбора

3. Частичное изменение объекта способами, известными в пределах одной науки.

4. Создание нового объекта или полное изменение исходного. Используются способы решения и знания из других областей науки.

5. Создание принципиально новых комплексов объектов, новых технологий. В некоторых случаях благодаря этому возникают целые новые отрасли техники.

### **Пример задачи 1-го уровня**

Имеется печь, в которой находится расплавленный металл. В центральную зону печи подведен трубопровод для жидкого кислорода. Что нужно сделать, чтобы кислород, идущий по этой трубе, не газифицировался вплоть до выхода в металл?

Решение: нужна теплоизоляция, а если она есть, нужно ее усилить, ввести двойные стенки, использовать принудительное охлаждение и т.п.

### **Пример задачи 2-го уровня**

Электромагнитный насос для перекачки жидкого металла представляет собой трубу и индуктор (электромагнит), выполненный в виде кольца, охватывающего трубу. В рабочем положении конец трубы опущен в металл, а индуктор находится выше уровня металла. Для запуска насоса нужно втянуть металл до уровня индуктора. Как это сделать?

Решение: тут возможны различные решения: 1) поставить в нижней части пусковой индуктор; 2) перед началом работы заливать металл сверху, опускать трубу с индуктором вниз и т.п. Лучшее решение: опускать в начале работы индуктор, захватывать металл и поднимать его вверх до уровня, соответствующего рабочему положению индуктора.

В задачах 1-го уровня объект не изменяется. На 2-м уровне объект изменяется, но несильно. На 3-м уровне объект меняется сильно, на 4-м он меняется полностью, а на 5-м меняется вся техническая система, в которую входит объект. Примером задачи 5-го уровня является применение монокристаллов сплавов - Cu-Al-Ni в качестве рабочего твердого тела для преобразования тепловой энергии в ме-

ханическую путем изменения его упругих свойств при колебании температуры.

На 1 и 2-м уровнях можно перебирать варианты, пользуясь только знаниями в пределах своей специальности. Для задач 3-го уровня решение приходится искать в других отраслях знаний. Для задач 4 и 5-го уровней решение ищется на основе современных достижений науки и открытий.

Примерно 80% всех зарегистрированных патентов и изобретений относятся к задачам 1-3-го уровней. Каждый инженер должен уметь решать технические задачи 1-2-го уровней, т.к. решения лежат в пределах профессии.

## **1.2. Психологические и социальные аспекты творчества инженера**

Каждая новая технология, новый материал, новая машина появляются с идеи. Весь окружающий нас мир – это мир, изобретенный человеком, так как любой предмет нашей жизни, будь то пища, одежда, здания, книги, компьютеры, лекарства, прокатные станы, самолеты, ракеты, спутники и т.д. появились под воздействием человека как результат его изобретательности. Все, что создано человеком, когда-то не существовало потому, что было неизвестно. Делать неизвестное известным – творческий процесс.

Творчество – это особый вид интеллектуальной деятельности человека, направленной на создание качественно новых ценностей, отличающихся неповторимостью, оригинальностью.

Творчество может иметь место в любой сфере деятельности человека (рис. 4). Научное творчество связано с познанием окружающего мира. Техническое (инженерное) творчество имеет прикладные цели и направлено на удовлетворение практических потребностей общества. Это поиск и решение задач в области техники на основе использования научных достижений.

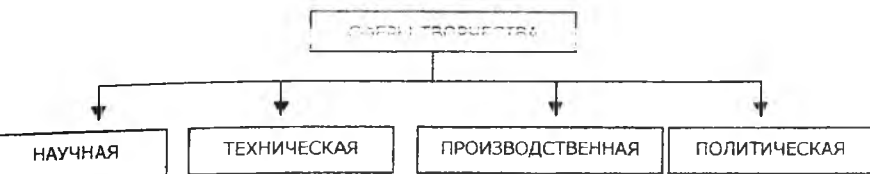


Рис. 4. Сферы творчества

Что же такое творчество: искусство, доступное единицам, или деятельность, которой может посвятить себя каждый? Ответа на этот вопрос, поставленный философами древности, нет и в наши дни. Несомненно то, что для успешной творческой деятельности необходим следующий инструмент, рис. 5.

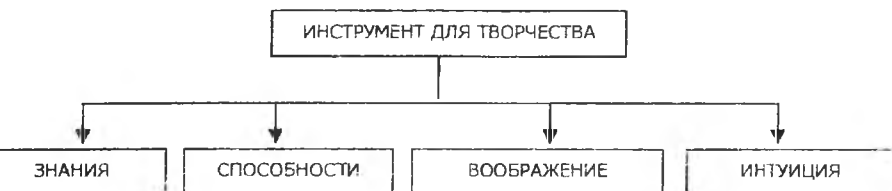


Рис. 5. Инструмент для творчества

Современный уровень развития техники и технологий не дает возможности создать, модернизировать что-то без серьезных знаний по рассматриваемым и смежным вопросам. Знания позволяют избежать многих ошибочных направлений, укажут верный путь при поиске технических решений. Для человека, связанного с творческой деятельностью, процесс получения знаний должен быть непрерывным.

Способности человека частично закладываются на генетическом уровне. Огромное влияние на развитие творческих способностей оказывает дошкольный и младший школьный период жизни человека. Однако и в зрелом возрасте возможности развития творческих способностей неисчерпаемы – было бы желание.

Наиболее важным для творчества является воображение, заключающееся в создании образцов новых предметов на основе прошлых

восприятий, до этого еще неизвестных. Воображение является процессом преобразующего отражения действительности, при котором в результате анализа исходного материала происходит перегруппировка информации и синтез мысленных моделей, объектов и процессов.

«Все, что человек способен представить в своем воображении, другие сумеют претворить в жизнь» - эти слова принадлежат Жюль Верну. Из 108 фантастических идей Жюль Верна оказались неосуществимыми 9%. Из 86 идей Г.Уэльса оказались ошибочными 11%, из 50 высказанных А.Беляевым фантастических идей неосуществимыми оказались 6%.

Воображение помогает освободиться от инерции мышления, раздвигает горизонты видения, усиливает интеллект.

Творческому воображению принадлежит решающая роль в создании нового. По словам А. Эйнштейна, «воображение важнее знаний, воображением можно охватить то, что недоступно знанию». Различают три вида воображения, рис. 6.

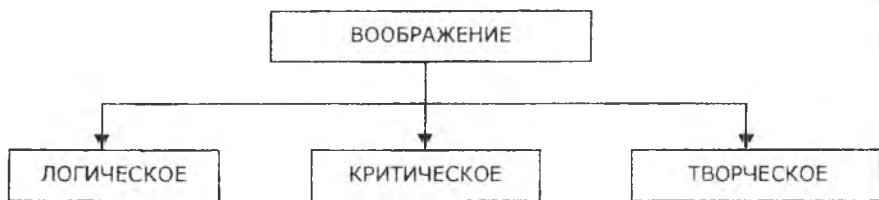


Рис. 6. Типы воображения

Логическое выводит будущее из настоящего путем логических преобразований. Критическое воображение ищет, что в объекте несовершенно и нуждается в изменении. Творческое воображение рождает принципиально новые идеи и представления, опирающиеся на элементы действительности, но не имеющие аналогов в реальном мире. Воображение создает определенный образ технической задачи.

Творческое воображение рисует сразу несколько образов: сам объект, элементы объекта и их взаимодействие, внешнее взаимодействие объекта.

Интуиция представляет собой быстрое решение, полученное в результате длительного накопления знаний в этой области. Это итог умственной деятельности. Процессу творчества присущи как логика, так и интуиция. Иногда в процессе длительного решения задачи у человека происходит внезапное озарение. Это может произойти во время отдыха и сна, когда сознание человека не работает над поставленной задачей. Поиск решения идет в подсознании, в сознании отражается лишь результат. Примеры этого - открытие закона Архимеда и периодической таблицы Д.И. Менделеева.

Мотивы, побуждающие человека заниматься творчеством, следующие, рис. 7.



Рис. 7. Мотивации творчества

Биологические потребности лежат в основе житейской изобретательности. Примером может быть принцип экономии сил. Социальные потребности человека – материальное вознаграждение, стремление к почету. Познательные потребности присущи человеку наряду с потребностью в пище и воде. Это потребности познания, стремления к новому, заранее неизвестному.

С другой стороны, на пути творчества стоит множество преград и барьеров, которые можно объединить в несколько групп, рис. 8.



Рис. 8. Барьеры творчества

Физиологические барьеры связаны с отсутствием нормальных условий для жизни: недостаточности пищи, сна, комфорта.

Социальные барьеры связаны с недостаточно высоким в большинстве случаев статусом человека инженерной специальности в нашем обществе. Сюда можно отнести низкий уровень заработной платы, невысокую стимуляцию изобретательской, творческой деятельности, бюрократизм, несовместимость членов творческой группы, недалекновидную техническую политику.

Психологические барьеры отражают личные особенности человека. Здесь на пути творчества встают лень, рутинная работа, привычки, вера в авторитеты, неверие в собственные силы, равнодушие, использование стандартных методов, стремление действовать в соответствии с прошлым опытом и знаниями.

Информационные барьеры определяются количеством и характером информации об объекте. Недостаток информации, приводящий к условиям неопределенности при принятии ряда решений, и переизбыток информации различного рода, не дающий возможности самому найти ответ на поставленный вопрос, - это препятствия на пути творческого процесса.

Функциональные барьеры связаны с использованием устаревших методов и подходов с неправильной постановкой задачи, с отсутствием необходимых условий труда, материальных и технических ресурсов.



Творческий процесс может протекать в следующей последовательности:

1. накопление знаний, формулировка инженерной задачи;
2. упорная работа над решением инженерной задачи;
3. период умственного отдыха;
4. получение новой идеи или видоизменение уже известной;
5. завершение работы, обобщение, оценка.

### **1.3. Вопросы для самоконтроля**

1. Дать определение инженерной задачи.
2. Что понимают под критерием?
3. Что понимают под ограничениями инженерной задачи?
4. Когда существует инженерная задача?
5. Перечислить этапы решения инженерной задачи.
6. Что значит поставить инженерную задачу?
7. Зачем нужен инженер?
8. Сформулируйте разницу между инженером и ученым.
9. Какова роль инженерного дела?
10. Какими качествами должен обладать современный инженер?
11. Дать определение творчества.
12. Каковы мотивы творчества?
13. Роль воображения в творчестве.
14. Барьеры творчества.
15. Уровни научно-технического творчества.
16. Что собой представляет интуиция?

### **1.4. Задачи и упражнения**

1. Вы студент инженерно-технологического факультета. Каждый курс, который вам читают, предназначен для того, чтобы развить у вас определенные качества. Проанализируйте каждый из курсов и определите такие свойства.

2. Дано решение некоторых задач обработки металлов давлением:

- а) гидравлический пресс;
- б) печь для отжига;

в) кузнечно-штамповочный цех.

Сформулируйте инженерную задачу и найдите состояние А и Б для них.

3. Составьте список нескольких инженерных объектов, проектирование которых, на ваш взгляд, потребует усилий инженеров двух или более специальностей.

4. Определите состояние А и Б, а если необходимо, сделайте предположения для задач, стоящих перед лицами следующих профессий: а) альпинист; б) повар; в) преподаватель; г) студент.

5. Приведите возможный набор критериев: а) для легкового автомобиля; б) технологического процесса обработки металлов давлением; в) лопаток газотурбинного двигателя.

6. При изготовлении листов на прокатных станах состояние А – большой зазор между валками, состояние Б – маленький зазор. Предложите различные способы перехода из состояния А в состояние Б и дайте их схемы.

7. При движении горячего слитка по рольгангу от печи к рабочей клетки прокатного стана он остывает. Предложите технические решения, обеспечивающие заданную температуру слитка при прокатке.

8. Прессование – это один из рациональных методов обработки металлов давлением, позволяющий изготавливать трубы. Перечислите известные вам способы прессования труб и приведите их схемы.

9. Трубы, получаемые поперечно-винтовой прокаткой, имеют большую разностенность. Одна из основных причин – это несоосность оправки со штангой. Предложите пути уменьшения разностенности труб.

10. Сформулируйте две или три известные вам инженерные задачи и найдите состояние А и Б для них. Определите наиболее важные критерии и ограничения для каждой задачи, возможные пути их решения.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПРИЕМЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ

### 2.1. Определение системы

Первый шаг творческого поиска – это представление технического объекта (модернизируемого, вновь создаваемого) в виде системы. Слово система происходит от греческого *systema*, что означает соединение или целое, составленное из отдельных частей.

Чтобы прийти к определению понятия «система», рассмотрим несколько различных объектов, которые интуитивно представляются системами. Физические и механические свойства сплава определяются составом и количеством легирующих элементов, входящих в данный сплав. Функции трубопрофильного гидравлического пресса определяются его схемой. Способность металлургического завода к выпуску изделий зависит от организации его производственного процесса в целом. Объекты по своей природе разнородны, но в них есть общее. Это общее во всех приведенных примерах заключается в том, что объекты являются системами, каждая из которых содержит элементы, а определенное свойство на выходе системы задается отношением элементов внутри. Иными словами, внешняя функция системы (цель) определяется ее внутренним устройством. Отсюда и вытекает определение системы:

*Система* – это совокупность взаимосвязанных элементов, образующих единое целое и определенным образом взаимодействующих для достижения заданной цели.

Элементы, образующие систему – это относительно неделимые части целого. Элемент считается неделимым в пределах масштаба рассматриваемой системы. Например, система «самолет» обладает свойством летать, состоит из множества частей: двигатель, фюзеляж, шасси, крыло и т.д. В то же время в системе «аэропорт» самолет можно считать элементом, рис. 9.

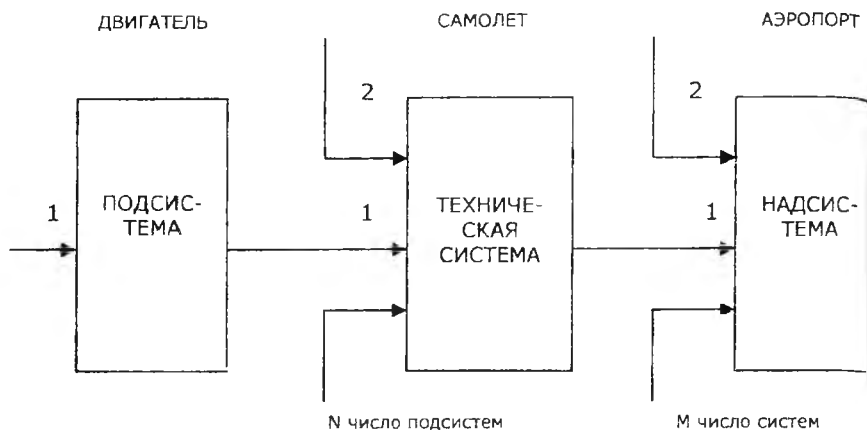


Рис. 9. Иерархия соподчиненности элементов в системе

Таким образом, любая система представляет собой элемент системы более высокого порядка (надсистемы), а ее элементы, в свою очередь, выступают в роли систем более низкого порядка (подсистемы). В качестве элементов могут быть физические, технические, математические, биологические и т.п. подсистемы.

*Функция* – это внешнее проявление свойств системы, ее «способностей». Способности показывают, что система может делать: нагревать, перемещать, удерживать, деформировать и т.п. Эти действия и есть функции системы.

Все системы обладают рядом свойств, независимо от их природы. Целостность системы означает, что комплекс элементов, рассматриваемый в качестве системы, обладает общими свойствами, функцией причем свойства системы не сводимы к сумме свойств, входящих в нее элементов.

Делимость системы отражает тот факт, что любой объект можно представить состоящим из элементов. Каждый элемент можно рассматривать отдельно, изолировано, но не забывая, что это часть целого. Из описания, приведенного выше, следует: система – это, пре-

жде всего, совокупность элементов; имеется наличие существенных связей между элементами или их свойствами, превосходящими по силе связи с элементами, не входящими в данную систему; имеется наличие определенной организации элементов; существуют интегративные качества (свойства), присущие системе в целом, но не свойственные ни одному из элементов в отдельности.

Например, гильотинные ножницы для резки листового материала на полосы – это простая механическая система, состоящая из трех элементов. Эти элементы связаны между собой в определенном порядке и представляют единое целое – ножницы. Интегративным свойством ножниц является способность резать металл на части за счет двухстороннего действия режущих кромок.

Электронно-вычислительная машина, управляющая ходом технологического процесса обработки металлов давлением – более сложная техническая система. В зависимости от уровня рассмотрения элементами ЭВМ могут быть отдельные логические схемы, узлы, блоки, датчики или устройства (арифметические, запоминающие, управляющие и т.п.). Указанные элементы связаны различными связями: механическими, электрическими, информационными. Распределение основных связей между элементами зафиксировано во времени и пространстве, что говорит о вполне определенной организации элементов. Интегративные свойства данной системы обусловлены способностью ЭВМ обрабатывать информацию, производить логический анализ, решать задачи по контролю технологических параметров и т.п.

Таким образом, система не сводится к простой совокупности элементов, и, расчлняя систему на отдельные части, изучая каждую из них в отдельности, нельзя познать все свойства системы в целом. Чем сложнее система, тем больше у нее интегративных свойств.

Примерами бессистемных объектов являются: кучка песка (слабая связь элементов-песчинок и отсутствие устойчивой внутренней связи); колесо в виде цельного однородного диска (отсутствует элементарный состав на механическом уровне); металлолом.

Рассмотренный выше подход является дескриптивным (описательным) определением системы. Он применяется в тех случаях, когда необходимо объяснить, как устроен листопрокатный стан, закономерности технологического процесса прессования профилей и т.п. Тогда система выступает только в одном отношении, в каком внешнее проявление (свойство, функция) задается внутренним устройством (отношения, структура, взаимодействие и т.п.)

Инженер, проектирующий новый технологический процесс, деформирующий инструмент, высокопроизводительное оборудование, идет конструктивным путем, т.е. по заданной функции находит структуру системы. Выделение и построение новой системы осуществляется таким образом: ставится цель, определяется функция, обеспечивающая достижение этой цели, а затем подыскивается или создается структура, обеспечивающая выполнение функции (рис. 10).

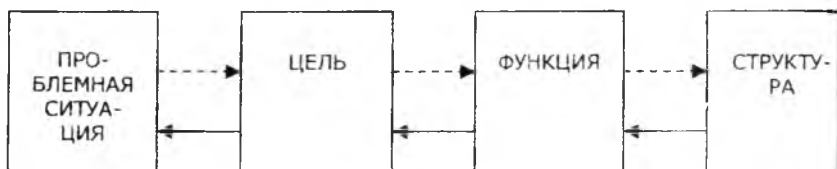


Рис. 10. Схема образования и функционирования системы

Новая цель возникает тогда, когда создается *проблемная ситуация*. Ситуация называется проблемной, если она не может быть решена имеющимися средствами. Необходимость выработки новых средств ставит новые цели, для реализации которых создаются новые системы. В этой связи говорят, что нет системы без проблемы. Система – это средство решения проблемы.

Например, при горячей штамповке малопластичных и труднодеформируемых сплавов на молоте существующие способы не позволяли получать высококачественные изделия. Возникла проблемная ситуация, откуда появилась цель – разработать новый способ штам-

повки. Реализация этой цели осуществлена через функцию системы – высокоскоростное деформирование. В результате создана новая система – высокоскоростной молот.

Цель, вытекающая из проблемы, является объективным критерием для отбора того, что должно войти в систему из окружающей среды. Из бесконечного мира в систему включается конечное число элементов, которые необходимы для функционирования системы, обеспечивающей достижение цели. Теперь можно четко представить границы между вновь созданной системой и средой (рис. 11).

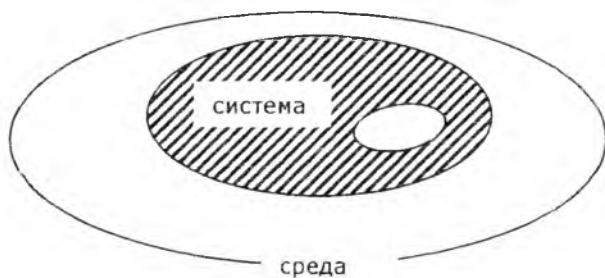


Рис. 11. Схематическое представление системы и среды

Среда представляет собой совокупность всех систем, кроме той, которая образуется под данную цель. Из системы исключаются не только пространственные, внешние по отношению к ней элементы, но и те элементы, которые вещественно входят в состав элементов данной системы, но функционально исключены из нее, так как обеспечивают достижение целей других систем. Ни одна система не является абсолютно замкнутой. Взаимодействие системы со средой представляется внешними информационными и ресурсными связями на входе и выходе. На входе система получает что-то из среды, на выходе среда получает что-то из системы (рис. 12).

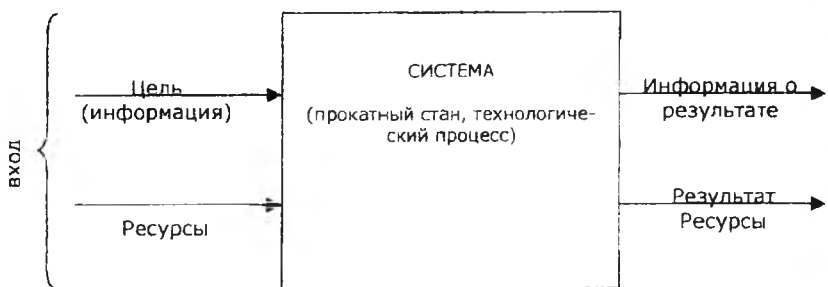


Рис. 12. Входы и выходы системы

Для процессов обработки металлов давлением внешними информационными связями на входе являются входные переменные изменяющиеся непрерывно и дискретно. К ним можно отнести управляемые параметры, такие как скорость деформации, размер деформирующего инструмента, тип оборудования и т.п.

Внешними связями на выходе из системы являются выходные величины, которые содержат сведения о количественных и качественных характеристиках изготавливаемого изделия, также как точность, механические свойства и т.п. Значения входных и выходных переменных заключены в определенном интервале, задаваемом технологическим регламентом процесса или техническим обеспечением.

Кроме управляемых параметров на входе имеют место контролируемые, но неуправляемые параметры, целесообразное изменение которых невозможно в данном процессе (например, качество исходной заготовки, изменяющееся от партии к партии), и неконтролируемые параметры, возмущаемые воздействия которых носят случайный характер и не поддаются определению. Совокупность контролируемых неуправляемых и неконтролируемых параметров часто называется *помехой*.

Для реализации системы также нужен определенный материал, средства и энергия. Вещество и энергия необходимы для воплощения цели в конечный продукт.



*Информационный вход* системы – это информационная цель, а *ресурсный вход* – это материалы, энергия, необходимые для ее реализации. *Ресурсный выход* системы – это результат ее деятельности, а *информационный выход* – информация о степени этого соответствия.

После представления объекта в виде системы дальнейшим шагом является ее анализ. Полное и правильное представление о системе можно получить, проводя анализ в 3-х аспектах: предметном, функциональном и историческом, рис. 13.

**Целью предметного анализа** являются ответы на следующие вопросы:

1. Из чего состоит наша система? (Элементный анализ).
2. Как связаны между собой элементы системы? (Структурный анализ).
3. Из чего состоит надсистема, в которую входит наша система?
4. Как в надсистеме наша система связана с другими?

**Целью функционального анализа** являются ответы на следующие вопросы:

1. Как работает данный элемент системы? (Для внутреннего функционирования).
2. Как работает наша система в данной надсистеме? (Для внешнего функционирования).

**Историческое исследование** предполагает проведение генетического анализа, при котором прослеживается история развития системы (ее возникновение, становление, эволюция, разрушение и преобразование), определение текущей стадии жизненного цикла системы и проведение прогностического анализа, намечающего пути ее дальнейшего развития.

Внешний элементный и функциональный анализ позволяет определить полезные входы и выходы исследуемой ТС. На этапах внутреннего, предметного и функционального анализа выявляются

многие побочные входы и выходы и происходит более четкое разделение их на полезные, бесполезные и вредные.

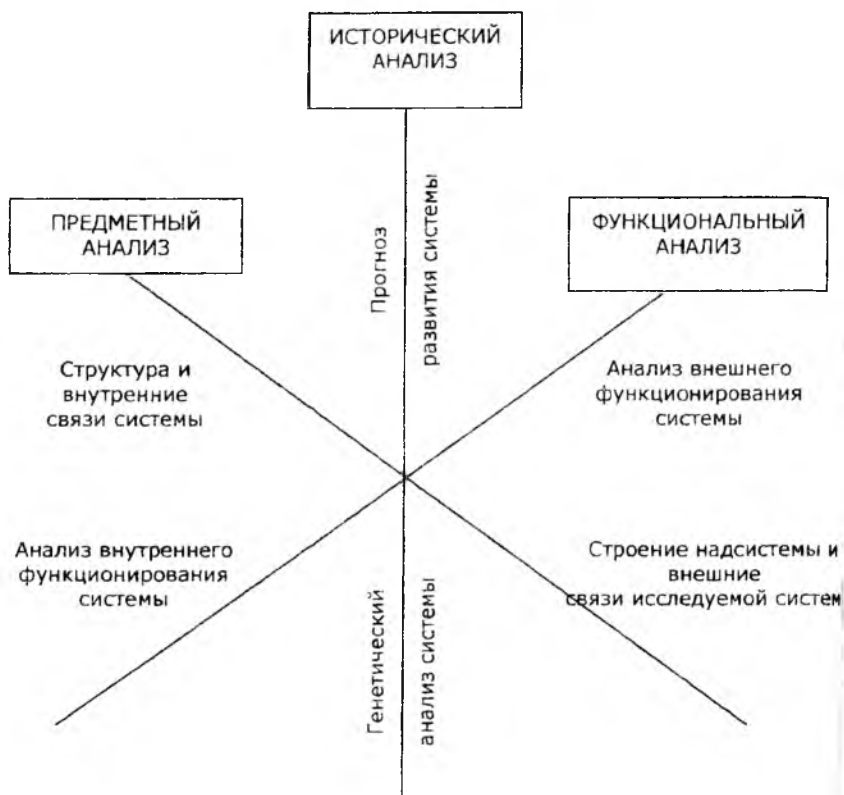


Рис. 13. Анализ системы

Примеры вредных выходов: выхлопные газы автомобиля, шум турбореактивного двигателя.

Из бесконечного набора свойств, которые характеризуют каждый элемент системы, в рассматриваемой системе существенными являются лишь некоторые из них. Все остальные свойства элемента

либо остаются скрытыми, резервными, либо пополняют список бесполезных и вредных функций. Это очень важный факт, во многом определяющий развитие системы. Умение выявить и использовать эти свойства – одно из необходимых условий творческого поиска.

## 2.2. Типы систем

Существует большое количество классификаций систем. Их можно разделить по двум типам: предметный и категориальный [5,8]. К предметному типу систем относят основные виды конкретных систем, существующих в природе и обществе (технические, экономические, социальные, биологические и т.п.). Таких названий можно дать бесчисленное множество. Категориальный тип позволяет классифицировать системы по общим характеристикам, присущим любым системам, независимо от их материального выражения: простые или сложные системы; детерминированные и стохастические (вероятностные) системы; статистические и динамические системы; моно- и полисистемы.

Количественно все компоненты систем могут быть охарактеризованы как «моно» (одно свойство, одно отношение, один элемент) и «поли» (много свойств, отношений, элементов) компоненты. По составу компоненты систем оцениваются как статические (находящиеся в состоянии относительного покоя) и динамические (изменяющиеся). В свою очередь, компоненты, охарактеризованные как динамические, делятся на функционирующие (изменение не ведет к смене качества) и развивающиеся (изменение приводит к смене качества). Примером динамической функционирующей системы является работа гидравлического пресса, производящего одну и ту же продукцию, динамической развивающейся системы – работа металлургического завода, осваивающего выпуск новых изделий; студент, приобретающий квалификацию инженера.

Структурно (по характеру отношений с другими явлениями) компоненты систем оцениваются, во-первых, как детерминированные и стохастические и, во-вторых, как простые и сложные. Система

является детерминированной, если ее поведение обусловлено конечным множеством элементов, входящих в нее, и отношений между ними. Поведение параметров детерминированной системы полностью объяснимо и предсказуемо в любых заданных условиях. Система является стохастической, если ее поведение обусловлено объектами, не входящими в конечное множество составляющих данной системы, а значения параметров являются неопределенными.

В настоящее время нет однозначного определения сложной системы. Определяя ее, выбирают признак, по которому можно отличить сложную систему от простой. В качестве формальных признаков при определении сложной системы выделяют число взаимосвязанных элементов, отсутствие формальной математической модели, способ описания системы.

Пивоваров Г.Н. в зависимости от числа элементов выделяет четыре класса систем: малые ( $10 \dots 10^3$ ), сложные ( $10^4 \dots 10^7$ ), ультра сложные ( $10^7 \dots 10^{30}$ ), суперсистемы ( $10^{10} \dots 10^{200}$ ).

Академик А.И. Берг определяет сложную систему как систему, которую можно описать не менее, чем на двух математических языках, например, теория дифференциальных уравнений и алгебра Буля.

С точки зрения технических решений, под сложной мы будем понимать систему:

- построенную для решения многоцелевой задачи;
- для описания которой используется несколько математических языков;
- включающую взаимосвязанный комплекс разнородных моделей;
- отражающую разные несравнимые объекты, характеристики объекта.

Например, металлургическое предприятие следует рассматривать как сложную систему, представляющую собой некоторую организованную совокупность рабочих мест, оборудования, агрегатов, способных перерабатывать заготовки в продукцию. При этом весь процесс производства по характеру прохождения продукции чере

отдельные рабочие места, агрегаты можно расчленить на отдельные операции – *производственные процессы*. С общей точки зрения, в каждом производственном процессе происходит соединение различного рода ресурсов (труда, оборудования, оснастки, заготовок, материалов, энергии, конструкторско-технологической информации и т.п.) для получения тех или иных изделий.

По происхождению системы делятся на естественные (возникающие и существующие независимо от человека и его воли, например, «солнечная система») и искусственные (созданные человеком для прямого или косвенного удовлетворения какой-либо своей потребности, например, пианино, часы, фломастер) системы.

По типу элементов системы могут быть абстрактными, например, теории упругости, пластичности, и материальными, существующие в природе и обществе: физические, химические, технические, биологические и т.п.

По виду элементов системы делятся на системы типа «предмет» (устройства, машины, агрегаты, роботы и т.п.) и системы типа «процесс» (способы, технологии и т.п.).

Поскольку вся техника относится к искусственным системам, то в дальнейшем будем рассматривать только технические системы.

Технические системы – это искусственно созданное материальное единство взаимосвязанных элементов, имеющее целью своего функционирования удовлетворение некоторой потребности общества или окружающих технических систем.

Все указанные выше системы могут переходить из одного типа в другой, поэтому отнесение той или иной системы к определенному виду является в значительной мере условным.

### **2.3. Структурный анализ**

Структурный анализ производят тогда, когда необходимо выяснить, как система устроена, из каких частей состоит, как эти части связаны между собой. Структурный анализ осуществляется в два этапа:

- определение элементарного состава систем, т.е. полного перечня элементов;

- выяснение структуры системы и характера связей. Обычно выделяют информационные, энергетические и вещественные связи.

Знать структуру системы – это знать закон, по которому порождаются элементы системы и отношения между ними. Структура может быть формальной (логической) и материальной.

*Формальная структура* системы – это совокупность функциональных элементов и их отношений, необходимых и достаточных для достижения системой заданных целей.

*Материальная структура* системы – это реальное исполнение формальной структуры.

В качестве поясняющего примера рассмотрим систему, целью (функцией) которой является деформирование (любой технологический процесс обработки металлов давлением). Формальная структура технологического процесса обработки металлов давлением есть совокупность отношений между функциональными элементами – оборудованием, инструментом, заготовкой и изделием. Необходимыми и достаточными отношениями между перечисленными элементами являются однозначная связь оборудования с инструментом, заготовки и изделия с инструментом (рис. 14). Наличие данной формальной структуры присуще любому технологическому процессу обработки металлов давлением: прессованию или волочению, прокатке, горячей или холодной штамповке.



Рис. 14. Формальная структура процессов обработки металлов давлением

Материальная структура, реализующая формальную структуру технологического процесса обработки металлов давлением, определяется конкретным процессом. Например, при прокатке в качестве оборудования может быть взят стан, в качестве деформирующего инструмента – валки, заготовки – слэб, а изделия – лист.

Из приведенного примера следует, что:

- фиксированной цели соответствует одна и только одна формальная структура системы;
- одной формальной структуре может соответствовать множество различных материальных структур.

Учитывая характер связей между элементом данной системы с другими элементами этой же системы и внешней средой, можно выделить следующие виды связей: направленные и ненаправленные (рис. 15, а); односторонние и двухсторонние (рис.15, б); равноправные и неравноправные (рис. 15, в); внутренние и внешние (рис. 15, г); входные и выходные (рис. 15, д).

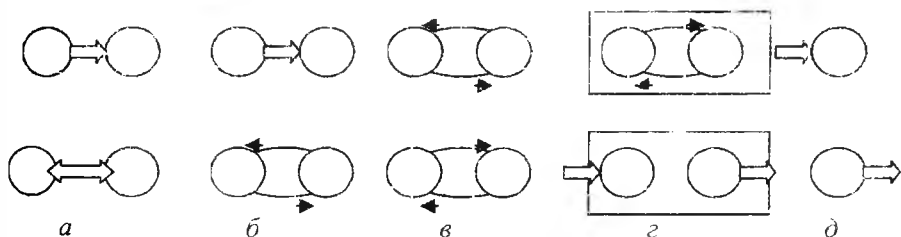


Рис. 15. Виды связей

Каждая из этих связей может быть постоянной или переменной, непрерывной или дискретной.

Существование большого разнообразия структур заставляет классифицировать их по видам: а) последовательная (рис. 16, а); б) кольцевая (рис. 16, б); в) древовидная (рис. 16, в); г) радиальная (рис. 16, г); д) полный граф (рис. 16, д).

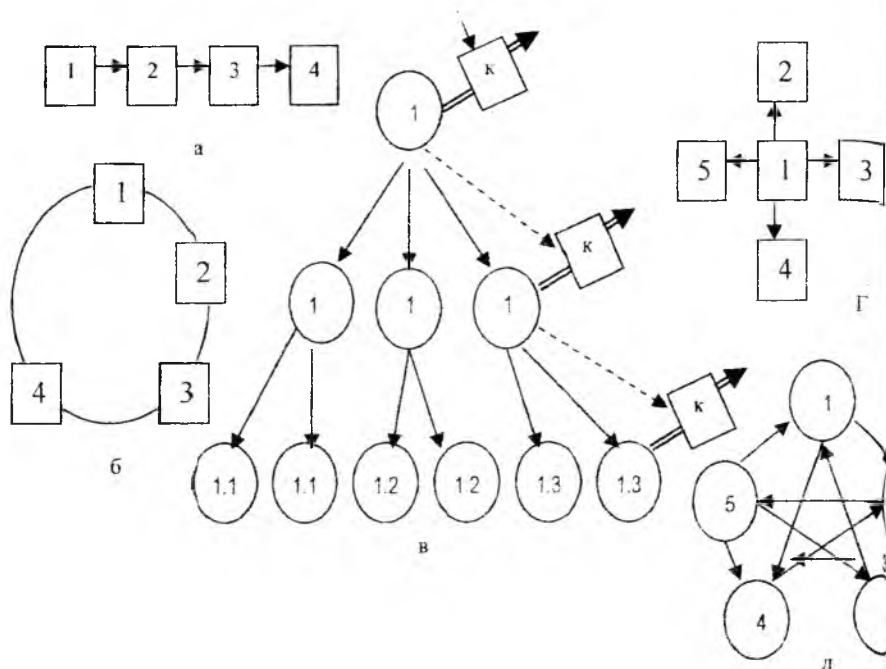


Рис. 16. Основные виды структур: → внутренние связи;  
⇒ внешние связи со средой; ----→ контролирующие связи

Новые структуры, как правило, порождаются последовательным использованием основных видов. В практике широкое распространение получили древовидные структуры, которые можно подразделить на два класса: идеальные иерархические структуры и неидеальные иерархические структуры. Учитывая особую важность таких структур, остановимся на них более подробно.

Идеальная иерархическая структура характеризуется следующими признаками:

*многоуровневость* (рис. 17);

*субординация внутренних связей*: элементы данного уровня связаны только с элементами ближайшего верхнего и ближайшего нижнего уровней;



*ветвистость*: элемент данного уровня связан только с одним элементом верхнего уровня и с несколькими элементами нижнего уровня;

*пирамидальность*: на самом верхнем уровне имеется только один элемент;

*субординация внешних связей*: элементы каждого уровня могут быть связаны с внешней средой, однако эти связи контролируются элементами ближайшего верхнего уровня. Внешняя связь верхнего элемента контролируется только вне системы.

Пример трехуровневой идеальной иерархической системы дан на рис.16, в: кружками изображены элементы структуры, стрелками – внутренние связи, двойными стрелками – внешние связи со средой, пунктирной стрелкой – контролирующая связь.



Рис. 17. Иерархия многоуровневой системы

В реальных системах встречаются различные отступления от идеальной иерархической структуры. Перечислим типы этих нарушений:

- элемент данного уровня связан только с одним элементом нижнего уровня (иерархия с синекурой);
- элемент данного уровня связан более чем с одним элементом верхнего уровня (иерархия с расщеплением);
- элемент данного уровня связан с элементом высших уровней, минуя ближайший верхний уровень (дислокация в иерархии);
- на самом верхнем уровне имеется несколько элементов (незавершенность иерархии);
- элемент данного уровня связан непосредственно с элементами разных нижних уровней (неоднородность иерархии);
- элементы одного уровня связаны между собой (внутриуровневая зависимость);
- связи элементов данного уровня с внешней средой контролируются верхним уровнем или элементами других уровней (нарушение субординации внешних связей).

Идеальных иерархий в природе не существует. Однако есть интуитивные основания полагать, что чем ближе структура к идеальной иерархической, тем эффективнее будет работать система.

#### **2.4. Метод «дерева» целей**

В системном анализе для структуризации вновь создаваемых или совершенствования существующих систем (устройств, агрегатов, процессов и т.п.) используют «дерево» целей, представляющее собой определенным образом иерархически упорядоченную совокупность целей и подцелей. Каждая вершина «дерева» представляет собой цель для всех исходящих из нее ветвей. Любая цель имеет конкретное содержание и осуществляется определенными средствами в соответствии с достигнутыми на всех исходящих ветвях целями. Эти цели, в свою очередь, являются подцелями для вышестоящей цели. Если на одном уровне иерархии достигнуты все цели, то цель будет

достигнута и на следующем, более высоком уровне. Таким образом, «дерево» целей выступает в качестве инструмента увязки целей высшего уровня с конкретными средствами их достижения на низшем уровне через ряд промежуточных звеньев и представляет собой каркас, организующий разнородную содержательную информацию. Для построения «дерева» целей инженеру необходимо изучить закономерности поставленной проблемы.

Для каждой конкретной проблемы «дерево» целей строится путем метода декомпозиции, последовательного выделения все более мелких компонентов на понижающихся уровнях. При этом необходимо соблюдать следующие требования:

- из каждой вершины «дерева» должно исходить не менее двух ветвей;
- число ветвей, исходящих из каждой вершины, не обязательно должно быть одинаковым;
- ветви, исходящие из вершины, должны быть взаимно исключаящими, т.е. должны обладать свойством альтернативности;
- исходящие из одной вершины ветви должны удовлетворять условиям полноты и непротиворечивости. Непротиворечивость означает, что достижение одной из пары целей предполагает достижение другой и наоборот;
- «дерево» целей не должно иметь изолированных вершин, т.е. должны отсутствовать цели, не связанные с другими целями исследуемой проблемы;
- описание каждой цели «дерева» должно достаточно точно раскрывать его содержание и устанавливать степень ее достижения.

Кроме описательного «дерева» целей, показывающего состав элементов системы и их иерархическую соподчиненность, строятся также и «деревья» целей, показывающие альтернативные решения поставленной задачи. Начиная с некоторого уровня, такое «дерево» показывает возможные альтернативные решения. Каждая подцель имеет несколько альтернативных решений – инженеру приходится выбирать одну из возможных альтернатив.

При построении «дерева» целей для сложных систем каждая цель кодируется. Код цели указывает на ее связь с целями более высокого уровня. Кодирование вершин должно обеспечить однозначное построение и расчленение «дерева», не нарушая общего принципа кодирования. Система кодирования целей может быть буквенная, цифровая и буквенно-цифровая. Один из вариантов кодирования представлен на рис. 18.

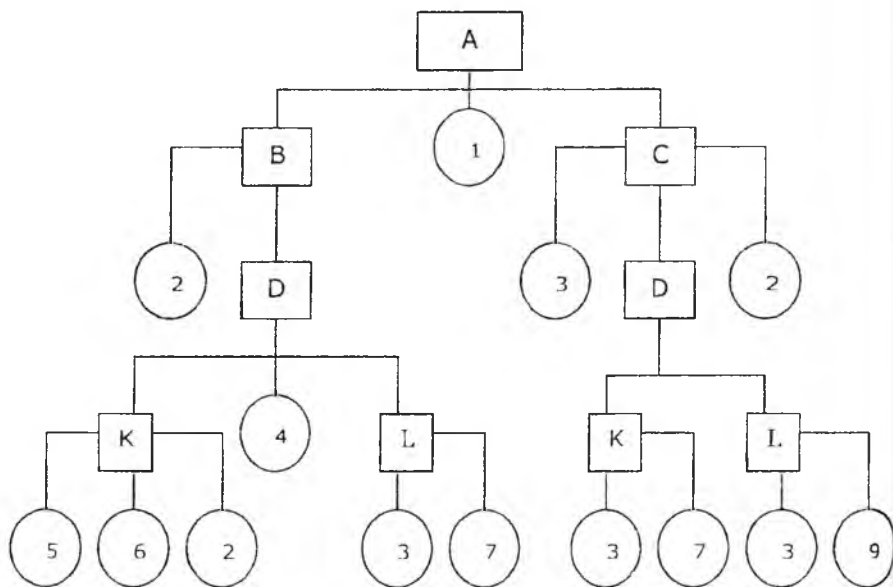


Рис. 18. Иерархическая структура материальных потоков сборки изделия А

«Дерево» целей может являться основой синтеза системы. В качестве примера рассмотрим решение задачи синтеза системы «деформирующийся инструмент», целью которой ( $A_0$ ) является дефор-

мация металла при холодной прокатке тонкой стальной ленты. Признак декомпозиции сформулируем в виде вопроса: какие условия необходимы для реализации поставленной цели? Итогом декомпозиции на первом шаге является следующий состав (подцелей):  $A_1$  – создание больших давлений, превышающих предел текучести прокатываемого металла;  $A_2$  – сохранение образующих рабочей поверхности - валков;  $A_3$  – способность валков воспринимать большой крутящий момент.

Проверяем полученные подцели на элементарность. Выясняется, что для реализации подцели  $A_1$  необходимо иметь рабочие валки малого диаметра. Если такие валки имеются, то данная подцель является элементарной. Подцели  $A_2$  и  $A_3$  также оказываются элементарными. Для реализации подцелей  $A_2$  и  $A_3$  возможно несколько альтернативных решений: иметь либо валки большого диаметра, либо каскад рабочих и опорных валков.

Переходим к этапу синтеза вида инструмента. Поскольку предложено наличие ресурсов, необходимых для реализации всех вышеперечисленных подцелей одновременно, то получаем одну из возможных конструктивных схем инструмента, например, предложенного Сендзимиром (рис. 19).

Рабочие валки имеют диаметр, несколько больший 40 мм, что позволяет создать большое давление, превышающее предел пластичности материала. Таким тонким валкам невозможно передать крутящий момент от привода в несколько сотен киловатт; для этого используется фрикционный комплекс, составленный из валков 0 и валков 1 и 2. Критерий малых допускаемых отклонений толщины ленты требует большой жесткости комплекса ввиду необходимости сохранения прямолинейности рабочих валков. Это обеспечивается комплексом валков 1, 2, 3, а также подпрных колес 4.

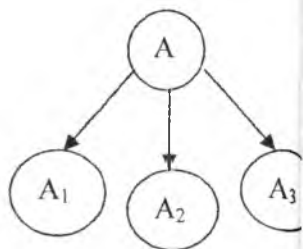
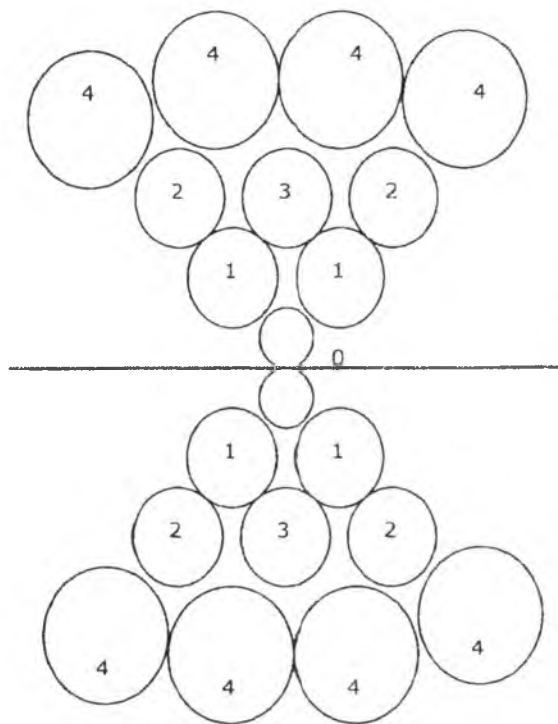


Рис. 19. Конструктивный вид валков прокатного стана Сендзимира:  
 0 – рабочие валки; 1 – опорные валки; 2 – приводные валки;  
 3 – опорные валки; 4 – опорные колеса

### 2.5. Этапы системного проектирования

Основные этапы системного проектирования (рис. 20) позволяют выявить цели, построить пути их достижения и дать комплексную оценку получаемых решений.

По словам К. Маркса, «самый плохой архитектор от наилучшей пчелы с самого начала отличается тем, что прежде чем построить ячейку из воска, он уже построил ее в своей голове». Расхождение между желаемым и действительным и будет составлять проблему. В

таким понимании – это абстрактная категория из области познания, выражающая понимание людьми мотивов своей деятельности.

Чтобы решать проблему, инженеры создают системы. В самом общем понимании система как совокупность всех необходимых знаний и сведений, материальных средств и способов их использования, методов организации деятельности людей есть способ решения проблемы. Чтобы правильно спроектировать систему, необходимо уяснить ее цель. *Цель* может определяться заданием или вытекать из характера работы. Если мы имеем крупную проблему, например, создание автоматизированного прокатного стана, то и система будет сложной и крупной. Для нее можно определить цель лишь в общих терминах.

Между тем работа по созданию системы осуществляется конкретными людьми, отделами,

организациями, поэтому необходимо общую цель разукрупнить (декомпозиция цели) до конкретных исполнителей.

*Альтернативы* – это пути достижения целей. При этом должны рассматриваться всевозможные альтернативы, например, для перемещения груза в цехе могут быть использованы следующие альтернативы: железная дорога, автомобиль, кран, электрокара, транспортер и т.д.

При реализации любой альтернативы могут быть использованы различные средства. Они различаются по затратам, стоимости, доступности, дефицитности и т.п. Необходим единый метод для отбора различных средств. Он обеспечивается набором критериев.

Для описания зависимости между альтернативами и критериями строят модели физические, математические, смешанные, имитационные. При анализе модели рассматривается различное множество вариантов решения проблемы. В ряде случаев эти варианты трудно-сравнимы, так как включают явления различной природы: материальные, социальные, политические, моральные, психологические и т.п.

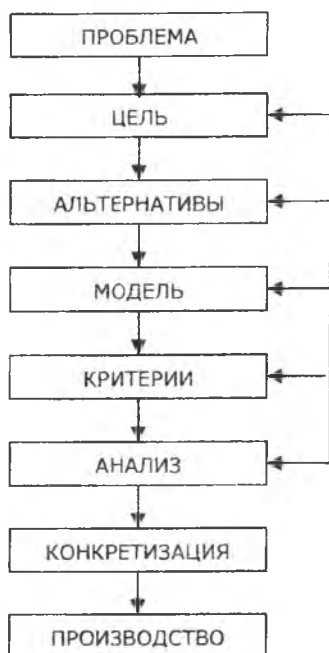


Рис. 20. Последовательность этапов системного проектирования

После выбора оптимального варианта делается полная конкретизация решения со всеми его характеристиками и система запускается в производство.

## 2.6. Методы формирования обобщенных критериев

Чем сложнее система, тем больше критериев, так как в этом случае эффективность не может быть охарактеризована с помощью одного единственного критерия. На помощь приходится привлекать другие, дополнительные. Такие системы называются *многокритериальными*. Например, организуется работа кузнечно-штамповочного цеха. Исходя из какого критерия надо выбрать решение? С одной стороны, хочется обратить в максимум валовой объем продукции. Желательно также получить максимально чистый доход, минимальную себестоимость, максимальную производительность труда и т.п.



Можно ли найти решение, одновременно удовлетворяющее всем требованиям? Нет! Поэтому формулировка: достигнуть максимум эффекта при минимальных затратах – представляет собой не более, чем фразу, и при научном анализе должна быть отброшена. Как же быть?

Рассмотрим систему с двумя критериями  $q_1$  и  $q_2$ . Каждой альтернативе на графике (рис.21) соответствуют определенные показатели  $q_1$  и  $q_2$ , которые, например, надо максимизировать. Эффективные решения – только решения  $x_2, x_5, x_{10}, x_{11}$ , лежащие в правой верхней границе. Для всякого другого решения существует хотя бы одно доминирующее, для которого либо  $q_1$ , либо  $q_2$ , либо оба больше, чем для данного. И только на границе доминирующих не существует. Когда из множества альтернатив выделены эффективные, то дальнейший выбор строится на множестве эффективных. Из них решение  $x_{11}$  – лучшее по критерию  $q_1$ , решение  $x_2$  – по критерию  $q_2$ . Дело инженера, принимающего решение, его прерогатива – выбрать тот вариант, который для него предпочтителен и приемлем по обоим критериям.

Сформулируем критерии, которые должны быть использованы при постановке задач проектирования и совершенствования процессов обработки металлов давлением. К числу таких критериев необходимо, прежде всего, отнести показатели качества изделий, приведенные в таблице, а также параметры технологического процесса и оборудования, определяющие качество изделий и эффективность металлургического производства.

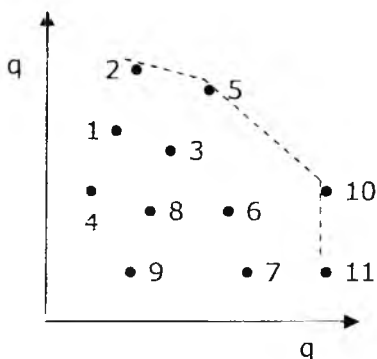


Рис. 21. Система с двумя критериями  $q_1$  и  $q_2$

Таблица 1. Показатели качества изделий

Группа	Показатели
Геометрические характеристики изделий	Точность размеров, допуски на размеры. Выполнение формы изделия.
Механические характеристики материала изделий	$\sigma_b$ , $\sigma_t$ , $\delta$ , $\psi$ , $\alpha_k$ , твердость Изменение механических свойств по длине и по сечению.
Качество поверхности	Шероховатость, наличие дефектов.
Структура металла	Текстура деформации, величина зерна, однородность структуры.
Эксплуатационные характеристики	Коррозионная стойкость, усталостная прочность, краскостойкость.

Указать универсальный критерий эффективности для процессов ОМД в силу их многоцелевого характера, естественно, невозможно, хотя попытки такого рода предпринимаются довольно часто.

Формирование обобщенных критериев для анализа и синтеза, перестав быть только «искусством», основанным на инженерной интуиции, превратились в серьезное научное направление. Путь к единому критерию часто лежит через обобщение.

Пусть имеется множество альтернатив (вариантов построения системы), причем каждая альтернатива  $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ .

Имеется совокупность критериев  $\bar{q} = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ , отражающих количественно множество свойств системы, т.е. каждая альтернатива характеризуется вектором:

$$\begin{array}{ccccccccc} \rightarrow & & \rightarrow & & \rightarrow & & \rightarrow & & \rightarrow \\ q(\alpha) = [q_1(\alpha), q_2(\alpha), \dots, q_2(\alpha), \dots, q_n(\alpha)]. \end{array}$$

Необходимо принять решение о выборе одной из альтернатив. Решение простое – если произвести выбор по одному критерию, сложное – если выбранная альтернатива не является лучшей по ка-

кому-либо одному критерию, но может оказаться приемлемой для всей их совокупности. Задача принятия решения по выбору альтернативы на множестве критериев формально сводится к отысканию отображения, которое каждому вектору ставит в соответствие действительное число.

$$E = \varphi(\bar{q}) = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n).$$

Оператор  $\varphi$  называется *интегральным* (обобщенным) *критерием*. Оператор присваивает каждому решению по выбору альтернативы соответствующее значение эффективности  $E$ . Это позволяет упорядочить множество решений по степени предпочтительности.

Наиболее простой и часто применяемый метод заключается в том, что один из наиболее важных, с точки зрения цели системы, критериев  $q_k$  принимается в качестве обобщенного, а все остальные учитываются в виде ограничений, определяющих область допустимых альтернатив:

$$\begin{aligned} E = q_k, \quad q_i &\geq q_i^{(0)}, \quad i = 1, 2, \dots, l; \\ q_i &\leq q_i^{(0)}, \quad i = l+1, l+2, \dots, n; \quad i \neq k, \end{aligned}$$

где  $q^0 = (q_1^{(0)}, q_2^{(0)}, \dots, q_n^{(0)})$  – вектор, определяющий допустимые значения по всем критериям. Например, нужен сплав, имеющий наибольший уровень жаропрочности и обладающий пластичностью, свариваемостью, коррозионной стойкостью и т.п. не выше заданной. В качестве обобщенного критерия взята жаропрочность, а остальные критерии взяты в виде ограничений. Основным недостатком метода является то, что альтернативы оцениваются только по одному критерию, а значения других критериев, если они не удовлетворяют ограничениям, не учитываются.

В ряде случаев обобщенный показатель эффективности записывают, используя аддитивные и мультипликативные преобразования над выбранной системой частных критериев  $q_i$ . Тогда

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n b_i q_i,$$

где  $b_1, \dots, b_n$  - положительные или отрицательные коэффициенты, причем, положительные ставятся при тех критериях, которые желательно максимизировать, а отрицательные – при тех, которые желательно минимизировать, при условии, что ищется  $E \max$ . Пусть, например, цель состоит в максимизации объема кузнечно-штамповочного цеха  $q_1$  и минимизации объема брака  $q_2$ . Тогда показатель эффективности примет вид:

$$E = b_1 q_1 - b_2 q_2$$

Поскольку с ростом  $q_1$  возрастает и  $q_2$ , то в выражении обобщенного критерия  $E$  нужно взять  $b_1$  со знаком плюс, а  $b_2$  – со знаком минус, так как объем производства в соответствии с целью оптимизации следует увеличить, а объем брака желательно уменьшить. Выбор «весов» коэффициентов осуществляет инженер на основе анализа степени важности частных критериев  $q_i$ .

В случае использования мультипликативного преобразования обобщенный критерий формируется следующим образом:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \prod_{i=1}^n q_i^{\lambda_i},$$

где  $q_i^{\lambda_i}$  – некоторые вещественные числа.

Обобщенный критерий может оцениваться расстоянием между идеальной и рассматриваемой альтернативами. Чем ближе качество рассматриваемой альтернативы к идеальной, тем она лучше. Пусть

→

$q = (q_1^0, q_2^0, \dots, q_n)$  – идеальная альтернатива, тогда обобщенный критерий может быть записан в виде суммы отклонений от идеальной альтернативы для частных критериев одной размерности:

$$E = Y(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^l (q_i^0 - q_i) + \sum_{i=l+1}^n (q_i - q_i^0),$$

где  $q_i, i = 1, 2, \dots, l$  – частные критерии, подлежащие максимизации,  $q_i, i = l+1, l+2, \dots, n$  – частные критерии, подлежащие минимизации.

В этом случае значение  $b_i$  отражает полезность критерия  $q_i$  при принятии сложного решения о выборе альтернативы. Значения определяются в результате опроса группы экспертов. Каждый  $j$ -й эксперт вначале определяет набор чисел  $C_{ij}$ , отражающих его мнение об относительной ценности критерия, причем числа записаны в произвольном масштабе. Затем они масштабируются. В результате:

$$b_{ij} = C_{ij} / \sum_{i=1}^n C_{ij}, \quad \sum_{i=1}^n b_{ij} = 1.$$

Окончательные значения коэффициентов  $b_i$  получаются в результате осреднения значений  $b_{ij}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ), полученных от всех экспертов. Если компетентность экспертов в группе считается одинаковой, то

$$b_i = 1 / m \sum_{j=1}^m b_{ij}.$$

Каждый критерий имеет свой физический смысл и свою размерность. Чтобы объединить различные критерии, приходится вводить для каждого из них некоторую безразмерную шкалу. Шкала должна быть однотипной для всех объединяемых критериев – это делает их сравнимыми. Одна из простейших шкал содержит два значения: «0» - неудовлетворительное качество, «1» - удовлетворительное качество. Рассуждая таким образом, для построения обобщенного критерия удобно воспользоваться формулой:

$$E = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n q_i},$$

где  $\prod_{i=1}^n$  – произведение частных критериев  $q_1, q_2, \dots, q_n$ .

Одним из наиболее удобных способов построения шкалы является обобщенная функция желательности Харрингтона. В основе построения этой обобщенной функции лежит идея преобразования

натуральных значений частных критериев в безразмерную шкалу желательности:

Желательность	Очень хорошо	Хорошо	Удовлетворительно	Плохо	Очень плохо
Отметки на шкале желательности	1,00 ... 0,80	0,80 ... 0,63	0,63 ... 0,37	0,37 ... 0,20	0,20 ... 0,00

Значение частного критерия, переведенное в безразмерную шкалу желательности, обозначается через  $d_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Шкала желательности имеет интервал от нуля до единицы. Значение  $d_i = 0$  соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного критерия, а значение  $d_i = 1$  – самому лучшему значению критерия. Понятию «очень хорошо» соответствуют значения на шкале желательности  $1,0 > d_i > 0,8$ , а понятию «очень плохо»  $0,0 < d_i < 0,2$ . Значение  $d_i = 0,37$  обычно соответствует границе допустимых значений.

На рис. 22 представлены кривые функции желательности для критериев, ограниченных с одной стороны и с двух сторон.

На оси ординат нанесены значения желательности, изменяющиеся от 0,0 до 1,0. На оси абсцисс указаны значения критерия, записанные в условном кодированном масштабе. К числу критериев, ограниченных с одной стороны, относят, например, характеристики деформируемого металла: сопротивление деформации  $\sigma_s$ , коэффициент запаса  $K_z$ , ударная вязкость и т.п. Примерами двустороннего ограничения могут быть погонный вес изделия  $G$ , температурный интервал деформирования, размеры заготовки и т.п.

После того, как выбрана шкала желательности и частные критерии  $q_i$  преобразованы в частные функции желательности  $d_i$ , находят обобщенную функцию желательности:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i},$$

которую можно рассматривать в качестве обобщенного критерия.

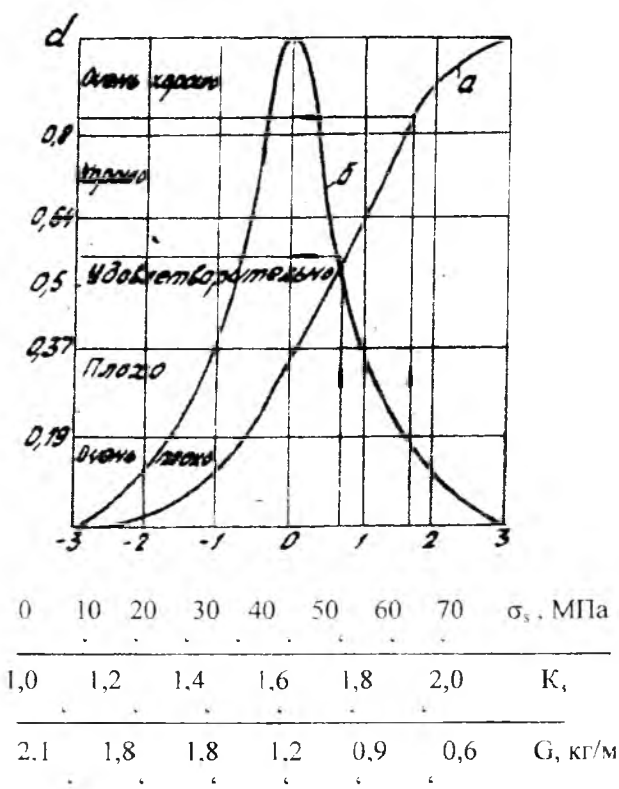


Рис. 22. Функция желательности для критерия, ограниченного с одной стороны (а), и критерия, ограниченного с двух сторон (б)

## 2.7. Методы экспертных оценок

Методы экспертных оценок – это логические приемы и математические методы, применяемые при сборе, обобщении и анализе информации, полученной от специалистов. Они широко применяются при выборе наилучшего варианта технологического процесса, оценке качества металлопродукции.

При решении задач часто оказывается, что различные объекты, критерии, системы, альтернативы, факторы не поддаются непосредственному измерению. Расположение этих объектов в порядке возрастания (или убывания) какого-либо присущего им свойства (критерия) называется *ранжированием*. Ранжирование позволяет выбрать из исследуемой совокупности объектов наиболее существенный. Если объекты имеют различную природу и вследствие этого несоизмеримы, то в таких случаях установление относительной значимости с помощью экспертов облегчает выбор наиболее предпочтительного объекта. При ранжировании эксперт должен расположить объекты (критерии) в порядке, который представляется ему наиболее рациональным, и приписать каждому из них числа натурального ряда – *ранги*. При этом первый ранг получает наиболее предпочтительный критерий, а последний ранг – наименее предпочтительный. Следовательно, порядковая шкала, получаемая в результате ранжирования, должна удовлетворять условию равенства числа рангов числу ранжируемых объектов  $N$ . Для проведения ранжирования применяют анкеты опроса специалистов.

Когда ранжирование проводится несколькими специалистами  $m$ , тогда обычно для каждого объекта подсчитывают:

- $m$
1. Сумму рангов  $\sum_{i=1}^m x_{ij}$ , где  $x_{ij}$  - ранг  $i$ -го объекта, присвоенного  $j$ -специалистом:

Эксперты	Объекты					
	1	2	...	$i$	...	$n$
1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1i}$	...	$x_{1n}$
2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2i}$	...	$x_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
$J$	$x_{j1}$	$x_{j2}$	...	$x_{ji}$	...	$x_{jn}$
...	...	...	...	...	...	...
$m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mi}$	...	$x_{mn}$
$\sum_{j=1}^m$						
$\Delta_i$						
$\Delta_j$						



2. Отклонение суммы рангов от средней суммы рангов

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} - 1/n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}$$

3. Коэффициент координации Кендала

$$W = S / S_{\max} = 12 S / m^2 (n^3 - n),$$

где  $S$  – реальная сумма отклонений  $\Delta_i$ , т.е.  $S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2$ ,

$S_{\max}$  - максимально возможная сумма,  $S_{\max} = [m^2 (n^3 - n)] / 12$ .

Величина  $W$  изменяется от 0 до 1. При  $W = 0$  связь между ранжировками отсутствует, при  $W = 1$  – все эксперты дают одинаковые ранжировки.

Установлено, что при  $n > 7$  величина  $m(n-1)W$  подчиняется  $\chi^2$  распределению с

$f = n - 1$ , где  $f$  – число степеней свободы.

Степень согласованности мнений опрошенных специалистов устанавливается с помощью  $\chi^2$  – критерия, для чего находят расчетное значение  $\chi^2_{\text{расч}}$ :

$$\chi^2_{\text{расч}} = m(n-1)W \geq \chi^{\alpha, f}_{\text{табл.}}$$

Если неравенство выполняется, то имеет место согласие мнений специалистов.

Далее строят диаграмму рангов. По оси абсцисс откладывают объекты в порядке убывания суммы рангов, а по оси ординат – сумму рангов  $\Delta_i$ . Наивысший ранг (первый) присваивают объекту, получившему наименьшую сумму рангов, и наоборот, объекту, полу-

чившему наибольшую сумму рангов, присваивают самый низкий ранг.

Основные этапы подготовки экспертизы:

- четкое определение цели (если целей несколько, то берут цель более высокого уровня);
- составление списка объектов для ранжирования;
- формирование группы специалистов;
- проведение специалистами ранжирования объектов;
- оформление результатов опроса специалистов в виде матрицы рангов.

## **2.8. Вопросы для самоконтроля**

17. Дать определение системы.
18. Что такое функция системы?
19. Перечислите свойства систем.
20. Определение технической системы.
21. Определение структуры системы.
22. Классификация систем.
23. Что такое проблемная ситуация?
24. Дать схему образования и функционирования системы.
25. В каких направлениях проводится анализ систем?
26. Сущность метода дерева целей.
27. Цели предметного анализа систем.
28. Цели функционального анализа систем.
29. В чем состоит исторический анализ системы?
30. В каких случаях используют обобщенные критерии?
31. Перечислите методы формирования обобщенных критериев.
32. Что собой представляет обобщенная функция желательности?
33. Сущность метода экспертных оценок.
34. Что называется ранжированием?
35. Как проводят анализ диаграммы рангов?
36. Перечислите этапы подготовки экспертизы.

## 2.9. Задачи и упражнения

1. Представить в виде системы два – три объекта по выбору студента. Описать функцию системы, ее элементарный состав.

2. Построить формальную (логическую) структуру технологических процессов обработки металлов давлением. Привести примеры материальных структур, реально исполняющих формальную структуру. Указать виды связей между элементами системы.

3. Привести структуры следующих объектов:

- велосипед;
- система автоматического регулирования температуры в закалочной печи;
- система подготовки инженеров в техническом вузе.

4. Из одного и того же набора из трех – четырех элементов представить не менее двух различных систем.

5. Любая система представляет собой элемент системы более высокого порядка (надсистемы), а ее элементы, в свою очередь, обычно выступают в роли системы более низкого порядка (подсистемы). Исходя из этого принципа, заполнить таблицу.

Подсистема	Система	Надсистема
операция	технология	производство
	нервная система	
	привычка	
	факультет	
	дерево	
	штамп	
	пылесос	
	лопатка газотурбинного двигателя	
	мотор	

6. В таблице приведена группа технических объектов. Определите для каждого объекта функцию и функциональный элемент, обеспечивающий реализацию данной функции.

7.

Система	Функция	Функциональный элемент
фреза	фрезерование	острая кромка
штамп		
самолет		
пресс гидравлический		
пылесос		

8. Построить укрупненное иерархическое дерево целей металлургического завода.

9. Построить дерево целей для механической системы бытовые пружинные весы. Определить для каждой подцели множество альтернативных решений. Провести синтез системы.

10. Необходимо получить трубу определенного диаметра и с заданной толщиной стенки из алюминиевого сплава. В трубном цехе имеется разнообразное оборудование: гидравлические прессы, станы холодной прокатки труб, волочильные станы, правильные машины и печи для термообработки. Предложите различные альтернативные варианты технологических маршрутов получения такой трубы. Как выбрать оптимальный маршрут?

11. Ниже приведен перечень качеств, необходимых современному инженеру: компетентность ( $x_1$ ), умение принимать решения ( $x_2$ ), профессиональные знания ( $x_3$ ), изобретательность ( $x_4$ ), коммуникабельность ( $x_5$ ), добросовестность ( $x_6$ ), умение четко выражать свои мысли ( $x_7$ ), умение проводить инженерный анализ ( $x_8$ ), умение работать на компьютере ( $x_9$ ), обладать профессиональной этикой ( $x_{10}$ ), умение руководить ( $x_{11}$ ). Провести ранжирование качеств по степени их влияния на формирование современного инженера.

12. Используя метод экспертных оценок, выделить существенные объекты.

### Результаты анкетирования

Эксперт	Объект													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	3	5	6	9	12	10	11	14	7	13	8	2	1	4
2	2	9	8	14	12	11	6	7	5	10	3	13	1	4
3	1	2	6	14	13	4	11	9	7	12	3	5	8	10
4	2	8	7	10	12	4	14	11	6	13	3	5	1	9
5	1	6	8	11	10	3	14	9	4	13	2	7	5	12
6	1	2	4	14	13	3	12	7	5	11	8	6	9	10

13. При разработке нового полимерного материала оценивались следующие критерии:  $q_1$  – термостабильность, °С;  $q_2$  – морозостойкость, °С;  $q_3$  – предел прочности  $\sigma_b$ , кг/см;  $q_4$  – относительное удлинение  $\delta_b$ , %. Данные восьми опытов приведены в таблице:

#### Исходные данные

Номер опыта	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$
1	272	-25	215	249
2	187	-23	179	204
3	162	-24	216	220
4	461	-26	198	201
5	267	-21	208	218
6	250	-27	220	264
7	489	-25	201	149
8	380	-23	230	126

Используя обобщенную функцию желательности  $D$ , определить наилучшие опыты.

14. Требовалось получить чугун с пределом прочности  $q_1 > 25$ , жидкотекучестью  $q_2 > 750$ , горячеломкостью  $q_3 \leq 45$  и твердостью  $180 \leq q_4 \leq 250$ . Определить лучший сплав с помощью обобщенной функции желательности.

### Исходные данные

Номер сплава	Критерии			
	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$
1	14,4	455	55,5	295
2	35,0	160	63,0	310
3	29,4	450	52,5	295
4	12,0	900	35,0	235
5	30,0	540	33,5	277
6	23,6	840	15	212

15. Провести выбор эффективных технологических процессов по трем критериям

$E_1 \rightarrow \max$ ,  $E_2 \rightarrow \max$ ,  $E_3 \rightarrow \min$  (табл.) и выбрать наиболее предпочтительный из них.

### Параметры технологических процессов

Комплексные критерии	Обозначение	Варианты технологического процесса										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Технический уровень	$E_1$	2,0	1,1	1,2	1,9	1,5	1,8	1,6	2,2	1,8	1,5	1,0
Технический уровень тех. процесса	$E_2$	3,2	3,3	3,2	4,0	3,5	3,7	2,8	3,9	2,9	2,8	2,9
Загрязнения	$E_3$	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,5	0,5

### 3. ПРОТИВОРЕЧИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

#### 3.1. Сущность и виды противоречий

Создавая новые объекты техники (устройства, машины, приборы и т.п.) или совершенствуя известные, инженер практически всегда сталкивается с тем, что кроме положительного эффекта это приносит и нежелательный. Например, увеличение количества углерода в стали улучшает ее прочностные свойства и одновременно ухудшает способность противостоять ударным нагрузкам. Количество металла, снимаемого в единицу времени при обработке резанием, вступает в противоречие с точностью обработки. Чем выше производительность, тем ниже точность. Таким образом, противоречие – это раздвоение единого процесса (предмета) на две взаимно-отрицающие стороны.

Иногда нежелательный эффект является громадным и может сравниться с положительным, например, при строительстве гидроэлектростанций на равнинных реках. Иногда он еле заметен и может проявиться через значительное время. Его присутствие предопределено законами диалектики.

В соответствии с законом единства и борьбы противоположностей борьба этих эффектов является источником развития технических систем, а само развитие техники выглядит как процесс зарождения, обострения и разрешения противоречий в технических системах, рис. 23.

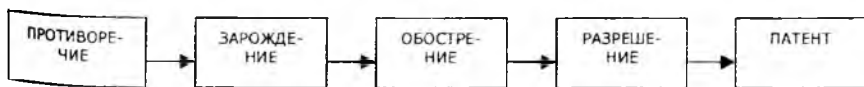


Рис. 23. Схема выявления и разрешения противоречий

В процессе выявления и разрешения противоречий путем увеличения положительного и уменьшения нежелательного эффектов инженерами создаются продукты интеллектуальной собственности: патенты, полезные модели, промышленные образцы, ноу-хау.

Противоречия, возникающие в системе «общество - техника», наиболее масштабны и заметны. Их называют социально-техническими противоречиями.

Технические системы призваны удовлетворять потребности общества. Однако часто бывает так, что потребность общества существует, а технической системы, удовлетворяющей эту потребность, нет. Примером этого могут служить многовековые мечты людей о покорении воздушного пространства.

Впервые предсказал возможность постройки летательных аппаратов Л. да Винчи (1475): «Я говорю, что, когда этот прибор, сделанный винтом, сделан хорошо... и быстро приводится во вращение... винт ввинчивается в воздух и поднимается вверх». Это была идея вертолѐта. Но Л. да Винчи не знал о реактивном моменте от вращения винта и не подозревал, что при таком устройстве, полѐт был бы невозможен, так как вращалась бы в основном гондола. М. В. Ломоносов в 1754 г. нашѐл способ разрешить это противоречие, создав модель «аэродинамической машины» - два горизонтально расположенных винта, вращаемых в разные стороны. В 1768 г. англичанин Пенктон выпустил книгу «Теория винта Архимеда», в которой он описал винтокрылый аппарат. Один винт для подъѐма, другой - для поступательного движения. В 1782 г. Парижская Академия наук дала заключение о невозможности полѐта аппаратов тяжелее воздуха. В 1784 г. французы Лонуа и Бьенвеню создали модель геликоптера и показали её полѐты академикам. Лопасты винтов были из птичьих перьев, два винта вращались соосно - один под другим. В 1873 г. братья Жозеф и Этьен Монгольфье подняли в воздух пер-



вый воздушный шар. В 1842 г. англичанин Филлипс построил модель первого реактивного геликоптера (винт – сегнетово кольцо); аппарат продержался в воздухе несколько минут. В 1871 г. француз А. Пено построил ряд лёгких остроумных моделей летательных аппаратов. Одна из них попала в руки двух американских мальчиков – братьев Орвилла и Вильбура Райтов. На построенном ими самолёте они совершили в 1903 г. первый в мире полёт длительностью 59 секунд. В 1870 г. А. Н. Лодыгин разработал «Электролёт». А. Ф. Можайский, контр-адмирал российского флота, в 1881 г. получил патент на изобретённый им самолёт, построенный в натуральную величину в 1883 г.

Как видно, первыми осознают потребность отдельные творческие личности и лишь постепенно потребность в новой ТС становится социальной потребностью. Противоречие между существующим уровнем техники и потребностями общества разрешается при изобретении первой минимальной работоспособной ТС. Но с возникновением ТС появляются и претензии к ней. Они заставляют развиваться систему дальше.

Другим проявлением социально-технических противоречий является опережающий рост потребностей общества по сравнению с возможностями техники. Существует значительное количество технических систем, которые из-за дороговизны, трудоёмкости изготовления не получили пока еще широкого распространения. Однако общество желало бы большего количества подобных технических систем. Примером могут являться малогабаритные надежные летательные аппараты, средства спутниковой связи и навигации, переносные компьютеры и т.д.

Очень часто случается так, что длительное время известная и используемая техническая система в какой-то момент времени перестает отвечать требованиям общества. Причины могут быть различными. Это и изменение требований и приоритетов общества, и рост

количества технических систем, приводящий к недопустимому увеличению влияния вредных выходов на окружающую среду и на жизнь людей. Примером может служить использование двигателей внутреннего сгорания. Данная система изобретена более 100 лет назад, но лишь в последние десятилетия, когда количество основных носителей данной технической системы - автомобилей - стало расти гигантскими темпами и большинство городов окутали выхлопные газы, европейское сообщество создало систему требований к производителям двигателей. Последовательно вводимые нормы Евро 1, 2, 3, 4 регламентируют количество вредных выбросов.

Технические противоречия возникают между различными частями системы, между свойствами и параметрами, которыми эта система обладает, при попытке их изменения. Технические противоречия - это внутренние противоречия. Если традиционными способами улучшать одну часть (параметр) системы, то ухудшается другая часть (параметр). Положительный и нежелательный эффекты в большинстве случаев неразрывно связаны между собой, рис. 24.

Существуют типовые технические противоречия, например, «прочность штампа» - «масса штампа», «производительность штампа» - «износ штампа», которые проявляются в большинстве технических систем и технологических процессов.

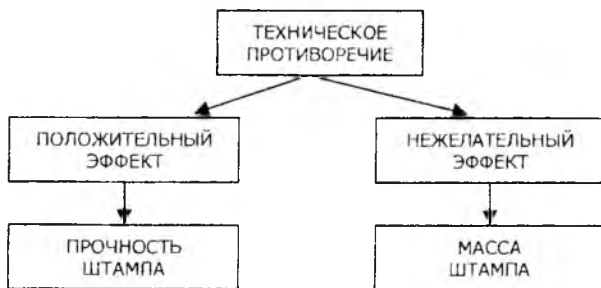


Рис. 24. Структура технического противоречия

Пока положительный эффект превышает нежелательный, техническое противоречие мало заметно. Когда же ухудшение начинает приближаться к границам допустимого, техническое противоречие обостряется. Оно может перерасти в социально-техническое противоречие, которое обостряется вместе с техническим. При разрешении технического противоречия одновременно разрешается и социально-техническое противоречие. Таким образом, новые технические решения, предполагающие качественное изменение исходной системы, связаны с разрешением обостренного технического противоречия.

Разрешить обостренное техническое противоречие - это значит перевести техническую систему в такое состояние, при котором нежелательный эффект перестает быть недопустимым. Поскольку «недопустимость» эффекта зависит от окружения системы, от критериев ее оценки, разрешить техническое противоречие можно как за счет изменения ее внутреннего функционирования при неизменных внешних связях, так и за счет изменения внешнего функционирования технической системы.

Начинать работу с противоречием нужно с его выявления на качественном уровне. Из определения технического противоречия следует, что для этого необходимо установить, как связаны между собой положительный и нежелательный эффекты через внутреннее функционирование системы. Другими словами, необходимо установить причинно-следственную связь между улучшаемой и ухудшаемой сторонами системы.

В соответствии с законами диалектики механизм разрешения противоречий заключается в диалектическом отрицании. Применительно к техническому противоречию отрицанию должен подвергнуться нежелательный эффект, а положительный должен остаться. Поскольку положительный и нежелательный эффекты соединены между собой причинно-следственной цепочкой, то отрицание нежелательного предполагает отрицание звеньев этой цепочки.

Если сопоставить друг с другом две цепочки - исходную и полученную после отрицания - и наметить возможные варианты перехода с одной на другую (от положительного эффекта к отрицанию нежелательного), то получим возможные направления разрешения технического противоречия.

В ряде случаев необходимо совмещение в одной и той же части системы двух противоположных состояний, явлений или веществ. Например, количество углерода в стали должно быть большим (для улучшения прочностных свойств) и должно быть маленьким (для противостояния ударным нагрузкам). Элемент должен проводить ток и быть диэлектриком, быть длинным и в то же время коротким, легким и тяжелым, подвижным и неподвижным, большим и маленьким. Стремясь убрать конфликтующие противоречивые отношения между внешними сторонами технических систем, получаем противоречие на уровне внутреннего функционирования системы. Это физическое противоречие.

С точки зрения традиционной логики, физическое противоречие - это тупик, ошибка, парадокс; с позиций диалектической логики, несовместимость - понятие относительное. При совмещении подобных требований необходимо использовать специальные принципы разрешения физического противоречия. В частности, в первую очередь, следует выяснить, действительно ли необходимо совмещать оба противоречивых состояния компонентов в одной и той же точке пространства в один и тот же момент времени. Так, возвращаясь к приведенному примеру, науглероженная твердая сталь нужна на поверхности детали, а внутренние слои могут оставаться малоуглеродистыми. Это противоречие разрешено с помощью цементации, повысившей прочность и ударную вязкость.

При разделении несовместимых свойств во времени система становится более динамичной. Примерами могут служить убирающиеся шасси и изменяющаяся стреловидность крыла самолета, изменяющиеся характеристики подвески и дорожный просвет легкового автомобиля и т.д.

Как правило, физическое противоречие однозначно связано с техническим. Каждому техническому противоречию соответствует физическое противоречие, и наоборот, рис. 25.

Путь к созданию качественно новых систем лежит через выявление физических противоречий, особенностей их проявления и нахождение способов их разрешения. В этом заключается одно из проявлений закона перехода количественных изменений в качественные.



Рис. 25. Алгоритм создания новых систем

### 3.2. Пути разрешения противоречий в процессе развития технических систем

После создания технической системы она начинает развиваться в соответствии с общественной потребностью. Развитие проявляется в увеличении наиболее важных параметров: скорости, производительности, точности; надежности. Это приводит к обострению противоречий между различными полезными функциями системы. Разрешение большинства из этих противоречий осуществляется путем специализации.

Одной из закономерностей развития технической системы является увеличение числа систем с их одновременной специализацией и дифференциацией, рис. 26.

Специализированные системы создаются для выполнения постоянной работы. Как только позволяет уровень техники, близкие системы объединяются в одну, более универсальную. Циклы «специализация - универсализация» в процессе развития технической системы могут повторяться несколько раз.

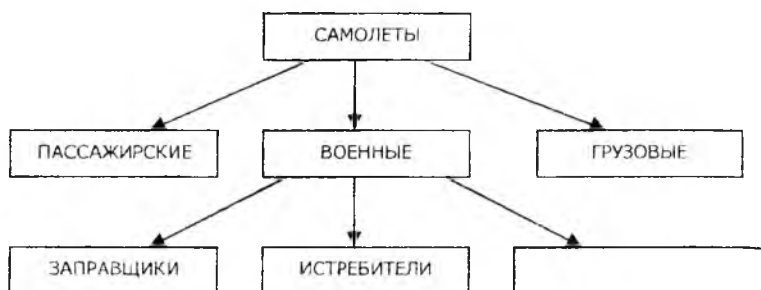


Рис. 26. Специализация технической системы «самолет»

По мере роста наиболее важных параметров ТС все чаще обостряется ее главное противоречие, и все труднее дается его разрешение. Это свидетельствует о приближении к пределам возможностей данного принципа действия. Разрешение противоречий в данной ситуации возможно за счет объединения близких по функциям, но различных по принципу действия систем. Причем в полученной системе должны взаимно компенсироваться недостатки каждого из принципов действия.

Примером могут служить самолеты вертикального взлета и посадки (объединение принципа действия самолета и ракеты), гибридные автомобили, у которых наряду с двигателем внутреннего сгорания имеется электромотор, работающий при разгоне как дополнительный двигатель, а при торможении - как генератор.

При исчерпании возможностей принципа действия системы происходит его замена более перспективным. Например, механический способ развальцовки труб теплообменников может быть заменен развальцовкой с помощью электрогидравлического эффекта, им-

пульсных магнитных полей. Смена принципа действия фактически означает рождение новой технической системы.

Смена принципа действия с усложнением формы движения материи в системе - одна из основных тенденций развития техники. Развитие может происходить за счет использования законов природы, за счет более полного и комплексного применения всех известных и освоенных природных явлений и эффектов. Первые технические системы использовали в основном механику. Прогресс техники имеет вид постепенного освоения физической, химической, биологической формы движения материи. Например, при обработке металлов давлением используется магнитно-импульсная штамповка, штамповка взрывом, эластичной средой. Металл из руды получают при помощи микроорганизмов.

Если принцип действия технической системы сменить нельзя, рост функционального эффекта достигается за счет надсистемы. Так, например, скорость движения машин и общественного транспорта в современных больших городах очень мала. Увеличить ее можно за счет построения дополнительных подземных и надземных магистралей и развязок.

Рост функционального эффекта системы может замедлиться или даже остановиться. Развитие технической системы в этом случае идет только за счет повышения эффективности. Предельное состояние системы с бесконечной эффективностью (полезный результат есть, а затраты равны нулю) назовем идеальной технической системой.

Идеальное транспортное средство - это перемещение грузов без самого транспортного средства. Например, танкер водоизмещением 3 тыс. тонн полезно использует 55 - 60 % своего водоизмещения, а танкер 200 тыс. тонн - 87 %. Идеальное вещество - это набор полезных свойств без самого вещества, идеальный процесс - это результат без самого процесса.

Стремление к идеальному конечному результату в большинстве случаев не дает возможности его получить, но даже несколько ша-

гов, сделанных в этом направлении, указывают направление поиска и движения при решении технических задач.

Основные принципы идеальности следующие:

1. Необходимо получать полезный результат от действия или средства без самого действия или средства (получать даром). Осуществление этого принципа идет за счет использования различных выходов соседних систем. Это различные процессы вторичной переработки, получение электроэнергии от возобновляемых источников (солнца, ветра, волн и т.д.)

2. В каждый момент времени в каждой точке технической системы должны быть только те свойства и взаимодействия, которые необходимы для получения конечного результата (ничего лишнего). Этот принцип ориентирует на создание технических систем, лишенных избыточности.

3. Необходимо максимально использовать имеющиеся свойства и взаимодействия элементов системы и ее окружения, устранять потери и отходы (из лишнего - максимальную пользу). Предусматривается максимальное использование всех резервов системы: полезных выходов (отходов), скрытых свойств, снижение потерь энергии, оптимальное использование пространства и времени.

4. Необходимо доводить до минимума затраты времени на получение полезного результата (получать сразу, мгновенно). Это путь к повышению эффективности происходящих в системе процессов: сокращение числа переходов и совмещение их в пространстве и во времени, то есть переход от последовательных операций к параллельным, от циклических процессов к непрерывным.

Сложность технических систем возрастает. Увеличивается их универсальность, динамизм, усложняется форма движения материи. В процессе развития технических систем действуют два закона: увеличение функционального эффекта и повышение эффективности (идеальности) системы. При всем многообразии возникающих противоречий основной схемой их устранения является:



1. Мысленный переход от рассматриваемой технической системы к идеальной путем формулирования идеального конечного результата.

2. Переход от технических противоречий к физическим.

3. Поиск наиболее эффективных способов преодоления технических и физических противоречий.

### **3.3. Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое противоречие?

2. Как условно делят противоречия?

3. Какие противоречия называют социально-техническими?

4. Привести примеры социально-технических противоречий.

5. Какие противоречия называют техническими?

6. Привести примеры технических противоречий.

7. Какие противоречия называют физическими?

8. Привести примеры физических противоречий.

9. Какие законы диалектики являются источниками развития технических систем?

10. Как можно рассматривать процесс развития технических систем?

11. Перечислите пути разрешения противоречий.

12. Какую техническую систему называют идеальной?

13. Перечислите основные принципы идеальности.

14. Назовите специализации технических систем: а) токарные резцы, б) автомобили, в) штампы для холодной и горячей деформации металла.

### **3.4. Задачи и упражнения**

1. Выявить противоречия в технических системах: а) кнопка, б) штамп, в) матрица.

2. Привести 2 – 3 примера перехода от моносистем к полисистемам.

3. Имеется установка для испытания длительного действия кислот на поверхность образцов из разных сплавов, рис. 27. Установка

представляет собой герметически закрываемую металлическую камеру. На дно камеры устанавливают образцы (кубики). Камеру заполняют агрессивной жидкостью, создают необходимые давление и температуру. Агрессивная жидкость действует не только на кубики, но и на стенки камеры, вызывая их коррозию и быстрое разрушение. Приходится изготавливать камеру из благородных металлов, что чрезвычайно дорого. Построить структуру системы. Сформулировать социально-техническое, техническое и физическое противоречие. Дать новое решение.

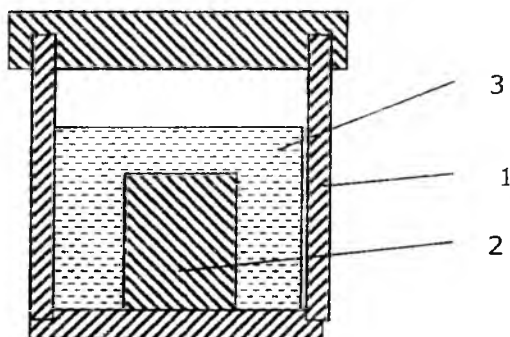


Рис. 27. Схема установки:

1 – камера, 2 – образец, 3 – агрессивная жидкость

4. При выплавке чугуна в доменных печах образуется расплавленный шлак (температура около 1000 °С). Его сливают в ковши и увозят на шлакоперерабатывающие установки (использование жидкого шлака экономически выгодно, «переплав» твердого шлака нерентабелен). Шлак, залитый в ковш, охлаждается, на поверхности расплава образуется твердая корка. Чтобы вылить шлак из ковша, в корке пробивают - с помощью специального копрового устройства - два отверстия. На это нужно время, а шлак продолжает охлаждаться, толщина корки увеличивается. В итоге удается слить не более 60—70 % шлака

ка. Ковши увозят на специальные эстакады, затвердевший шлак выбивают, грузят на автомашины и отправляют в отвалы, громоздящиеся вокруг заводов.

5. Выделить конфликт и предложить варианты решения поставленной технической задачи, используя законы степени идеальности системы.

6. При полировании оптических стекол необходимо под полировальник, он сделан из смолы, подавать охлаждающую жидкость. Пробовали делать в полировальнике сквозные отверстия и различные поры для подачи жидкости, но «дырчатая» поверхность полировальника работает хуже сплошной. Как быть?

## 4. ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

### 4.1. Метод проб и ошибок

Один из распространённых и древнейших методов поиска новых технических решений – метод «проб и ошибок». Этот метод случайного поиска вариантов не содержит никаких правил генерирования идей, критериев их оценки и схематически представлен на рис. 28.

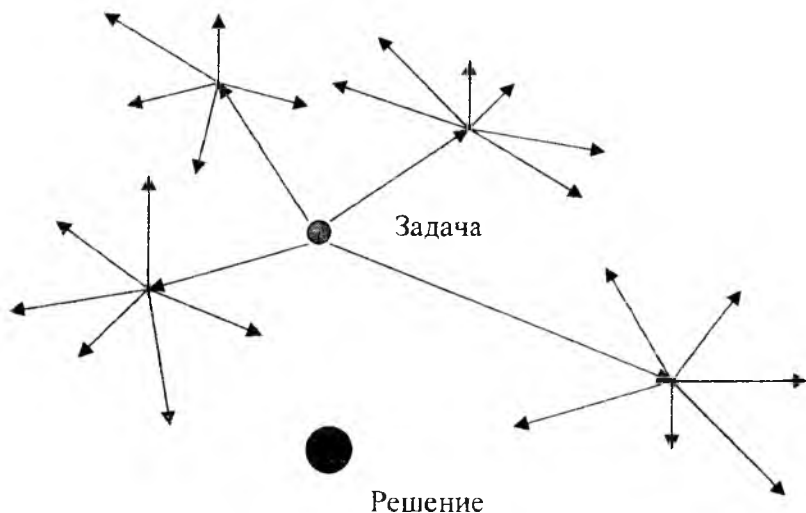


Рис. 28. Схема поиска методом «проб и ошибок»

От точки, которую мы назовём «Задача», изобретатель должен попасть в точку «Решение». Где именно находится эта точка, заранее, конечно, неизвестно. Изобретатель создаёт определенную поисковую концепцию, т. е. выбирает направление поисков. Начинаются

«броски» в выбранном направлении (они условно обозначены стрелками): «А если попробовать так?» А потом становится ясно, что неправильна вся поисковая концепция - поиски идут не в том направлении, Изобретатель возвращается к задаче, выдвигает новую поисковую концепцию. Перебрав большое количество вариантов, изобретатель часто находил приемлемое решение.

Вот типичный случай использования метода «проб и ошибок» - история изобретения Ч. Гудьиром способа получения резины. Купив однажды каучуковый спасательный круг, он решил усовершенствовать клапан, через который в круг накачивается воздух. С новым клапаном он пришел в фирму, выпускавшую круги. Но там ему сказали, что, если он желает разбогатеть, пусть ищет способ улучшения свойств каучука. К этому времени каучук использовался только для пропитки тканей, например, были популярны непромокаемые плащи Ч. Макинтоша (патент 1825 г.). Сырой каучук имел массу недостатков: он отслаивался от ткани, а вещи, сделанные целиком из него, таяли на солнце и теряли эластичность на холоде. Гудьир «заболел» идеей улучшения каучука. Он начал опыты наугад, смешивал сырую смолу с любым попадавшимся под руку веществом: солью, перцем, сахаром, песком, касторовым маслом, даже с супом, — полагая, что рано или поздно он перепробует все, что есть на земле, и наткнется на удачное сочетание. Гудьир влез в огромные долги, семья его перебивалась на картофеле и диких кореньях. Чудом ему удалось открыть лавку, на полках которой красовались сотни пар галош. Но в первый же жаркий день они растаяли и превратились в дурнопахнущее месиво. Обыватели считали его сумасшедшим. Но он упорно продолжал поиски и однажды, обработав каучук парами кислоты, увидел, что свойства материала намного улучшились. Это был первый успех. Но потребовалось еще множество «пустых» проб, прежде чем он случайно обнаружил второе условие полной вулканизации — подогрев. Это был 1839 г., год изобретения резины. Но лишь в 1841 г. Гудьир смог подобрать оптимальный режим получения резины. Изобретателя засыпали предложениями о покупке патента, и он, со-

гласившись, но, не имея опыта, слишком занижил причитающуюся ему долю прибыли с компаний. Умер он в 1860 г., оставив после себя 200 тыс. долларов долгу. К этому времени в мире уже работали 60 тыс. человек на мощных фабриках, изготавливавших 500 видов резиновых изделий на сумму 8 млн. долларов в год.

Уже к концу XIX века стало ясно, что метод стал недостаточно быстрым и эффективным. Чтобы повысить эффективность творческого поиска, в него стали вовлекать все большее количество людей, причем использовались специалисты различного профиля. Так, в мастерской Эдисона работало до 1000 человек. Проблема разбивалась на несколько задач, и по каждой задаче одновременно велась проверка многих вариантов. Подобные мастерские постепенно превращались в современные специализированные, узкопрофильные НИИ и КБ, где индустрия изобретений в основном организована с помощью метода проб и ошибок.

Метод «проб и ошибок» целесообразно применять при решении технических задач с небольшим количеством вариантов. При решении задач большой сложности он становится неэффективным, так как основанная на нём организация творческого труда пришла в социально – техническое противоречие с требованиями настоящего времени.

#### **4.2. Метод контрольных вопросов**

Метод контрольных вопросов заключается в том, что изобретатель, отвечая на предложенные ему вопросы, подходит к решению своей задачи или определяет новое направление, в котором лучше искать, расширяя при этом зону поиска. Лежащая в основе метода функция подсказки определяет его эвристическую ценность. Его применение уменьшает случайность поиска и повышает вероятность получения положительных результатов.

С начала XX века разными авторами было предложено много различных вариантов списка контрольных вопросов для поиска но-

вых идей. В качестве примера можно привести список вопросов, предложенный в 1955 г. Тимом Эйлоартом.

1. Перечислите все качества и определения предполагаемого изобретения, укажите, в какую сторону их предполагается изменить.

2. Четко сформулируйте задачи создания объекта, выделив среди них главные и второстепенные.

3. Перечислите основные принципы и недостатки известных решений рассматриваемой задачи, сформулируйте свои предложения по их устранению.

4. Выскажите и запишите различные, пусть даже фантастические, аналогии (химические, биологические, экономические и т. п.).

5. Постройте какие-либо модели объекта: математические, гидравлические, механические, электронные и т. п., поскольку модели наиболее точно выражают идеи, нежели аналогии.

6. Попробуйте применить для усовершенствования объекта другие виды материалов, энергии, другие физические, химические и иные эффекты.

7. Попытайтесь установить зависимости, взаимные связи и логические совпадения.

8. Узнайте мнение по разрешению главной задачи у людей, совершенно не осведомленных в данной проблеме.

9. Устройте свободное групповое обсуждение проблемы, выслушивая любые идеи без критики.

10. Попробуйте использовать «национальные» подходы к решению задач: хитрое шотландское, расточительное американское, сложное китайское, всеобъемлющее немецкое и т. п.

11. Постарайтесь быть всегда с проблемой, не расставаясь с ней не только на работе, но и в поездке, на прогулке, в игре.

12. Надо постараться погрузиться в обстановку, стимулирующую творчество: побывать в техническом музее, в антикварном магазине, просмотреть журналы, комиксы.

13. Составьте сопоставительные таблицы типов материалов, геометрических параметров и других величин объекта и его элементов, а также их цен для разных вариантов решения проблемы.

14. Определите идеальные конечные результаты по разработке объекта.

15. Попробуйте видоизменить решение поставленной проблемы во времени, а также за счет изменения свойств и параметров объекта.

16. Попробуйте в воображении «залезть» внутрь объекта и рассмотреть его изнутри.

17. Выявите и исключите из дальнейшего обсуждения альтернативные варианты решения проблемы, уводящие в сторону от траектории поиска наилучшего решения.

18. Попробуйте выявить, кого и почему интересует решаемая проблема.

19. Выявите, кто первым и когда придумал аналогичный технический объект, были ли ложные попытки его усовершенствования.

20. Кто ещё решал аналогичную проблему и чего он добился?

21. Выявите и обоснуйте пограничные условия изготовления и применения объекта.

В промышленно развитых странах подобные вопросы используются давно и довольно широко. Это связано, прежде всего, с необходимостью постоянно подталкивать изобретателя в его деятельности, не давая остановиться для обеспечения успеха предприятия в условиях острой конкурентной борьбы.

В целом, метод контрольных вопросов может быть использован на начальных стадиях постановки или решения технически несложных задач.

### **4.3. Метод морфологического анализа**

Прообразом морфологического метода можно считать комбинаторику Раймондо Луллия. В XIII веке он делал устройства в виде нескольких дисков разного диаметра, сидящих на одной оси. На дис-



ках по окружности были записаны различные понятия. Вращая диски относительно друг друга при совмещении различных секторов с понятиями, можно было получить некоторые высказывания и суждения.

В современной форме морфологический анализ создан швейцарским астрофизиком Ф. Цвикки. В 30-е годы прошлого века он применил его к решению астрофизических проблем и предсказал существование нейтронных звезд. В годы Второй мировой войны Цвикки участвовал в американских военных разработках и активно применял морфологический анализ при создании реактивных ракетных двигателей.

Метод заключается в попытке охватить все многообразие возможных решений задачи, которые вытекают из закономерностей строения (т.е. морфологии) исследуемой системы. Он предусматривает:

1. Формулировку задачи.

2. Составление списка характерных параметров (или признаков) объекта. К параметрам предъявляются определенные требования. Они должны быть существенными для любого решения, независимыми друг от друга, охватывающими все аспекты задачи, достаточно немногочисленными, чтобы обеспечить быстрое изучение.

3. Перечисление всех возможных вариантов изменения каждого параметра.

4. Рассмотрение всех возникающих вариантов решения от комбинирования всех возможных сочетаний параметров. На практике происходит составление двухмерных или многомерных таблиц или матриц. В случае наличия только двух параметров получается двухосная таблица, где по осям располагаются варианты изменения параметров, а каждая клетка в середине таблицы - возможный вариант решения.

5. Анализ полученных вариантов и отбор лучших решений.

Пример построения двумерной морфологической таблицы представлен на рис. 29.

Из анализа полученных вариантов следует, что для получения качественного винтового оребрения с углами подъема спирали ребер до  $30^\circ$  из легкопрессуемых алюминиевых сплавов целесообразны плоские матрицы (1) с винтовыми пазами (1). Для труднопрессуемых алюминиевых сплавов более целесообразны конические матрицы (2), а перед винтовыми пазами следует выполнять формирующие участки (2) или питатели (3). При прессовании в пазы (2) вначале формируется продольное ребро на формирующем участке, а в винтовом участке идет переформирование в спиральное ребро. В случае применения конструкции паза (3) одна грань паза на формирующем участке проводится параллельно оси матрицы, а другая проходит по той же винтовой линии, что и боковые грани винтовых участков пазов. Конструкции пазов (2) и (3) позволяют уменьшить усилия, действующие на винтовые участки, а также облегчают отделение прессостатка и изделия от матрицы. При развитом винтовом оребрении более пригодны плоско-конические матрицы (3).

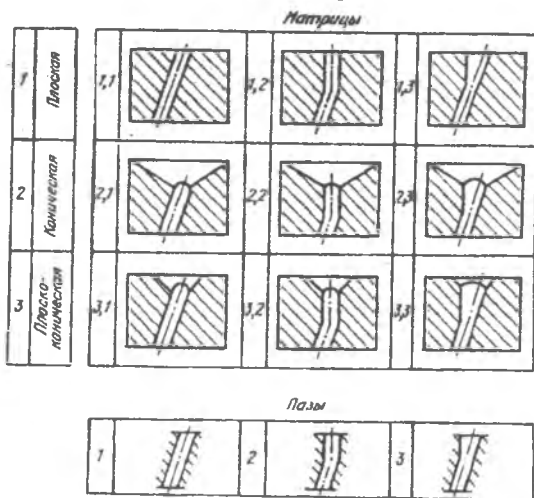


Рис. 29. Морфологическая таблица для рационального выбора конструкции матрицы и винтовых пазов

Морфологический анализ более эффективен, чем поиск с помощью бессистемных проб, он позволяет выявить очень много вариантов, найти неожиданные, оригинальные решения. Однако отсутствие правил отбора и оценки вариантов приводит к субъективизму и при большом их количестве этот этап очень затруднителен.

Метод целесообразно использовать при решении конструкторских задач, при проектировании, модернизации технических систем, при поиске компоновочных решений. Задачи высокого уровня при помощи морфологического анализа решаются крайне редко.

#### **4.4. Метод мозговой атаки**

Метод был разработан американским исследователем А. Осборном в 50-е годы прошлого века.

Он заметил, что одни люди более склонны к генерированию идей, другие - к их критическому анализу. При обычных обсуждениях эти люди оказываются вместе и мешают друг другу. Осборн предложил разделить по времени этапы генерирования и анализа идей. Обычно во время сеанса мозговой атаки высказывается до 150 идей. Происходит как бы цепная реакция идей, приводящая к интеллектуальному взрыву. При индивидуальной работе общее число идей будет в несколько раз меньше. Более 90 процентов важных идей возникают подобно электрической искре при контакте с мнениями других людей.

Наибольшее распространение получил метод прямой мозговой атаки, который состоит из следующих этапов:

1. Формулировка задачи, которая должна быть четкой и понятной для всех участников группы, должна отвечать на вопросы:

- что в итоге желательно получить или иметь;
- что мешает получению желаемого.

2. Формирование творческой группы «генераторов идей».

Оптимальное число участников для проведения мозговой атаки (штурма) составляет 5-10 человек. В группе обычно выделяются две части: постоянное ядро (руководитель и сотрудники, легко и плодот-

творно генерирующие идеи и знающие правила) и временные члены (специалисты по исследуемой проблеме и специалисты-смежники).

3. В ходе работы должны выполняться следующие правила для участников:

- максимальное число высказываемых идей;
- запрещено высказывание критических идей;
- одобрять и принимать любые идеи;
- создание непринужденной обстановки, шутки, юмор, смех;
- развитие, комбинирование и улучшение высказанных ранее идей;
- обеспечение между участниками дружелюбных и доверительных отношений.

4. Руководителем (ведущим) выбирается наиболее опытный участник группы, который должен:

- представить участников группы, дать им лестную характеристику;
- ознакомить с правилами проведения сеанса;
- изложить формулировку задачи четко и эмоционально;
- обеспечить соблюдение всех правил, не пользуясь приказами и критическими замечаниями;
- обеспечить непрерывное высказывание идей, заполнять паузы поощрительными репликами;
- направлять обсуждение, расширять сферу поиска;
- следить за регламентом работы (высказывания не более 30 секунд и т.д.).

5. Оповещение участников должно быть осуществлено за 2-3 дня с изложением целей и задач. Организация и проведение самого сеанса (продолжительность 1,5-2 часа) должны включать следующие моменты:

- представление участников и ознакомление с правилами - 5-10 минут;
- постановка ведущей задачи с ответами на вопрос - 10-15 минут;
- проведение сеанса – 20 - 30 минут;

- перерыв - 10 минут;
- составление отредактированного списка идей - 30-45 минут.

Для сеанса обычно выбирается нейтральное и нешумное помещение, в котором размещается П-образный или круглый стол. Повысить качество работы может показ короткометражного фильма на рассматриваемую тему, фоновая музыка, показ образцов, аналогичных объектов, угощение чаем, кофе, объявление перед сеансом о вознаграждении в случае получения приемлемого результата и т.д.

б. Запись и оформление результатов сеанса могут проводиться следующими способами:

- ведение стенограммы;
- запись на видео или на магнитофон;
- каждый участник после высказываний записывает свою идею.

После сеанса проходит коллективное редактирование полученного списка идей с полукритическим отношением. При этом можно не только обсуждать, отбрасывая заведомо невыполнимые идеи, но и развивать приемлемые и дополнять список новыми предложениями. Далее список передаётся заинтересованным лицам.

Одной из разновидностей метода, в основе которой лежит критика, направленная на максимальное выявление недостатков, является обратная мозговая атака.

Переход к новым образцам техники происходит через выявление и устранение недостатков в предыдущем поколении Технических Систем. Поэтому объективно существуют две задачи:

- выявление максимального числа недостатков в имеющейся ТС;
- максимальное устранение этих недостатков во вновь разрабатываемых изделиях.

Таким образом, область применения обратной мозговой атаки - составление списков недостатков. Объекты - конкретное изделие, узел, технический процесс или определенная сфера обслуживания.

Метод может быть использован для:

- уточнения постановки изобретательских задач;
- разработки технического задания;

- экспертизы проектно-конструкторской документации на любой стадии разработки;

- оценки эффективности изделия.

Организация и проведение сеанса в случае обратной мозговой атаки не отличается от рассмотренного выше, но формулировка задачи должна отвечать на следующие вопросы:

а) что представляет собой объект;

б) какие недостатки известны;

в) что требуется получить в результате мозговой атаки;

г) на что нужно обратить особое внимание.

Таким образом, мозговая атака - это легкий и чрезвычайно быстрый способ коллективного решения несложных технических, научных и организационных задач. При рассмотрении задач высокого уровня метод может быть использован только в совокупности с другими методами.

#### **4.5. Ассоциативные методы**

В данных методах для генерирования идей используются аналогии и ассоциации (связи, возникающие при определенных условиях между двумя и более психическими образованиями - ощущениями, двигательными актами, восприятиями, идеями и т.п.).

При решении практических задач используются в основном четыре вида аналогий: прямая, символическая, личная и фантастическая.

При прямой аналогии рассматриваемый объект сравнивается с более или менее схожим из другой области техники или природы. Например: очки - хамелеон, сеть - паутина и т.д.

Символическая аналогия предусматривает формулировку в обобщенной, абстрактной форме сути явления или понятия. Например: пламя - видимая теплота, прочность - принудительная целостность.

Личная аналогия (эмпатия) представляет собой отождествление с исследуемым объектом. Человек должен настолько «прочувствовать» проблему, чтобы вжиться в образ совершенствуемого объекта.

При фантастической аналогии в решение вводят какие-то фантастические средства, выполняющие то, что требуется по условию. С их помощью анализируются альтернативы на основе нереальных вещей или сверхъестественных процессов, например, отсутствие массы, трения и т.д.

Кроме решения по аналогии существует группа методов, использующих дальние ассоциации и их цепочки, приводящие к неожиданным скачкам мысли и психологической активизации. К таким методам относятся методы каталога (Э. Кунце, Германия), фокальных объектов (Ч. Вайтинг, США) и гирлянд случайностей и ассоциаций.

Так, например, метод фокальных объектов является развитием метода каталога, и его применение производится по следующей схеме:

- 1) выбирается фокальный объект (Техническая Система, которая нуждается в совершенствовании);
- 2) выбирается 3-4 случайных объекта, их берут наугад из словаря, каталога, технического журнала;
- 3) составляется список признаков случайных объектов;
- 4) генерируются идеи путем присоединения к фокальному объекту признаков случайных объектов;
- 5) развитие полученных сочетаний путем свободных ассоциаций;
- 6) оценка полученных идей и отбор полезных решений.

Таким образом, метод позволяет взглянуть на систему или объект под необычным углом. Возможности данной группы методов ограничены. они эффективны при поиске новых возможностей, новых вариантов технических систем.

#### **4.6. Алгоритм решения изобретательских задач**

Работы по созданию метода поиска и разрешения технических противоречий были начаты в 40-е годы прошлого века в нашей стране Г.С. Альтшуллером. В их основе лежит анализ большого количества изобретений и исследование обучения методам творчества, которые позволили автору сформулировать принципиально новые подходы.

1) При создании современных методов творчества необходимо учитывать закономерности развития объектов преобразования - технических систем.

2) Метод должен строиться на основе науки о развитии - диалектики, в частности, важнейшей ее части - учения о противоречиях.

Таким образом, можно сказать, что изобретение есть способ разрешения противоречий в Технических Системах, а методы создания изобретений - это методы выявления и разрешения технических противоречий.

Развитие методов решения изобретательских задач можно рассматривать как создание теории творческого поиска. На основании этой теории были разработаны алгоритмы решения изобретательских задач (АРИЗ). АРИЗ, по словам Г.С. Альтшуллера, инструмент для мышления, а не средство вместо мышления. Приведем основные положения одного из этих алгоритмов АРИЗ-85-В, структура которого представлена на рис. 30.

#### **I часть. Анализ задачи**

**Цель** изобретательской ситуации:

1. Необходимо записать условия мини-задачи по следующей форме: Техническая Система, основные части системы, технические противоречия, указать желаемый результат.

Мини-задачу получают из изобретательской ситуации, вводя ограничения. Все остается без изменений или упрощается, но при этом появляется требуемое действие или исчезает вредное действие (свойство).



2. Выделяется и записывается конфликтующая пара элементов - «изделие и инструмент».

Изделие - это элемент, который по условиям задачи нужно обработать (изменить).

Инструмент - элемент, с которым непосредственно взаимодействует изделие.

3. Составляются графические схемы технических противоречий.

4. Из схем конфликта выбирается та, которая обеспечивает наилучшее осуществление главной полезной функции (основной функции ТС, указанной в условиях задачи). Указывается эта функция.

5. Усиливается конфликт, указываются предельные состояния (действия) элементов.

6. Записывается формулировка модели задачи, в которой указывается:

- конфликтующая пара;
- усиленная формулировка конфликта;
- что должен сделать вводимый для решения задачи «икс-элемент» (сохранить, улучшить, обеспечить и т.д.).

## **II часть. Анализ модели задачи**

**Цель:** учет имеющихся ресурсов, которые можно использовать при решении задачи: ресурсов пространства, времени, вещества и полей.

1. Определить оперативную зону - пространство, в пределах которого возникает конфликт (ОЗ).

2. Определить оперативное время (ОВ). Это имеющиеся ресурсы времени: конфликтное  $T_1$  и время до конфликта  $T_2$ . Конфликт иногда может быть устранен в течение  $T_2$ .

3. Описать вещественно-полевые ресурсы (ВПР) рассматриваемой системы, внешней среды и изделия.



Рис. 30. Структура алгоритма решения изобретательских задач  
Г. С. Альтшуллера

### **III часть. Определение идеального конечного результата (ИКР) и физических противоречий (ФП)**

**Цель этапа:** сформулировать идеальное решение, определить физическое противоречие.

1. Записать формулировку ИКР-1: икс-элемент, не усложняя систему и не вызывая вредных явлений, устраняет вредное воздействие в течение ОВ в пределах ОЗ.

2. Усилить формулировку ИКР-1 рядом дополнительных требований: в систему нельзя вводить новые вещества и поля, необходимо использовать ВПР.

3. Записать ФП на макроуровне. Например, ОЗ должна быть горячей (1 свойство) и одновременно холодной (2 свойство).

4. Записать ФП на микроуровне: в ОЗ должны быть частицы, обеспечивающие 1 свойство, и частицы, обеспечивающие 2 свойство.

5. Записать формулировку ИКР-2: ОЗ должна сама обеспечивать противоположные состояния.

### **IV часть. Мобилизация и применение ВПР**

**Цель:** проведение плановых операций по увеличению ресурсов.

1. Использовать метод «моделирования маленькими человечками» (ММЧ):

а) используя метод ММЧ, построить схему конфликта;

б) изменить построенную схему так, чтобы маленькие человечки действовали, не вызывая конфликта;

в) перейти от абстрактной к технической схеме.

Введенный ТРИЗ метод ММЧ в какой-то мере развивает упомянутый ранее прием личной аналогии (эмпатии). Он позволяет моделировать с помощью не одного, а многих символических «человечков» различные действия системы и их развитие.

2. Если из условий известно, какой должна быть готовая система, и задача сводится к определению способа получения этой системы, может быть использован способ «шаг назад от ИКР». Изображают

готовую систему, затем вносят минимальное изменение. Например, если в ИКР две детали соприкасаются, то нужно показать зазор. Возникает новая микрозадача: как устранить дефект? Часто это приводит к получению ответа.

3. Проверить, решается ли задача применением смеси ресурсных веществ.

4. Проверить, решается ли задача заменой ресурсных веществ пустотой или смесью с пустотой.

5. Проверить, решается ли задача применением веществ, производных от ресурсных.

6. Проверить, решается ли задача введением вместо вещества электрического поля или взаимодействия двух электрических полей.

7. Проверить, решается ли задача применением пары «поле - добавка вещества», отзывающегося на поле (магнитное поле - ферровещество, тепловое поле - вещество с памятью формы).

Очень часто IV этап приводит к решению поставленной задачи. В этом случае переходим к этапу VII.

## **V часть. Применение информфонда**

**Цель:** использование опыта, сконцентрированного в информационных ресурсах, межотраслевом фонде эвристических приемов (приложение 1) и фонде физических эффектов.

Эти фонды содержат данные о всех возможных способах преобразования Технических Систем, о различных физических эффектах, которые могут быть внесены в задачу или как-либо использованы.

## **VI часть. Изменение и/или замена задачи для сложных задач**

1. Если задача решена, перейти от физического ответа к техническому: схема, способ и т.д.

2. Если ответа нет - проверить I этап: не является ли формулировка сочетанием нескольких задач: изменить, выделить главную задачу.

3. Если ответа нет, изменить задачу, выбрав на шаге другое ТП.

4. Если ответа нет, заново сформулировать задачу, отнеся ее к надсистеме.

### **VII часть. Анализ избранного способа устранения ФП**

**Цель:** проверка качества полученного ответа.

1. Контроль ответа. Рассмотреть вводимые поля и вещества.
2. Провести предварительную оценку полученного решения.
3. Проверить по патентным данным новизну.
4. Какие подзадачи возникнут при технической разработке идеи?

### **VIII часть. Применение полученного ответа**

1. Определить, как должна быть изменена надсистема.
2. Проверить, может ли измененная система (надсистема) применяться по-новому.
3. Использовать полученный ответ при решении других технических задач.

### **IX часть. Анализ хода решения**

1. Сравнить реальный ход решения задачи с теоретическим (по АРИЗ).
2. Сравнить полученный ответ с данными информационного фонда (приёмы, физэффекты).

Знание АРИЗ позволяет решать сложные творческие задачи, которые ранее были доступны лишь талантливым единицам.

### **4.7. Вопросы для самоконтроля**

1. Как найти новое техническое решение методом проб и ошибок?
2. Область применения метода проб и ошибок.
3. В чём сущность метода контрольных вопросов?
4. В чём заключается метод морфологического анализа?
5. Что собой представляют морфологические таблицы?

6. Алгоритм поиска новых решений с помощью метода морфологического анализа.

7. Что положено в основу метода мозговой атаки?

8. Кто должен входить в состав группы «генераторов идей»?

9. Каковы правила мозговой атаки?

10. Как проводится анализ ценности выдвинутых идей после проведения мозговой атаки?

11. Что лежит в основе метода обратной мозговой атаки?

12. В чём суть ассоциативных методов генерирования новых технических идей?

13. Опишите метод фокальных объектов.

14. Перечислите основные части АРИЗ.

15. В какой последовательности проводится анализ технической системы по АРИЗ?

#### **4.8. Задачи и упражнения**

1. Предприятие выпускает а) кастрюли, б) часы, в) диваны. С помощью метода фокальных объектов расширить ассортимент и повысит спрос на продукцию.

2. Термическая обработка алюминиевого листа связана с одной характерной трудностью: алюминий настолько размягчается, что любое соприкосновение с твёрдой поверхностью влечёт за собой появление царапин. Как протащить многометровый лист через нагревательную печь, не поцарапав его?

3. Потребовалось вывести цыплят в космосе. На орбитальной станции для этого есть все условия (нормальная атмосфера, тепло), кроме одного – нет силы тяжести. Что бы вы предложили для создания искусственной силы тяжести?

4. Предложите идею простейшего устройства для прямолинейных микроперемещений (на сотые доли микрометра), применяемое в микроскопах, принцип действия которого известен из школьного курса физики.

5. При горячей объёмной штамповке в открытых штампах применяют заусенечные канавки, необходимые для размещения облоя. Составьте морфологическую матрицу для рационального выбора при проектировании штампов формы мостика и магазина.

6. Волочение труб сопровождается их продольным искривлением в виде «сабли», рис. 31. Основная причина искривления – несовпадение оси волоки с осью протягиваемых труб. Методом мозговой атаки предложите устройства для устранения искривления труб.

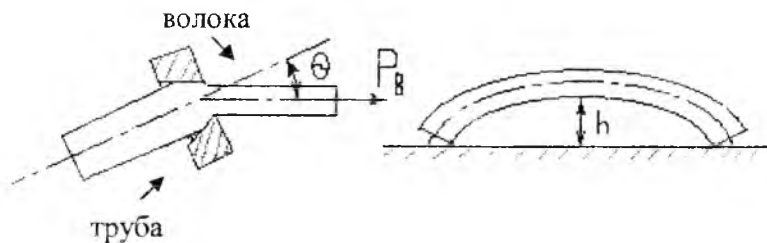


Рис. 31. Схема образования «саблевидности» при волочении труб

7. Провести решение задачи №4 в третьем разделе о перевозке шлака с помощью АРИЗ.

## 5. ЭЛЕМЕНТЫ ПАТЕНТОВЕДЕНИЯ

### 5.1. Интеллектуальная собственность

Любой результат умственного творческого труда является интеллектуальной собственностью. Интеллектуальная собственность подразделяется на следующие группы (рис. 32):

1. промышленная собственность, куда входят нематериальные объекты технического творчества, связанные с техникой и производством, охраняемая, на основе патентного права;
2. произведения науки и искусства, охраняемые на основе авторского права;
3. типология интегральных микросхем;
4. ноу-хау.

Объектами авторского права являются художественная и научная литература, музыкальные и хореографические произведения, кинофильмы и телефильмы, произведения живописи и скульптуры, архитектуры и другие. К этой группе объектов авторского права относятся также программы для ЭВМ, курсовые и дипломные проекты студентов.

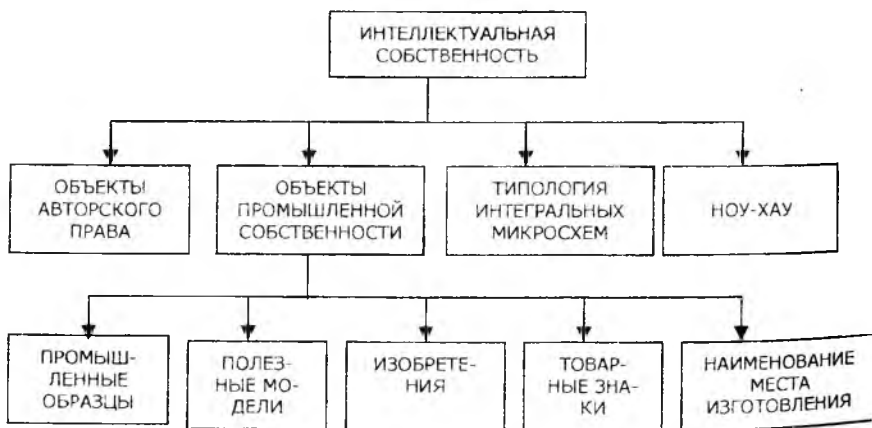


Рис. 32. Виды интеллектуальной собственности



Компьютерные программы и топология интегральных микросхем регистрируются в Роспатенте, который выдает на них соответствующие свидетельства.

Под ноу-хау (английское know how – знать, как сделать, уметь) понимают служебную и коммерческую тайну.

*Промышленная собственность* — это нематериальные объекты технического творчества. В состав объектов включены:

- 1) изобретения;
- 2) полезные модели;
- 3) промышленные образцы;
- 4) товарные знаки;
- 5) наименование мест происхождения объекта.

К объектам патентного права относятся только три первых вида объектов: изобретения, полезные модели и промышленные образцы.

Изобретение - это новое решение технической задачи. Согласно Гражданскому кодексу Российской Федерации изобретению предоставляется правовая охрана, если оно обладает новизной, изобретательским уровнем, промышленной применимостью, рис. 33.



Рис. 33. Критерии идентификации изобретений

*Мировая (абсолютная) новизна* технического решения признается в том случае, если на дату подачи заявки на выдачу патента оно не известно из уровня существующей техники настолько, чтобы специалисты смогли бы его воспроизвести.

*Изобретательский уровень* у технического решения имеет место, если составляющие его новые признаки явным образом не следуют из уровня существующей мировой техники.

*Промышленная применимость* технического решения считается доказанной, если оно может быть осуществлено или использовано в промышленности, на транспорте, в медицине, сельском хозяйстве и в других областях жизнедеятельности человека.

Технические решения, которые обладают новизной и промышленной применимостью, но не имеют изобретательского уровня, согласно «Патентному закону Российской Федерации», подлежат правовой охране как полезные модели.

*Полезные модели* (их иногда называют «малыми изобретениями») — это, в основном, конструктивные устройства из области механики, средств производства и предметов потребления.

Отличие изобретения от полезной модели в основном правовое, однако процедура выдачи патента на полезную модель немного проще и быстрее, чем выдача патента на изобретение. Многих авторов привлекает и то, что за регистрацию полезной модели взимается более низкая пошлина, нежели за получение патента.

Объектами изобретений могут быть (рис. 34): устройства; способы; вещества; штаммы микроорганизмов, культуры клеток, растений и животных.

Объектами научно-технического творчества чаще всего являются устройства и способы, реже — вещества, поэтому далее уделим внимание лишь этим видам изобретений.

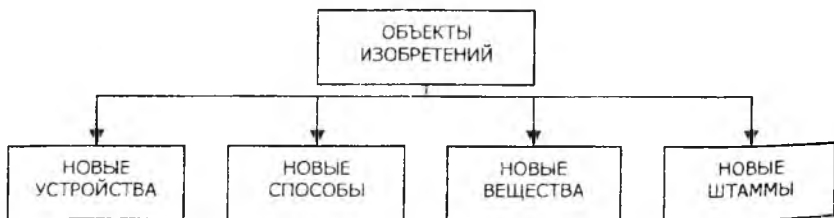


Рис. 34. Виды объектов изобретений

Определить, к какому виду относится тот или иной объект, можно путем анализа его существенных признаков и их сопоставления с типовыми признаками видов объектов изобретений. Существенным считается такой признак, который определяет содержание структуры и состав объекта. Для того, чтобы определить, существенен ли данный признак или нет, его условно исключают из объекта. Если при этом объект становится неработоспособным или резко ухудшается его эффективность, то это означает, что рассматриваемый признак существенен.

Устройства характеризуются следующими типовыми признаками:

- наличием узлов, деталей, элементов;
- взаимосвязью узлов, деталей и элементов;
- формой и взаимным расположением деталей, узлов и элементов;
- размерами, массой и другими параметрами узлов, деталей, элементов;
- материалами, из которых они выполнены.

Способы - это процессы выполнения определенных действий над материальными объектами с использованием других материальных объектов. Способы характеризуются следующими типовыми признаками:

- наличием действий;
- последовательностью действий;
- условиями и режимами выполнения действий;
- материалами и приспособлениями, применяемыми при выполнении действий.

Патентной охране подлежат также и вещества, полученные химическим путем, различные растворы, смеси и сплавы, а также продукты ядерного превращения. Типовыми признаками вещества являются:

- состав и количественные соотношения компонентов;
- форма компонентов, их структура и размеры;

- физическое состояние вещества или его отдельных компонентов.

Автором изобретения признается человек (по юридической терминологии - физическое лицо), творческим трудом которого оно было создано. Если же объект промышленной собственности создавался совместно несколькими лицами, то все они считаются равноправными авторами. В этом случае порядок пользования правами авторов определяется соглашением между ними.

Патент — это документ, удостоверяющий:

- право авторства;
- приоритет, устанавливаемый с даты получения Роспатентом авторской заявки;
- исключительное право патентообладателя на использование изобретения или промышленного образца.

Следует иметь в виду, что до 1992 г. изобретения в нашей стране защищались наряду с патентами, авторскими свидетельствами. Хотя авторские свидетельства удостоверяли те же права, что и патенты, но право исключительного использования изобретения принадлежало государству.

В современной России патент на изобретение, введенный в 1992 г., действует в течение 20 лет, патент на промышленный образец - 15 лет, патент на полезную модель - 10 лет, свидетельство на товарный знак — 10 лет.

Авторы объектов промышленной собственности имеют право на вознаграждение. Во всех случаях вознаграждение авторам выплачивается предприятием - патентообладателем, а его величина определяется по соглашению с автором и оговаривается в договоре. Прежде всего предприятие в месячный срок со дня получения патента обязано выплатить автору поощрительное вознаграждение в размере не менее среднемесячного заработка работников данного предприятия. При использовании же изобретения автору выплачивается вознаграждение не менее 15% прибыли, ежегодно получаемой патентообладателем, а при продаже лицензии — не менее 20% выручки от

продажи. В случаях, когда изобретение не приносит прибыли, предприятие выплачивает автору не менее 2% от доли себестоимости продукции, приходящейся на данное изобретение.

## **5.2. Организация патентных исследований**

Статистика свидетельствует, что в настоящее время в мировых патентных фондах находится более 17 миллионов описаний на изобретения, промышленные образцы и товарные знаки. Ежегодно в патентные ведомства более 100 стран подается более 750 тысяч заявок и выдается около 500 тысяч охранных документов. Информация о новых научно-технических достижениях удваивается в течение 7-10 лет. В связи с этим осуществить поиск нужной информации в этом безбрежном море документации было бы невозможным, если бы в мире не существовала стройная система сбора, хранения и выдачи патентной информации. Патентная информация - это совокупность патентных документов со своим справочно-поисковым аппаратом. В состав патентной документации входят официальные унифицированные публикации патентных ведомств: патентные бюллетени, описания изобретений, указатели патентов, бюллетени промышленных образцов и товарных знаков.

В России существует общегосударственная система патентной информации. Во главе этой системы - Российское агентство по патентам и товарным знакам (Роспатент). В иерархической структуре этой системы находятся: Всероссийский научно-исследовательский институт патентной информации (ВНИИПИ) и Всероссийская патентно-техническая библиотека (ВПТБ), отраслевые службы патентно-технической информации, территориальные службы патентной информации, а также патентные службы предприятий.

Для облегчения и ускорения поиска патентной информации все изобретения классифицируются по предметно-тематическим признакам. С 1970 г. в нашей стране используется международная патентная классификация (МПК). В соответствии с этой классифика-

цией все изобретения подразделяются на 8 разделов, обозначаемых заглавными латинскими буквами:

А - удовлетворение жизненных потребностей человека;

В - технологические процессы;

С - химия, металлургия;

Д - текстиль, бумага;

Е - строительство, горное дело;

F - механика, двигатели, освещение, отопление;

G - физика;

Н - электричество.

Каждый раздел, в свою очередь, состоит из классов (обозначаемых двузначными арабскими буквами), подклассов (обозначаемых латинскими буквами), групп и подгрупп (обозначаемых арабскими цифрами), причем группа отделяется от подгруппы дробной чертой. Сочетание обозначений всех перечисленных рубрик и составляет индекс МПК, (рис. 35).

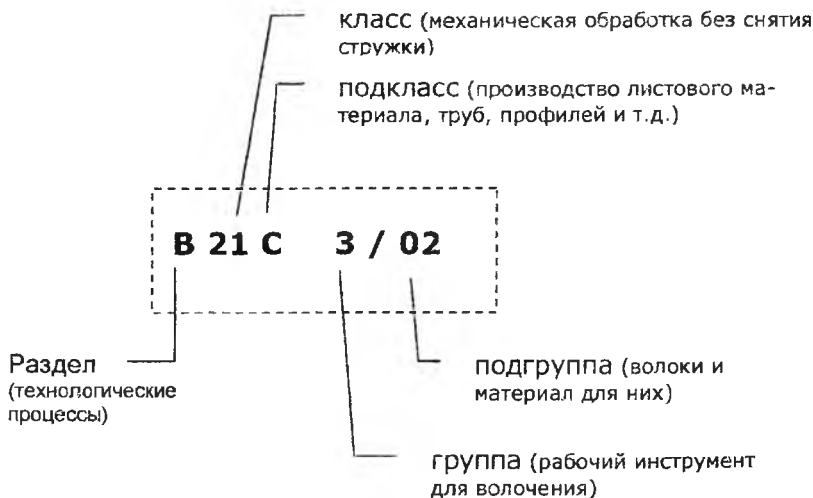


Рис. 35. Структура индексов изобретений по МПК

### 5.3. Составление заявки на изобретение

Заявкой называют комплект документов, направляемых в Российское агентство по патентам и товарным знакам (Роспатент), необходимых для проведения экспертизы изобретения (полезной модели) и выдачи на него патента. В состав заявки входят следующие документы: заявление о выдаче патента; описание изобретения; формула изобретения; чертежи, фотографии и другие материалы, необходимые для понимания сути изобретения; реферат; документ, подтверждающий уплату пошлины (рис. 36).



Рис. 36. Пакет документов, входящих в состав заявки на изобретение

Описание изобретения следует начинать с формулы изобретения.

*Формула изобретения* – это краткая словесная характеристика сущности изобретения, выраженная совокупностью существенных признаков, составленная по строго определенным правилам.

Формула изобретения состоит из двух частей: ограничительной и отличительной.

*Ограничительная* часть формулы включает в себя дословное название изобретения и содержит перечень всех известных существенных признаков объекта изобретения.

*Отличительная* часть формулы начинается с разделительных слов « ...отличающееся тем, что...» и далее содержит перечень всех новых существенных признаков. Следует иметь в виду, что в формулах изобретений, зарегистрированных в нашей стране до 1992 г., после разграничительных слов « ...отличающееся тем, что...» следовала формулировка цели (технического результата) изобретения. По действующему ныне «Патентному закону РФ», указывать цель изобретения не требуется.

Существует отличие в составлении формул изобретения на устройства и способы: в первом случае оно описывается в статическом состоянии, в состоянии покоя, а втором – в динамическом состоянии, в действии.

Описание изобретения является основным документом заявки и состоит из следующих частей:

- характеристика области техники, к которой относится изобретение;
- характеристика уровня техники;
- сущность изобретения;
- перечень фигур чертежей, если они необходимы и содержатся в тексте описания;
- сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения.

Характеристику области техники, к которой относится изобретение, следует начинать с указания укрупненной области техники, внутри которой оно находится. Например, «Предлагаемое устройство (способ, вещество) относится к обработке металлов давлением».

Характеристика уровня существующей техники излагается на основе анализа и критики недостатков одного – трех аналогов и прототипа заявляемого изобретения.



Характеристику уровня техники принято начинать со слов: «Известно устройство...», и далее дается название этого устройства – аналога.

Далее указываются недостатки аналога и, по возможности, раскрываются их причины (третий этап анализа — «однако»). Из приведенного перечня недостатков выделяется тот, который должен быть устранен в первую очередь.

После анализа аналогов изобретения аналогичным образом проводится и анализ прототипа.

В завершении анализа уровня техники дается формулировка (цели) заявляемого изобретения, которая вытекает из недостатка известных решений, выявленного при анализе аналогов и прототипа. Устранение этого недостатка и является техническим результатом изобретения.

Описание сущности изобретения рекомендуется начинать со слов: «Сущность предлагаемого устройства заключается в том, что...» и далее указать все существенные признаки, которые характеризуют изобретение: вначале известные, а затем, после слов «...в отличие от прототипа...» - новые признаки.

Таким образом, описание сущности изобретения является пересказом формулы изобретения.

Перечень фигур чертежей в описании изобретения дается при их наличии в составе заявки.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения, излагаются в два этапа. На первом этапе устройство описывается в статическом режиме, в состоянии покоя. На втором же этапе этого раздела устройство описывается в действии, в динамическом режиме.

Входящий в состав заявки реферат представляет собой сокращенное изложение описания изобретения и по своему объему не должен превышать одной тысячи печатных знаков. Реферат начинается с названия изобретения и характеристики области техники, к которой он относится. Затем в свободном изложении в нем описыва-

ется сущность изобретения, его существенные признаки и достигаемый технический результат.

#### **5.4. Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите виды интеллектуальной собственности.
2. Что относят к объектам авторского права?
3. Перечислите объекты промышленной собственности.
4. Назовите критерии патентоспособности изобретений.
5. Почему полезные модели называют «малыми изобретениями»?
6. Какие бывают виды объектов изобретений?
7. В чем отличие патента от изобретения?
8. Перечислите типовые признаки устройств, способов.
9. Какой признак считается существенным?
10. Что представляет собой международная патентная классификация?
11. Состав пакета документов для подачи заявки на изобретение.
12. Структура формулы изобретения.
13. Дайте определение аналога и прототипа изобретений.
14. Что необходимо отразить при подготовке реферата?
15. Система патентной информации в России.

#### **5.5. Примеры и задачи**

1. Ниже дано описание изобретения к патенту 2300 450 С2 (RU) «Способ изготовления лакированной фольги прокаткой» авторов Арышенского В.Ю., Гречникова Ф.В., Каргина В.Р. по МПК 623К 20/04 С22F 1/04. Требуется выделить все части описания, написать формулу изобретения и реферат.

Изобретение относится к обработке металлов давлением, в частности, к изготовлению прокаткой лакированных листов и лент из алюминиевых сплавов.

Известен способ лакирования алюминия и его сплавов силумином, включающий зачистку контактных поверхностей основного и

плакирующего слоев, сборку пакета и совместную прокатку, причем основной слой предварительно упрочняют прокаткой до достижения сопротивления деформации, равного 0,7 - 0,9 сопротивления деформации плакирующего слоя (а.с. №923733, МПК В23К 20/04, БИ №16, 1982).

Недостатком способа является низкая прочность соединения слоев. Наиболее близким по технической сущности к заявленному способу является способ изготовления ленты для глубокой вытяжки (а.с. 1191230, МПК В23К 20/04, опубл. 1985 г., БИ 42), в котором используют пакет, включающий два плакирующих слоя, размещенных с двух сторон плакируемого слитка из алюминиевого сплава, нагрев, горячую и холодную многопроходную прокатку.

Недостатком этого способа является неравномерность распределения плакирующего слоя по длине и ширине фольги вследствие резкой анизотропии предварительно прокатанного текстурированного планшета и литого слитка.

В основу изобретения поставлена задача повышения качества сварки плакирующего планшета и слитка и обеспечения равномерного распределения плакирующего слоя по длине и ширине ленты.

Данная задача решается за счет того, что в способе изготовления плакированной фольги прокаткой, включающем сборку пакета, состоящего из плакирующих планшетов, размещенных с двух сторон слитка из алюминиевого сплава, нагрев, горячую и холодную многопроходную прокатку согласно изобретению используют силуминовые планшеты, анизотропия деформационных свойств которых равна анизотропии деформационных свойств слитка, а холодную прокатку заканчивают при температуре  $165 \pm 5^\circ\text{C}$  с последующим охлаждением на воздухе.

Кроме того, при плакировании используют силуминовые планшеты толщиной 2-6% от толщины пакета.

Существенными признаками заявленного объекта, подтверждающими новизну, являются: плакирование осуществляют силуминовыми планшетами, анизотропия свойств которых обеспечивает

идентичность с плакируемым слитком, развитие пластической деформации в процессе совместной горячей прокатки пакета.

В качестве показателей анизотропии деформационных свойств использованы коэффициенты поперечной деформации:

$\mu_j = \varepsilon_i / \varepsilon_j$ , где  $\varepsilon_i$  - истинная деформация сжатия по ширине образца при его линейном растяжении;

$\varepsilon_j$  - истинная деформация растяжения по ширине образца вдоль приложенной силы.

При определении анизотропии слитков и плакирующих планшеты образцы вырезались вдоль, поперек и под углом  $45^\circ$  к направлению прокатки. Способ осуществляется следующим образом: эффект повышения качества сварки плакирующего пакета со слитком и равномерности распределения плакирующего слоя по длине и ширине ленты достигается использованием для плакирования силуминовых пакетов, показатели анизотропии которых идентичны показателям анизотропии слябов.

Пример: из промышленных слитков сплава 3003 вырезались образцы в направлениях  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  относительно оси прокатки. В результате испытаний были определены показатели анизотропии деформационных свойств слитка  $\mu_j$   $\mu_{0^\circ} = 0,46$ ;  $\mu_{45^\circ} = 0,49$ ;  $\mu_{90^\circ} = 0,52$ . Затем по специальной методике рассчитывался состав текстуры силуминового темплета, который обеспечивает идентичные слитку показатели анизотропии. Определялся примерный режим обжатия силуминового слитка, исходя из которого определялся начальный размер силуминового слитка. Затем проводились гомогенизация, фрезеровка и нагрев под горячую прокатку силуминового слитка по специальным режимам, обеспечивающим получение в силуминовом темпете значения показателей анизотропии  $\mu_{0^\circ} = 0,46$ ;  $\mu_{45^\circ} = 0,49$ ;  $\mu_{90^\circ} = 0,52$ .

Полученные таким образом силуминовые планшеты закреплялись с двух сторон промышленного слитка из сплава 3003 и осуществлялась совместная горячая прокатка в рулон на толщину  $4,0 \pm 0,1$  мм. Затем рулон подвергают холодной прокатке до толщины ленты  $0,2-0,3$  мм с температурой конца проката, равной  $165 \pm 5^\circ\text{C}$  с охлаждением на воздухе.

Конкретные режимы и результаты измеренных коэффициентов анизотропии приведены в таблице 1.

Качество плакировки оценивали на холоднокатаной ленте путем отбора образцов по длине рулона от начала, середины и конца рулона. Затем из отобранных карточек вырезались образцы от краев и середины карточки для замера толщины плакирующего слоя. Схема отбора образцов приведена на чертеже. Расчетная толщина плакировки 4,5-5,0% от толщины ленты (допуск от 3 до 6%).

Результаты замеров приведены в таблице 2. Из таблицы видно, что самым оптимальным является второй предложенный маршрут изготовления, где прокатка силуминовых планшет осуществляется из слитков толщиной 320 мм с обязательной гомогенизацией, нагревом под горячую прокатку при температуре 500-520°C с обжатиями за проход 30-40 мм и концом горячей прокатки при температуре 330-340°C.

Использование предлагаемого способа по сравнению с известными позволяет получать равномерную плакировку как по длине, так и по ширине рулона. Данный способ позволяет повысить качество сварки плакирующего планшета и слитка.

Таблица 1

Маршруты изготовления ленты

№ маршрута	Способ изготовления	Начальная толщина силуминового сляба, мм	Гомогенизация силуминового сляба	Нагрев под прокатку, °С	Обжатие за проход, мм	Температура конца горячей прокатки, °С	$\mu_{0^\circ}$	$\mu_{45^\circ}$	$\mu_{90^\circ}$
1	известный	400	отсутствует	480-500	10-15	310-320	0,52	0,54	0,56
2	предложенный	300	520°C, 36 часов	500-520	30-40	320-330	0,44	0,46	0,51
3	предложенный	320	УЛО "С, 36 часов	500-520	30-40	330-340	0,46	0,49	0,52
4	предложенный	340	520°C, 36 часов	520-540	30-40	340-360	0,47	0,51	0,53

## Толщина лакирующего слоя

№ маршрута	Процент (%) толщины лакирующего слоя								
	Начало рулона			Середина рулона			Конец рулона		
	Левая кромка	Середина	Правая кромка	Левая кромка	Середина	Правая кромка	Левая кромка	Середина	Правая кромка
1	2,0	3,0	1,5	3,0	4,5	2,5	2,2	2,8	1,8
2	3,5	5,0	3,8	4,0	5,0	4,2	3,8	4,2	4,5
3	4,3	5,0	4,5	4,8	5,2	4,5	4,8	5,0	4,5
4	5,1	5,6	5,1	5,3	5,8	5,2	5,2	5,5	5,2

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества / А.И. Половинкин. - М.: Машиностроение. 1988.
2. Чус, А.В. Основы технического творчества / А.В. Чус, В.И. Данченко. - Киев: Вища школа, 1983.
3. Каргин, В. Р. Основы системного проектирования и совершенствования процессов обработки металлов давлением / В.Р. Каргин. - Куйбышев: КУАИ, 1990.
4. Альтшуллер, Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач / Г.С. Альтшуллер. - Новосибирск: Наука, 1991.
5. Михелькевич, В. Н. Основы научно-технического творчества / В.Н. Михелькевич, В.М. Радомский. - Ростов н/Д: Феникс, 2004. – Сер. «Высшее профессиональное образование».
6. Шестимиров, А. А. Составление заявок на изобретение в Российской Федерации / А.А. Шестимиров. - М., 1996.
7. Радомский, В. М. Компьютерная технология технического творчества / В.М. Радомский. - М., 1995.
8. Моисеева, Н. К. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа / Н.К. Моисеева, М.Г. Каркунин. - М., 1998.
9. Голдовский, Б. И. Рациональное творчество / Б.И. Голдовский, М.И. Вайнерман. - М., 1990.
10. Лук А. Н. Психология творчества. М. 1978.
11. Тринг М., Лейтуэйт Э. Как изобретать? М. 1980.
12. Соболев П. А. Как научиться изобретать. Ужгород. 1973.
13. Саламатов Ю. П. Как стать изобретателем. М.: Просвещение. 1990.
14. Альтов Г. И тут появился изобретатель. М.: Детская литература. 1989.
15. Фусенко А. И. и др. Основы научно – технического творчества, изобретательства и рационализаторской работы. М.: Высшая школа. 1989.
16. Регицкий В. И. Профессия – изобретатель. М.: Просвещение. 1988.
17. Повилейко Р. П. Инженерное творчество. М.: Знание. 1977.

18. Моисеева Н. К. Выбор технических решений при создании новых изделий. М.: Машиностроение, 1980.
19. Альтшуллер Г. С. Творчество, как точная наука. М. 1979.
20. Альтшуллер, Г.С. Профессия – поиск нового / Г.С. Альтшуллер, Б.Л. Золотин, В.И. Филатов. – Кишинёв, 1985.
21. Мюллер, И. Эвристические методы в инженерных разработках / И. Мюллер. - М.: Радио и связь, 1984.
22. Техническое творчество как основа профессиональной подготовки учащихся профтехучилищ / [В.Л.Худяков и др.]. - М.: Высшая школа, 1989.
23. Корчагин, А.Д. Как защитить интеллектуальную собственность в России / А.Д. Корчагин, В.Б.Тапьянский, Е.П. Полищук. - М., 1995.
24. Макагонова, Н. В. Авторское право / Н.В. Макагонова. - М., 1999.

Учебное издание

*Александр Петрович Быков  
Владимир Родионович Каргин*

## **ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА**

*Учебное пособие*

Редактор Ю.Н. Литвинова  
Корректорская обработка Ю.Н. Литвинова

Подписано в печать: 30.03.2009  
Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная. Печ. л. 6,5.  
Тираж 150 экз. Заказ № 76                      Арт. С- 32/2009

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34