

Владимир Петров



# ОСНОВЫ ТРИЗ

Теория решения  
изобретательских задач.  
Издание 2-е, исправленное  
и дополненное

Владимир Петров

**Основы ТРИЗ. Теория решения  
изобретательских задач. Издание  
2-е, исправленное и дополненное**

«Издательские решения»

**Петров В.**

Основы ТРИЗ. Теория решения изобретательских задач. Издание 2-е, исправленное и дополненное / В. Петров — «Издательские решения»,

ISBN 978-5-44-933726-9

2-е издание учебника посвящено системному изложению теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). В книге рассмотрены методы постановки и решения нестандартных задач, законы развития систем, верный анализ, способы выявления и разрешения противоречий, выявления и использования ресурсов. Материал иллюстрируется большим количеством примеров, задач и графического материала. Книга предназначена студентам, преподавателям, инженерам, изобретателям, ученым и людям, решающим творческие задачи.

ISBN 978-5-44-933726-9

© Петров В.  
© Издательские решения

# Содержание

|  |     |
|--|-----|
| Список сокращений                                  | 6   |
| Благодарности                                      | 8   |
| Введение   | 9   |
| Глава 1. ТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ     | 11  |
| 1.1. Введение                                      | 12  |
| 1.2. Метод «проб и ошибок»                         | 13  |
| 1.3. Психологическая инерция                       | 16  |
| 1.5. Самостоятельная работа                        | 23  |
| Глава 2. ОБЗОР ТРИЗ                                | 24  |
| 2.1. Что такое ТРИЗ?                               | 25  |
| 2.2. Уровни изобретений                            | 27  |
| 2.3. Функции ТРИЗ                                  | 31  |
| 2.4. Структура ТРИЗ                                | 32  |
| 2.5. Использование инструментов ТРИЗ               | 36  |
| 2.6. Изобретательское мышление                     | 39  |
| 2.7. ТРИЗ в мире                                   | 41  |
| 2.8. Контрольные вопросы                           | 42  |
| Глава 3. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД                          | 43  |
| 3.1. Основные определения системного подхода       | 44  |
| 3.2. Системность                                   | 55  |
| 3.3. Системный оператор                            | 58  |
| 3.4. Учет влияний                                  | 62  |
| 3.5. Системный подход при проектировании           | 63  |
| 3.6. Выводы  | 74  |
| 3.7. Самостоятельная работа                        | 75  |
| Глава 4. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ                    | 77  |
| 4.1. Общие представления                           | 79  |
| 4.2. Закон S—образного развития систем             | 81  |
| 4.2.2. Огибающие кривые                            | 83  |
| 4.3. Структура законов развития технических систем | 85  |
| 4.4. Законы организации систем                     | 87  |
| 4.5. Законы эволюции систем                        | 97  |
| Конец ознакомительного фрагмента.                  | 117 |

# **Основы ТРИЗ**

## **Теория решения изобретательских задач.**

### **Издание 2-е, исправленное и дополненное**

**Владимир Петров**

© Владимир Петров, 2020

ISBN 978-5-4493-3726-9

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

**Рецензенты:**

Заведующий кафедрой Управления инновациями в реальном секторе экономики ГУУ,  
доктор экономических наук, профессор Волков А. Т.

Заведующий кафедрой Управления инновациями в реальном секторе экономики ГУУ,  
доктор экономических наук, профессор Волков А. Т.

Данный учебник посвящен системному изложению теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). В книге подробно рассмотрены методы постановки нестандартных задач и способы их решения, законы развития систем, методика прогнозирования развития систем, структурный анализ и синтез систем, методы моделирования систем, способы выявления и разрешения противоречий, методика выявления и использования ресурсов.

Теоретический материал иллюстрируется большим количеством примеров, задач и графического материала (более 300 примеров и задач и более 300 иллюстраций). Описывается более 300 понятий. В конце каждой главы представлен материал для самостоятельной работы.

Книга подготовлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по специальности 222000 Инноватика: по учебной дисциплине «Алгоритмы решения нестандартных задач».

Книга предназначена для студентов инженерных специальностей. Она также может быть полезна инженерам и изобретателям, ученым, преподавателям университетов и людям, решающим творческие задачи.

## Список сокращений

- АРИЗ** – алгоритм решения изобретательских задач;  
**АП** – административное противоречие;  
**а. с.** – авторское свидетельство (документ, утверждающий авторское право на изобретение). Выдавался в СССР;  
**БД** – база данных;  
**В** – вещество;  
**ВНР** – вещественно-полевые ресурсы;  
**ГФ** – главная функция;  
**ДР** – другие решения;  
**ЗРТС** – законы развития технических систем;  
**И** – инструмент;  
**ИН** – измененная надсистема;  
**ИС** – изобретательская ситуация;  
**ИКР** – идеальный конечный результат;  
**ИР** – идея решения (рис. 6.44);  
**ИР** – журнал «Изобретатель и рационализатор»;  
**ИФ** – информационный фонд;  
**КП** – конфликтующая пара;  
**КР** – корректировка решения;  
**КС** – компоненты системы;  
**М** – модель задачи;  
**МА ТРИЗ** – международная Ассоциация ТРИЗ;  
**МЗ** – мини-задача;  
**ММЧ** – моделирование маленькими человечками;  
**НИОКР** – научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа;  
**НПР** – неправильное выполнение шагов;  
**НЭ** – нежелательный эффект;  
**О** – объект (изделие);  
**ОВ** – оперативное время;  
**ОЗ** – оперативная зона;  
**ОП** – оперативный параметр;  
**ОР** – оценка решения  
(рис. 6.27, 6.58);  
**ОР** – ожидаемый результат (рис. 6.31);  
**ОУ** – операционный усилитель;  
**ОФ** – основная функция;  
**ОХР** – оценка хода решения;  
**П** – поле;  
**ПА** – прямая аналогия;  
**ПЗ** – подзадача;  
**ПН** – применение системы по-новому;  
**Пр** – правильное выполнение шагов;  
**ПЭ** – положительный эффект;  
**Р** – решение задачи;  
**Р** – реальность (см. Метод золотой рыбки);  
**РИ** – развитие идеи;

**РВС** – размер – время – стоимость;  
**РТВ** – развитие творческого воображения;  
**С** – свойство системы;  
**СИ** – состояние инструмента;  
**СК** – состояние конфликта;  
**СМ** – структурная модель;  
**СР** – структурное решение;  
**ТП** – техническое противоречие;  
**ТРИЗ** – теория решения изобретательских задач;  
**ТРТЛ** – теория развития творческой личности;  
**ТРТК** – теория развития творческих коллективов;  
**ТС** – техническая система;  
**УК** – усиленный конфликт;  
**УОФ** – уточненная основная функция системы;  
**УФК** – усиленная формулировка конфликта;  
**Ф** – фантазия (см. Метод золотой рыбки);  
**УИКР** – усиление формулировки ИКР-1;  
**ФН** – формальная новизна;  
**ФП** – физическое противоречие;  
**ФР** – физическое решение;  
**ФСА** – функционально-стоимостный анализ;  
**ХР** – ход решения задачи;  
**Х-эл-т** – икс-элемент.

## **Благодарности**

Я премного благодарен Генриху Альтшуллеру, автору теории решения изобретательских задач – ТРИЗ, моему учителю, коллеге и другу, за то, что он создал эту увлекательную теорию. Признателен ему за незабываемое время, проведенное вместе с ним и за то, что он изменил мою жизнь, сделал ее разнообразней и интересней. Некоторые из материалов этой книги обсуждались с Генрихом Альтшуллером.



## Введение

*Теория решения изобретательских задач – это новая технология творчества, при которой процесс мышления не хаотичен, а организован и четко управляем.*

*Г. С. Альтшуллер*

Перед Вами, дорогой читатель, учебник «Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ)».

Книга подготовлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по специальности 222000 Инноватика: по учебной дисциплине «Алгоритмы решения нестандартных задач».

Данный учебник ставит задачу дать знания и умения в постановке и решении нестандартных задач, прогнозировании развития технических систем (ТС) и развитии творческого мышления.

Книга содержит введение, 8 глав, заключение и приложения.

**Введение.** Описывает предназначение и структуру книги, а также рекомендации по эффективному ее использованию.

**Глава 1** посвящена традиционной технологии решения задач. Прежде всего, показывается место изобретательства в инженерной деятельности. Рассматриваются достоинства и недостатки этой технологии, а также присущие ей метод проб и ошибок, психологическая инерция и отсутствие изобретательского подхода. Показаны виды психологической инерции и способы ее преодоления, необходимость изобретательского мышления (ТРИЗного мышления).

**Глава 2** описывает общие представления о ТРИЗ. Это обзор ТРИЗ с высоты птичьего полета. В этой главе излагаются постулаты ТРИЗ, уровни изобретений, структура и функции ТРИЗ, составляющие изобретательского мышления и способы их развития, алгоритм применения инструментов ТРИЗ и развитие ТРИЗ в мире.

**Глава 3** посвящена системному подходу. В ней даются основные понятия системного подхода, определение системы, технической системы, иерархии, функции и потребности. Описаны основные принципы системного подхода, его инструменты, функциональный подход, комплексно-структурный подход, последовательность разработки новых систем. Приводятся примеры разработки новых систем. Разбирается один из простейших инструментов системного подхода – системный оператор.

В **главе 4** излагаются системы законов Г. С. Альтшуллера и автора книги. Детально рассматривается каждый из законов, закономерностей и линий развития систем. Описана методика прогнозирования развития ТС, разработанная автором книги, приводится пример прогноза развития конкретной ТС.

**Глава 5** посвящена структурному анализу и синтезу систем, который Г. С. Альтшуллер назвал *вепольным анализом*.

**Глава 6** описывает алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). Даются определения всех видов противоречий, идеального конечного результата (ИКР), основная линия решения задач по АРИЗ. Особое внимание уделяется логике АРИЗ. Это материалы, предшествующие рассмотрению практического АРИЗ и АРИЗ-85В. Детально рассматривается практический АРИЗ, разработанный автором книги.

**Глава 7** посвящена информационному фонду ТРИЗ, в который входят приемы разрешения противоречий, различные виды эффектов (физические, химические, биологические и гео-

метрические), стандарты на решение изобретательских задач и ресурсы. В главе детально описываются каждый из этих инструментов, а также методика их использования.

В главе 8 излагаются методы развития личности и коллектива. К ним относятся методы развития изобретательского мышления, теория развития творческой личности (ТРТЛ) и теория развития творческих коллективов (ТРТК). Дается обзор методов развития творческого воображения (РТВ) и подробно описываются оператор размер-время-стоимость (РВС) и метод моделирования маленькими человечками (ММЧ). Кратко излагаются ТРТЛ и ТРТК.

В заключении приводятся рекомендации по эффективному использованию инструментов ТРИЗ, по совершенствованию знаний, умений и отработке навыков применения ТРИЗ, а также развитию изобретательского мышления.

**Приложение 1** содержит текст практического АРИЗ.

**Приложение 2** посвящено разбору задач.

**Приложение 3** дает ссылки на основные сайты ТРИЗ.

Книга является вводной. Она знакомит читателя с основными понятиями и инструментами ТРИЗ. Информации, содержащейся в книге, достаточно для получения общих знаний о ТРИЗ и ее практического использования.

Книга написана в последовательности, в которой рекомендуется осваивать ТРИЗ.

Каждая глава начинается с описания ее структуры и предназначения. Элементы этой структуры рассматриваются в параграфах и подпараграфах.

Теоретический материал иллюстрируется большим количеством примеров, задач и графического материала (около 300 примеров и задач и около 400 иллюстраций). Описываются более 300 понятий, в конце каждой главы дается материал для самостоятельной работы.

Книга предназначена для студентов и аспирантов инженерных специальностей. Она также может быть полезна преподавателям университетов, инженерам, изобретателям, ученым и людям, решающим творческие задачи.

**Желаю успехов, ДОРОГОЙ ЧИТАТЕЛЬ, в освоении столь необходимой и увлекательной науки, называемой ТРИЗ.**

В заключение этого параграфа хотелось процитировать мысль великого английского философа, родоначальника английского материализма, основоположника эмпиризма, лорд-канцлера при короле Якове I, барона Веруламского и виконта Сент-Олбанского **Фрэнсиса Бэкона** (*Francis Bacon*)

[22 января 1561 – 9 апреля 1626].

*Читай не затем, чтобы противоречить и опровергать, не затем, чтобы принимать на веру; и не затем, чтобы найти предмет для беседы; но чтобы мыслить и рассуждать.*

**Фрэнсис Бэкон**

# Глава 1. ТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

*Принцип Компетентности по Питеру: чтобы избежать ошибок, надо набираться опыта; чтобы набираться опыта, надо делать ошибки.*

**Содержание главы 1:**

**1.1. Введение**

**1.2. Метод проб и ошибок**

**1.3. Психологическая инерция**

**1.4. Отсутствие системного мышления**

## 1.1. Введение

Потребность в изобретательстве была у человечества всегда.

Истоки изобретательства уходят своими корнями в глубокую древность. Для добычи пищи и защиты наши далекие предки первоначально пользовались объектами, «изготовленными» природой: камни, палки и т. д. Поэтому первые «изобретения» были ориентированы на применение известных в природе «устройств», веществ и способов. Процесс изобретательства в те далекие времена заключался в наблюдении и удаче (случайности) нашего предка. Кто-то обратил внимание, что острым камнем или рогом можно обрабатывать землю или шкуру животных, можно использовать огонь после лесных пожаров и т. д.

Так, судоходство, скорее всего, началось с момента, когда человек заметил, что бревно, находящееся в воде, может поддерживать его на плаву, а судостроение берет начало с изобретения первого плота. Еще в древности человек использовал водные пути рек и морское пространство для передвижения. Особенно интенсивно морское дело развивалось в рабовладельческом обществе.

Изобретение колеса в корне изменило способы передвижения по суше.

Изобретения характерны для многих областей деятельности: строительство, архитектура, литература, искусство, сельское хозяйство, спорт и т. д. В каждом из этих видов имеются свои нововведения. Так история нововведений в изобразительном искусстве связана с изобретением перспективы, новых видов красок, новых направлений и т. д.

Безусловно, особую роль изобретательство играет в инженерной деятельности.

Инженер происходит от французского «*ingénieur*» и латинского слова «*ingenium*» – *изобретательность*, а также *врожденная способность, дарование, ум*.

Изобретательские способности необходимы инженеру не только при разработке принципиально новых решений, которые, как правило, оформляются в виде патентов, но и на этапах проектирования, создания опытных образцов, разработки серийных и массовых изделий, эксплуатации и утилизации оборудования. На всех этапах возникают задачи, которые для решения требуют изобретательства.

В связи с этим актуальным становится знание методов изобретательства и умение их использования в различных ситуациях.

## 1.2. Метод «проб и ошибок»

Выясним, зачем нужна «технология решения задач»?

Вы можете справедливо сказать, что все мы каждый день, решая задачи без всякой технологии, справляемся с ними. Зачем нам какая-то «технология решения задач»?

Действительно, когда специалист решает известный ему тип задачи из области его знаний, то он это делает быстро и на профессиональном уровне. Этот рутинный процесс показан на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Процесс решения известного типа задачи

Другое дело, если перед специалистом стоит задача нового типа – ничего подобного он ни разу в жизни не решал. Он пытается ее решать, но «упирается в стенку», появляется непреодолимый барьер (рис. 1.2). Специалист не может получить решение потому, что ему не хватает знаний и опыта.



Рис. 1.2. Процесс решения неизвестного типа задачи

Давайте разберемся, как в этом случае обычно решают задачи?

Решение любых задач, а тем более, творческих, изобретательских, в нашем представлении связано с перебором большого количества вариантов (рис. 1.3).

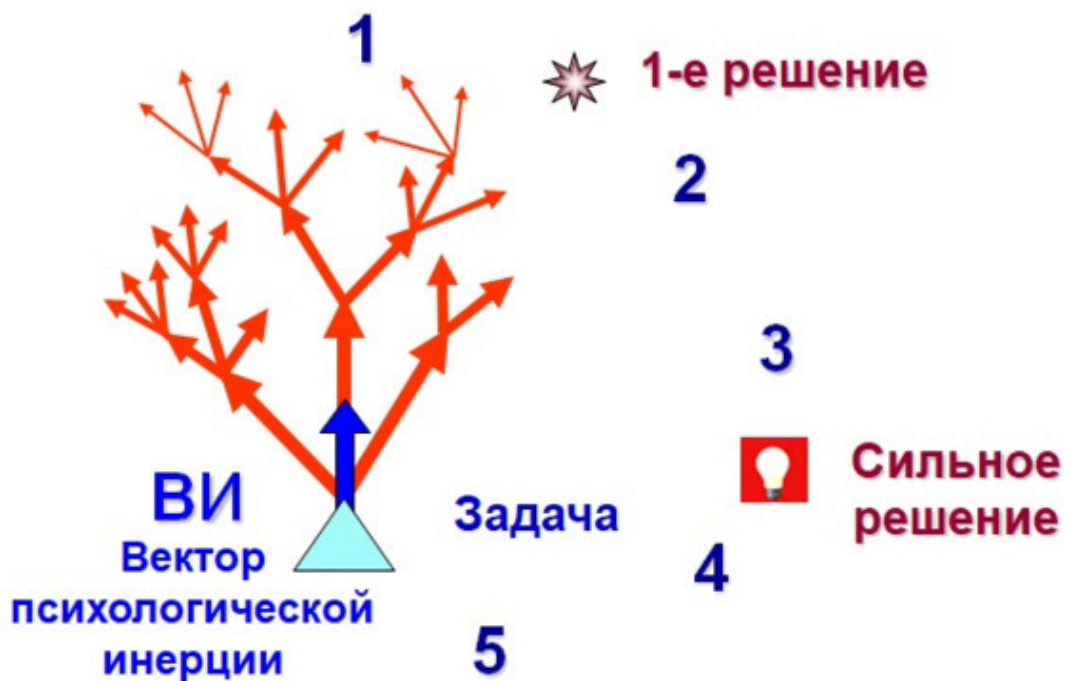


Рис. 1.3. Метод «проб и ошибок»

Попробовали решать задачу, двигаясь в одном направлении, – не вышло, попробовали чуть изменить направление, тоже не вышло. Вернулись в исходную точку и выбрали другое направление. Снова попытались решить задачу, и снова потерпели неудачу. И вот на какой-то пробе получили первое решение. Как правило, это решение достаточно низкого уровня. Оно чаще всего лежит на поверхности.

Обычно используют именно это решение. Реже процесс решения продолжается, и снова совершаются очередные пробы и очередные ошибки.

В науке такой процесс решения задач перебором вариантов называют **метод «проб и ошибок»**.

На решение задач методом «проб и ошибок» уходит слишком много времени и полученные результаты не всегда являются наилучшими.

Условно все решения задач можно разделить на 5 уровней. Первый уровень – самый низкий, а пятый – самый высокий.

Чем выше уровень решения, тем больше проб нужно сделать. Так для решения 1-го уровня необходимо совершить не более 10 проб, а для получения решения 5-го уровня не менее 1 миллиона проб. Подробно уровни решений описаны в параграфе 2.2.

Как правило, используя метод «проб и ошибок» получают решения 1-го, реже 2-го уровня.

Попробуем разобраться почему, используя метод «проб и ошибок», получают слабые решения. Решая задачи, специалист, прежде всего, опирается *на свои знания и опыт*. Это хорошо, когда он решает известные ему типы задач. При решении принципиально новых задач, такой опыт подсказывает уже известные пути, которые в данном случае не помогают, а тормозят процесс. Эти решения, как правило, уже были опробованы, иначе задача была бы решена. Такой опыт оказывает «медвежью услугу». Память подсказывает уже известные решения, навязанные *психологической инерцией*. Это понятие также называют «**инерция мышления**» или «**психологический барьер**». Поэтому **вектор психологической инерции** всегда направлен в сторону решений низкого уровня (слабых решений) – решений 1-го, реже 2-го уровней.

Решая задачи методом «проб и ошибок», мы тратим много времени и далеко не всегда получаем лучшие результаты, а полученные решения, как правило, являются дорогими.

## 1.3. Психологическая инерция

Приступая к решению новой задачи, мы невольно пытаемся применить уже известные нам решения, методики или понятия. Эта «услужливая» память подсказывает пути, ранее используемые нами, то есть заставляет идти по «проторенной дорожке». Вот это-то явление и получило название **психологическая инерция**.

Таким образом, **психологическая инерция** – явление при котором непроизвольно используют известные решения, методы, действия и т. д., опирающиеся на предыдущий опыт. Это хорошо, когда решаются известные, для специалиста, типы задач – это рутинный процесс. При этом не нужно тратить время на то, что известно. Однако, если решаются задачи новых типов, то психологическая инерция является помехой.

Для устранения психологической инерции имеются специальные методы.

Опишем некоторые из причин появления психологической инерции:

- **употребление специальных терминов;**
- **параметрические представления, например, пространственно-временные представления об объекте;**
- **система ценностей;**
- **употребление привычного принципа действия;**
- **употребление привычной формы;**
- **традиции (профессиональные, корпоративные, национальные, территориальные, религиозные и т. п.).**

### 1.3.1. Употребление специальных терминов

Одна из причин появления психологической инерции – употребление привычных **терминов**, приводимых в условиях задачи. Мы мыслим понятиями, и термины незаметно «толкают» нас в направлении уже известных решений.

#### Пример 1.1. Ледокол

Рассматривая, например, задачу с передвижением ледокола во льдах, мы уже невольно представляем определенную «технологию» передвижения во льдах. «*Ледокол*» – значит, лед необходимо колоть. Хотя может быть его лучше резать, пилить, взрывать или двигаться подо льдом, надо льдом или сквозь лед?

*Преодоление* этого вида психологической инерции может осуществляться *путем перехода к более общим терминам или функциям*, которые выполняют эти объекты. Таким образом, нужно определить в какую систему входит данный объект, определить функцию, которую выполняет данный объект. Этого уже может быть достаточно, чтобы избавиться от психологической инерции. Может быть, придется определить надсистему, в которую входит данная система и определить ее функцию. Эту операцию можно продолжить – выйти в наднадсистему и т. д. Избавление от специальных терминов описывается в АРИЗ (п. 6.10.2).

#### Пример 1.1. Ледокол (продолжение)

Разберем термин *ледокол*. Его функция *колоть лед*. Более общая функция – ломать лед, *разрушать лед*. Можно выявить все способы разрушения льда. Мы уже упоминали выше: резать, пилить, взрывать. Можно добавить еще, например, плавить, растворять и т. д.

Теперь давайте выясним, зачем нам нужно разрушать лед? Для того, чтобы была возможность *проходить судам сквозь лед*. Значит необходимо определить другие способы про-



хода сквозь лед. Как мы отмечали раньше можно двигаться подо льдом, по льду, надо льдом или сквозь лед. Судну необходимо проходить сквозь лед, чтобы **преодолеть определенное пространство**. Значит, нужно выявить все возможные способы перемещения определенного груза из одного пункта в другой.

Таким образом, мы увидели много других способов преодоления пространства, и психологическая инерция термина не довлеет над нами.

### **Пример 1.2. Мясорубка**

Рассмотрим другой термин *мясорубка*. Значит, мясо нужно только рубить, а почему его не рвать или не разделять какими-то другими способами. Таким образом, можно говорить о «мясорвалке», «мясовзрывалке», а в общем случае «мясоразделялке». Известно, что если не нарушать структуры волокон мяса, то пища получается более вкусная и полезная.

### **1.3.2. Параметрические представления**

Психологическая инерция появляется с употреблением привычных для данной системы параметров.

### **Пример 1.3. Сверхзвуковой самолет**

В момент перехода самолетом звукового барьера (скорость самолета превышает скорость звука) на передней кромке образуется ударная волна.

На фронте ударной волны скачкообразно происходят кардинальные изменения свойств потока – давление и температура газа скачком возрастают. Все эти изменения тем больше, чем выше скорость сверхзвукового потока. При гиперзвуковых скоростях (число Маха = 5 и выше) температура газа достигает нескольких тысяч градусов. Так, например, шаттл «Колумбия» разрушился 1 февраля 2003 года из-за повреждения термозащитной оболочки, возникшего в ходе полета).

### **Пример 1.4. Фазовые изменения**

Изменяя температуру и давление, вода может превратиться в пар или лед.

Подобные изменения могут проводиться с любыми параметрами системы, при этом желательно выбирать наиболее существенные.

Для преодоления этого вида психологической инерции параметры повышают от заданных до бесконечности и уменьшают до нуля, а в некоторых случаях – до минус бесконечности.

С изменением условий до максимума или минимума зачастую происходят скачкообразные изменения свойств. Подробнее об этом будет описано в п. 8.1.3.

Психологическая инерция появляется с употреблением привычных **пространственно-временных представлений**, которые связываются с тем или иным объектом или процессом. Размеры объекта и продолжительность его действия либо прямо указаны в условиях задачи, либо подразумеваются сами собой.

Одним из способов **преодоления** этого вида психологической инерции, связанной с пространственно-временными и стоимостными представлениями, – использование **оператора РВС** (размер-время-стоимость), который рассматривается ниже (п. 8.1.3).

В общем случае этот вид психологической инерции связан с привычными значениями параметров системы. Для преодоления этого вида психологической инерции используют **параметрический оператор** – максимальное увеличение и уменьшение параметра и поиск новых решений. Примеры приведены в п. 8.1.3.

### 1.3.3. Традиция

Большое влияние на стиль нашей жизни, на моду, на способы приготовления пищи, на вид и содержание окружающих нас предметов, на стиль работы и мышления оказывает **традиция** (профессиональная, корпоративная, национальная, территориальная, религиозная и т. д.).

Покажем некоторые особенности национальной традиции.

#### Пример 1.5. Двигатель автомобиля

На одной из выставок демонстрировались двигатели для автомобилей, произведенные компаниями из различных стран.

*Французы* сделали двигатель с красивым внешним видом, на который было очень приятно смотреть. Чтобы разобрать этот двигатель, нужно было использовать, **семь различных инструментов**.

Корпус *немецкого* двигателя был тщательно обработан даже с внутренней стороны, где не требовалась обработка. Чтобы его разобрать, нужно было использовать **три инструмента**.

*Американский* двигатель был внешне не красив, внутренние стороны корпуса были обработаны только в необходимых местах. Для его разборки требовался только **один инструмент**.

#### Пример 1.6. Цветы в Альпах

В Швейцарских Альпах путника призывают не рвать цветы.

Призывы эти сделаны с учетом национальной психологии.

Надпись, сделанная *по-французски*, гласит: «*Наслаждайтесь цветами, но не обрывайте их!*».

На *английском языке* она звучит как вежливая просьба: «*Пожалуйста, не рвите цветы!*».

*Немецкое* запрещение категорично – «*Цветы не рвать!*».

Этот вид психологической инерции можно **преодолеть**, если рассмотреть, как можно **большее количество «решений»**, предлагаемых **другими специальностями, компаниями, странами, национальностями и религиями** и т. д. При этом необходимо **использовать самые лучшие решения**.

### 1.3.4. Система ценностей

Ценностные представления о вещах и понятиях (**система ценностей**) накладывают на них свое мировоззрение, которое мешает их увидеть в другом свете.

#### Пример 1.7. Вода

В странах, где много рек и озер, вода считается даровым ресурсом, а в пустыни каждый глоток воды ценится очень дорого.

**Преодоление** этого вида психологической инерции требует **изменить представление об имеющейся ценности**. Представить наиболее ценный объект рассмотрения неценным или наоборот, неценный – ценным и представить для себя следствия этого подхода.

### 1.3.5. Принцип действия

Пожалуй, с особым упорством психологическая инерция проявляется в сохранении прежнего принципа действия в новых изобретениях. Много таких примеров хранит история техники. Вспомним некоторые из них.

### **Пример 1.8. Первое паровое судно**

Первое паровое судно, построенное в конце XVIII века американским изобретателем Джоном Фитчем (John Fitch), приводилось в движение... веслами. Гребцы были заменены паровым двигателем, в остальном старый принцип действия корабля не изменился (рис. 1.4). А главное, что движитель (весла) были оставлены от старого судна.

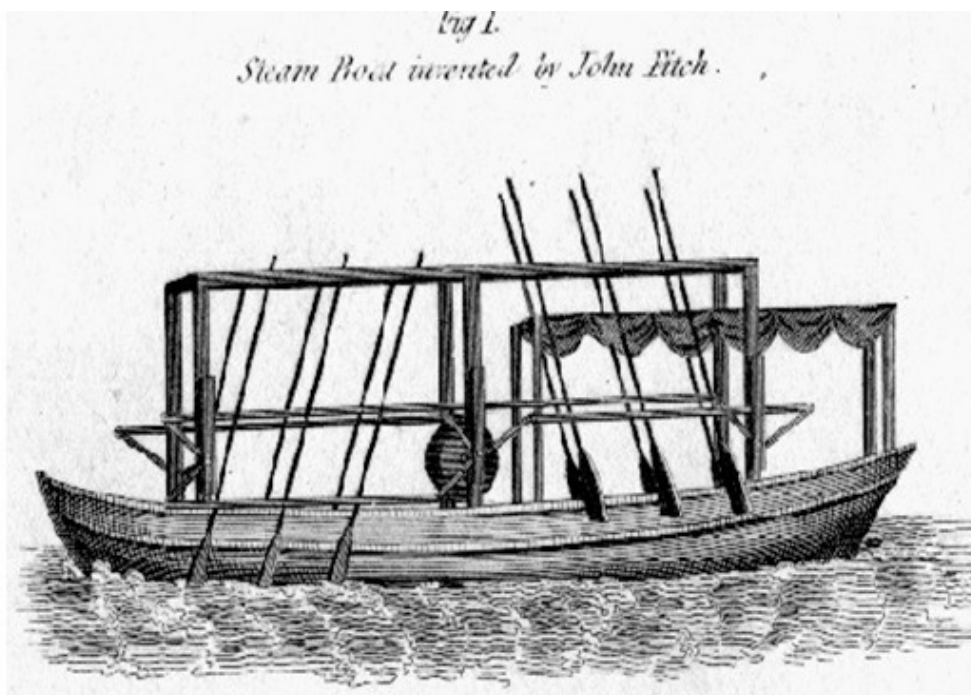


Рис. 1.4. Первый пароход

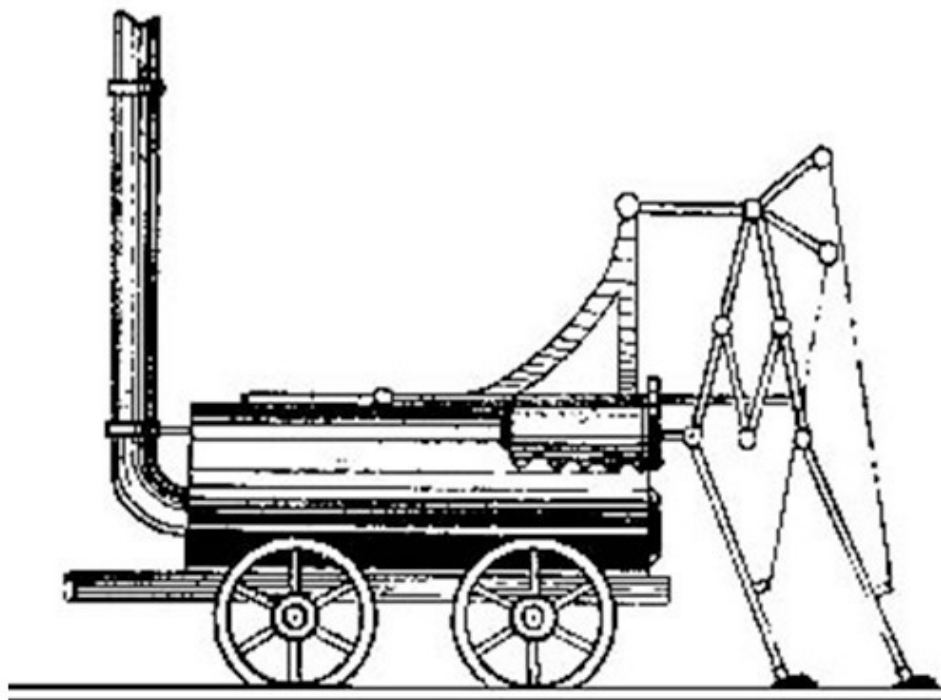
Первый пароход изобретен Джоном Фитчем в декабре 1786 г<sup>1</sup>.

### **Пример 1.9. Шагающий паровоз**

Паровоз, изобретенный Уильямом Бруном (William Brunton), использовал принцип действия лошади. В качестве движителя использовались не колеса, а ноги (рис. 1.5). С помощью их паровоз отталкивался. Брун получил патент 3 700, выданный 22 мая 1813 г.

---

<sup>1</sup> Рисунок с сайта <http://www.uh.edu/engines/epi14.htm>



**Рис. 1.5. Шагающий паровоз<sup>2</sup>**

**Преодоление** этого вида психологической инерции требует *функционального подхода*. Принцип действия подбирается, так, чтобы максимально эффективно выполнить функцию.

### **1.3.6. Форма**

Сохранение старой формы в новых изобретениях – один из наиболее распространенных видов психологической инерции.

Рассмотрим пример из истории техники.

#### **Пример 1.10. Первый автомобиль**

Первый автомобиль повторял форму привычной коляски. Паровой двигатель этого автомобиля был расположен впереди в специальном кожухе, выполненном в форме... крупа лошади. Интересно, что и управление этой машиной осталось традиционным. Повороты осуществлялись с помощью привычных... вожжей. Посмотрите на карикатуру того времени (рис. 1.6).

---

<sup>2</sup> Рисунок с сайта [http://etc.usf.edu/clipart/12700/12707/steamboat\\_12707.htm](http://etc.usf.edu/clipart/12700/12707/steamboat_12707.htm)



Рис. 1.6. Первый автомобиль<sup>3</sup>

**Преодоление** этого вида психологической инерции требует *функционального подхода*. Форма подбирается так, чтобы максимально эффективно выполнить *функцию и принцип действия*.

Однако, иногда старая форма может быть следствием психологической инерции потребителей, отдающих предпочтение привычному, традиционному представлению об изделии. Все большее распространение получают изделия в стиле «ретро». Кроме того, старые формы часто повторяются в моде.

Использование методов развития творческого воображения позволяет управлять психологической инерцией.

#### 1.4. Отсутствие системного мышления

Помимо психологической инерции традиционному мышлению свойственно **отсутствие системного мышления** (системного подхода).

Прежде всего, вспомним притчу.

##### Пример 1.11. Притча о слепцах

К слепым подвели по очереди слона и просили описать, что это такое (рис. 1.7).

Один из них потрогал ногу и сказал, что это что-то круглое и толстое, похожее на столб.

Другой потрогал хобот и сказал, что это что-то гибкое, похожее на змею.

Третий потрогал хвост и сказал, что это что-то тонкое, похожее на веревку.

Четвертый потрогал бок и сказал, что это похоже на стену.

<sup>3</sup> Рисунок из книги: Енё Р. Сабо. Революция машин. История промышленного переворота. Из-во. «Корвина». – Будапешт. 1979, С. 97.

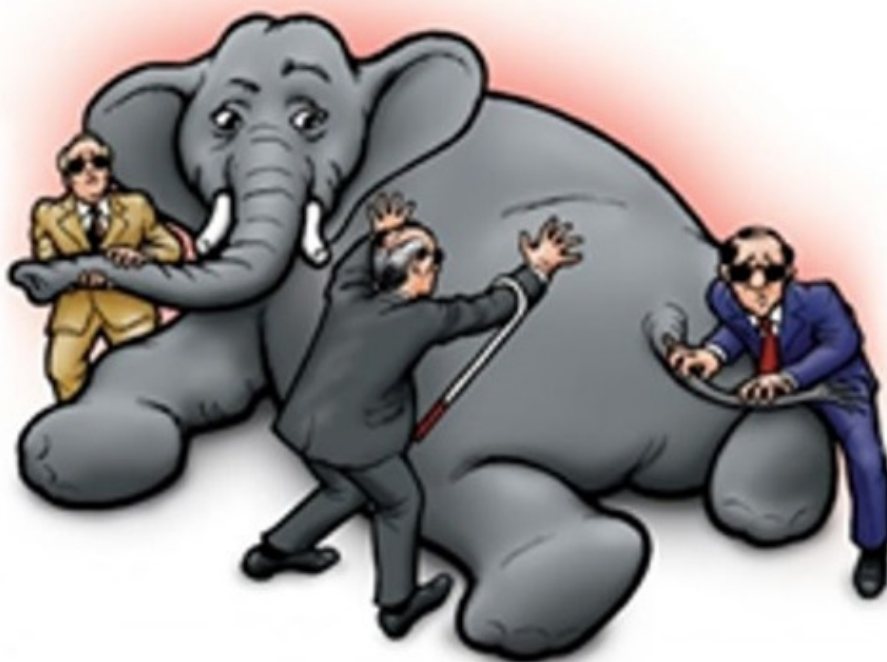


Рис. 1.7. Слепцы<sup>4</sup>

### **Пример 1.12. Миндас**

Царь Миндас с почетом принял в своем дворце учителя Диониса Силена, отставшего от Диониса. В награду Дионис предложил Миндасу выбрать себе любой дар.

Миндас воскликнул:

– О, великий бог Дионис, сделай так, чтобы все, к чему прикоснусь, превращалось в чистое, блестящее золото!

Миндас не подумал, что пища и его близкие тоже будут превращаться в золото.

Понятие системного мышления мы рассмотрим ниже (глава 3).

### **Выводы**

Использование традиционного метода проб и ошибок приводит к:

- неоправданно большим затратам времени и средств на проектирование и производство;
- невысокой вероятности получения идей требуемого уровня в выделенные сроки.

Очевидно, что необходима другая более прогрессивная технология получения идей. Такая технология создана русским ученым Г. С. Альтшуллером. Он назвал ее теория решения изобретательских задач (ТРИЗ).

---

<sup>4</sup> Рисунок с сайта <http://www.perunica.ru/raznoe/5649-pritcha-pro-slona-i-slepcov-dlya-teh-kto-lyubit-v-spore-iskat-istinu.html>

## **1.5. Самостоятельная работа**

### **1.5.1. Контрольные вопросы**

1. Какое место занимает изобретательство в инженерной деятельности?
2. Что такое метод «проб и ошибок»? Его достоинства и недостатки?
3. Что такое психологическая инерция? Расскажите о природе психологической инерции.

Какие виды психологической инерции вы можете привести?

### **1.5.2. Темы докладов и рефератов**

1. Роль метода «проб и ошибок» в изобретательстве.
2. Виды психологической инерции и способы преодоления ее.

### **1.5.3. Выполните задания**

1. Приведите примеры на разные виды психологической инерции. Покажите возможность преодоления каждого из видов психологической инерции.

## Глава 2. ОБЗОР ТРИЗ

*...ТРИЗ можно считать обобщением сильных сторон творческого опыта многих поколений изобретателей: отбираются и исследуются сильные решения, критически изучаются решения слабые и ошибочные.*

*Генрих Альтшуллер<sup>5</sup>*

**Содержание главы 2:**

**2.1. Что такое ТРИЗ?**

**2.2. Уровни изобретения**

**2.3. Функции ТРИЗ**

**2.4. Структура ТРИЗ**

**2.5. Изобретательское мышление**

**2.6. Использование инструментов ТРИЗ**

**2.7. ТРИЗ в мире**

---

<sup>5</sup> Альтшуллер Г. С. Теория решения изобретательских задач. Справка «ТРИЗ-88». <http://www.altshuller.ru/engineering16.asp>.



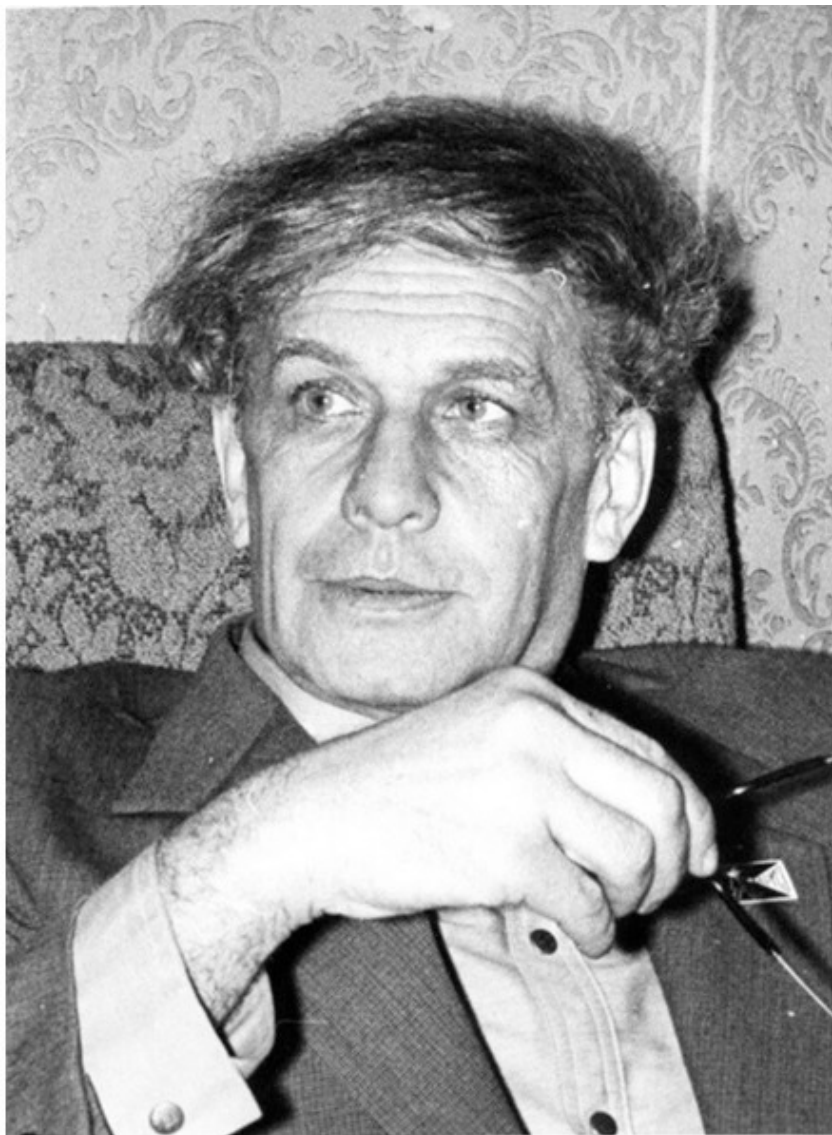
## 2.1. Что такое ТРИЗ?

**Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ)** – технология инноваций, при которой процесс творчества управляем, а не хаотичен.

Эта технология позволяет решать творческие задачи, используя специальные законы, методы, правила и инструменты.

Применение ТРИЗ развивает творческое (изобретательское) мышление, качества творческой личности, дает возможность смотреть на вещи и явления по-новому, находить нетривиальные, принципиально новые решения высокого уровня, что повышает эффективность творческого труда.

ТРИЗ разработал ученый и изобретатель из России **Генрих Саулович Альтшуллер**, который был так же писателем-фантастом, известным под псевдонимом *«Генрих Альтов»*. Альтшуллер первый осознал необходимость создания технологии, позволяющей отказаться от метода «проб и ошибок» и направленно искать решение.



**Генрих Саулович Альтшуллер**  
1926—1998 гг.

Г. С. Альтшуллер проанализировал десятки тысяч патентов и сформулировал основные постулаты ТРИЗ:

**1. Техника развивается закономерно. При решении задач и развитии систем необходимо использовать законы развития технических систем.**

**2. Любую изобретательскую задачу можно классифицировать и в соответствии с видом задачи выбрать вид решения.**

**3. Для решения сложных изобретательских задач необходимо выявить и разрешить противоречие, находящееся в глубине задачи.**

Постулаты ТРИЗ указывают на принципиальное отличие изобретательского мышления от рутинного. При *рутинном* мышлении ищется **компромисс**, т. е. улучшение одних параметров за счет ухудшения других. В *изобретательском* мышлении выявляют **противоречие**, лежащее в глубине задачи. Углубляя и обостряя противоречие, определяют первопричины, породившие данное противоречие. Разрешая противоречие, получают результат практически без недостатков.

## 2.2. Уровни изобретений

В процессе анализа патентного фонда Г. С. Альтшуллер понял, что изобретения имеют разные уровни. Он решил разделить их на 5-ть уровней. Так как изобретение – это конечный результат решения определенной задачи, то в дальнейшем мы будем говорить об уровнях решения задачи. Альтшуллер также называл их уровнями творчества.

Приведем классификацию уровней творчества, предложенную Г. С. Альтшуллером<sup>6</sup>

Первый уровень – самый низкий, а пятый самый высокий.

Как правило, используя «Метод проб и ошибок» получают решения первого, реже второго уровня. Чем выше уровень решения, тем больше проб нужно совершить.

Уровень решения определяется по степени оценки этапов творческого процесса.

Г. С. Альтшуллер описывал следующие этапы:

**А. Выбор задачи.**

**Б. Выбор поисковой концепции.**

**В. Сбор информации.**

**Г. Поиск идеи решения.**

**Д. Развитие идеи в конструкцию.**

**Е. Внедрение.**

Полностью структурная схема творческого процесса приведена ниже в табл. 2.1.

Сегодня можно говорить о еще одном очень важном этапе инновационного процесса – это **сбыт**, под которым понимается все аспекты маркетинга, например, реклама и количество продаж. Ниже будет подробно рассмотрено, чем отличаются уровни изобретения в классификации Г. С. Альтшуллера, а пока опишем наиболее характерные черты:

**1-й уровень: использование готового объекта без выбора или почти без выбора;**

**2-й уровень: выбор одного объекта из нескольких;**

**3-й уровень: частичное изменение выбранного объекта;**

**4-й уровень: создание нового объекта (или полное изменение исходного);**

**5-й уровень: создание нового комплекса объектов.**

Теперь рассмотрим уровни более детально.

**Решение 1-го уровня**, при использовании метода проб и ошибок получают достаточно быстро, практически первое из пришедших на ум. Как правило, затрачивают не более **10 проб**. Это решение известной задачи, с применением известной поисковой концепции, используя имеющуюся у нас известную информацию. При этом опираются на готовое решение (испытанная технология, существующая конструкция).

**Решение 2-го уровня** – использование до **100 проб**. Выбирается одна из нескольких задач, которая решается одной из нескольких концепций, собирается информация из нескольких источников информации, выбирается одно из нескольких решений (одна из нескольких технологий, одна из нескольких конструкций).

**Решение 3-го уровня** – использование до **1000 проб**. Изменена исходная задача, поисковая концепция изменена применительно к условиям задачи. Собранная информация изменена применительно к условиям задачи, изменено известное решение (изменена известная технология и / или конструкция).

---

<sup>6</sup> Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. 2-е изд. – М: Московский рабочий, 1973. С. 23—47. Альтшуллер Г. С. Уровни изобретений. URL: <http://www.altshuller.ru/triz/levels.asp>.

| Уровень | А                                | Б  | В   | Г                                  | Д                                      | Е   |
|---------|----------------------------------|--|---|------------------------------------|--|---|
|         | Найдена новая проблема           | Найден новый метод   | Получены новые данные, относящиеся к проблеме                 | Найден новый принцип               | Созданы новые конструктивные принципы  | Изменена вся система, в которую вошла новая конструкция |
|         | Найдена новая задача             | Найдена новая поисковая концепция                            | Получены новые данные, относящиеся к задаче                   | Найдено новое решение              | Создана новая конструкция              | Конструкция применена по-новому                         |
|         | Изменена исходная задача         | Поисковая концепция изменена применительно к условиям задачи | Собранная информация изменена применительно к условиям задачи | Изменено известное решение         | Изменена исходная конструкция          | Внедрена новая конструкция                              |
|         | Выбрана одна из нескольких задач | Выбрана одна поисковая концепция из нескольких               | Собраны сведения из нескольких источников                     | Выбрано одно решение из нескольких | Выбрана одна из нескольких конструкций | Внедрена модификация готовой конструкции                |
|         | Использована готовая задача      | Использована готовая поисковая концепция                     | Использованы имеющиеся сведения                               | Использовано готовое решение       | Использована готовая конструкция       | Внедрена готовая конструкция                            |
|         | Выбор задачи                     | Выбор поисковой концепции                                    | Сбор информации   | Поиск идеального решения           | Развитие и идеализация конструкции     | Этапы   |
|         |                                  |  |   |                                    |  | Внедрение   |

Таблица 2.1. Процесс изобретательского творчества<sup>7</sup>. Структурная схема

**Решение 4-го уровня** – использование тысяч, десятков тысяч и, до 100 000 проб. Найдена новая задача, найдена новая поисковая концепция, получены новые данные, относящиеся к задаче, найдено новое решение (новая технология и / или новая конструкция).

**Решение 5-го уровня** – использование более сотен тысяч и миллионов проб. Количество проб может быть **бесконечным**. Это уровень **пионерских решений** (*автомобиль, радио, телевизор, компьютер* и т. д.) или **открытия** (*квантовая теория, полупроводники, пенициллин, клонирование* и т. д.).

Г. С. Альтшуллер проанализировал изобретения по 14 классам за 1965 и 1969 годы. Анализ дал следующее соотношение<sup>8</sup> (рис. 2.1).

- 1-й уровень 32%
- 2-й уровень 45%
- 3-й уровень 19%
- 4-й уровень менее 4%
- 5-й уровень менее 0,3%

<sup>7</sup> Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. 2-е изд. – М: Московский рабочий, 1973. С. 32.

<sup>8</sup> Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. С. 36.

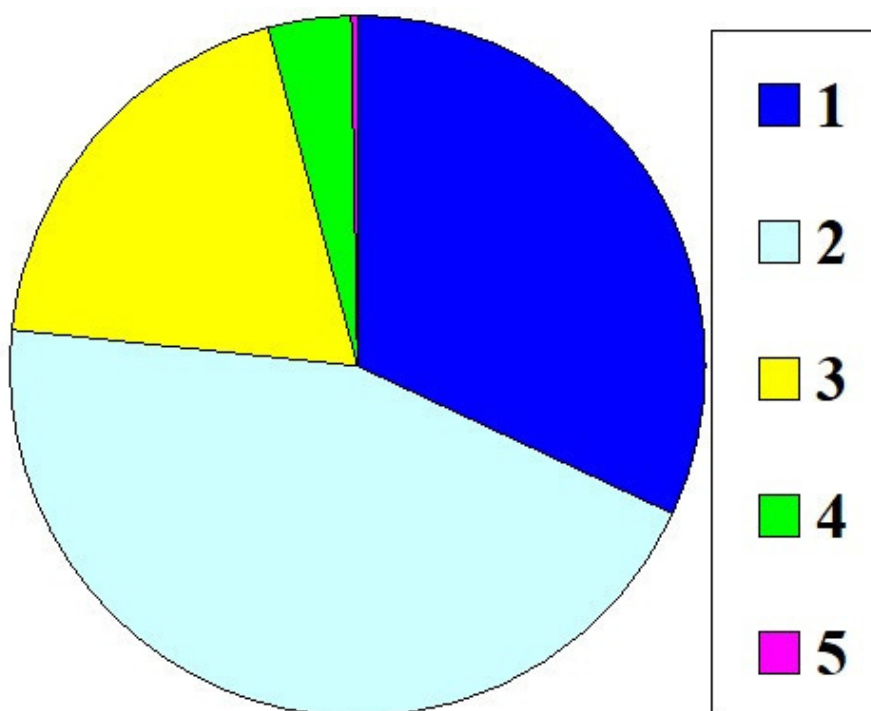


Рис. 2.1. Уровни изобретений

Примеры изобретений разных уровней приведены в книге «Алгоритм изобретения»<sup>9</sup>. Попробуем на одном объекте привести примеры всех пяти уровней решений. В качестве примера возьмем указку.

### Пример 2.1. Указка – 1-й уровень

В качестве указки использовали обычную палку – ветку дерева. Использовано *готовое решение* и *готовая конструкция* из природы, которую и внедрили.

### Пример 2.2. Указка – 2-й уровень

Длинная палка тяжелая. Ей неудобно указывать. Противоречие: указка должна быть *длинная*, чтобы указывать, и *короткая*, чтобы было не тяжело ей указывать.

*Решение.* Указку к концу делают тоньше.

Выбрана *одна из нескольких задач* – сделать указку легче. Можно было бы развивать физические усилия человека или использовать приспособления для держания указки, а человек только бы перемещал ее.

Выбрана *одна из нескольких поисковых концепций* – уменьшения веса за счет убирания материала от рукоятки к концу указки. Могут быть и другие концепции, например, замена материала указки на более легкий или сделать указку полый. Стадии **А** и **Б** пройдены на 2 уровне.

### Пример 2.3. Указка – 3-й уровень

Необходимо сделать указку легко переносимой. Для этого она должна быть маленькой. Противоречие: указка должна быть *длинная*, чтобы указывать, и *короткая*, чтобы было легко переносить.

*Решения.*

<sup>9</sup> Там же. С. 33—35.

1. Сделать указку разборной и скреплять ее на месте, например, с помощью винтов. На это требуется много времени и сил.

2. Можно сделать указку складной, как метр.

3. Наилучшее решение сделать указку *телескопической*.

**Изменена исходная задача.** Сначала была задача сделать указку легче.

**Изменено известное решение.** Вместо разборной указки ее сделали телескопической.

Применен геометрический эффект. Стадии А и Г пройдены на 3 уровне.

#### **Пример 2.4. Указка – 4-й уровень**

Желательно, чтобы можно было пользоваться указкой на расстоянии 3—20 м. Такая указка должна быть очень прочной и легкой, что не может обеспечить механическая указка. Необходимо переходить к принципиально другому способу указывания.

*Решение.* Использовать луч лазера. Лазерный луч получают с помощью лазерного диода.

**Найдена новая задача.** Указывать с больших расстояний.

**Найдено новое решение.** Использован не обычный лазер, а лазерный диод.

**Создана новая конструкция.** Такой конструкции не существовало раньше.

Стадии А, Г и Д пройдены на 4 уровне.

Другая возможность – виртуальная указка (отсутствующая указка). Указка должна исчезнуть, а возможность указывать остается.

*Решение.* Используются возможности компьютера. Например, указывать можно с помощью курсора мышки. Такая указка может указывать на любом расстоянии. Расстояние зависит только от возможностей передачи изображения. Могут использоваться Интернет, спутники, средства космической передачи

и т. д.

**Найдена новая задача.** Указывать с больших расстояний.

**Найдено новое решение.** Использован компьютер и его возможности (например, мышка).

Стадии А и Г пройдены на 4 уровне.

#### **Пример 2.5. Лазер и компьютер**

Лазер и компьютер – это примеры пионерских решений.

Лазер был изобретен на основе открытий.

## 2.3. Функции ТРИЗ

Основные функции ТРИЗ:

**1. Решение творческих и изобретательских задач любой сложности и направленности без значительного перебора вариантов .**

**2. Прогнозирование развития технических систем (ТС) и получение перспективных решений (в том числе и принципиально новых).**

**3. Развитие творческих качеств человека (творческого воображения и мышления, качеств творческой личности, развитие творческих коллективов) .**

ТРИЗ позволяет:

- выявить и устранить «узкие места»;
- снизить себестоимость изделий и технологий;
- повысить потребительские качества изделий;
- выявить и устранить причины брака и аварийных ситуаций и т. д.

## 2.4. Структура ТРИЗ

Основные разделы ТРИЗ:

1. **Законы развития технических систем** (глава 4) [64].
2. **Информационный фонд ТРИЗ** (глава 7) [45].
3. **Вепольный анализ** (структурный вещественно-полевой анализ) технических систем (глава 5) [46].
4. **Алгоритм решения изобретательских задач** (АРИЗ) (глава 6) [44].
5. **Метод выявления и прогнозирования аварийных ситуаций и нежелательных явлений** («диверсионный анализ») [36].
6. **Методы системного анализа и синтеза** (глава 3).
7. **Функционально-стоимостный анализ** (ФСА).
8. **Методы развития творческого воображения** (РТВ) (п. 8.1) [39—42].
9. **Теория развития творческой личности** (ТРТЛ) (п. 8.2) [38].
10. **Теория развития творческих коллективов** (ТРТК) (п. 8.3) [32].

Все разделы ТРИЗ можно разделить на две части: **методы решения задач** и **методы развития творческих качеств**. К методам решения задач относятся пп. 1—7 (приведенного выше списка), к методам развития творческих качеств – пп. 8—10. Структурная схема ТРИЗ согласно этой классификации представлена на рис. 2.2.

| Решение проблем  | Развитие творческих качеств             |
|--|---|
| Законы развития систем   |   |
| АРИЗ   |   |
| Вепольный анализ   | Методы развития творческого воображения |
| Информационный фонд <ul style="list-style-type: none"> <li>– Система приемов</li> <li>– Эффекты</li> <li>– Стандарты</li> <li>– Ресурсы</li> </ul>                               | Теория развития творческой личности     |
| Диверсионный анализ  |   |
| Системный анализ и синтез <ul style="list-style-type: none"> <li>– Системный подход</li> <li>– Анализ и синтез потребностей</li> <li>– Функциональный анализ и синтез</li> </ul> | Теория развития творческих коллективов  |
| Функционально-стоимостный анализ - ФСА   |   |

Рис. 2.2. Структурная схема ТРИЗ

Упрощенная структурная схема ТРИЗ для функции **решения задач** приведена на рис. 2.3.



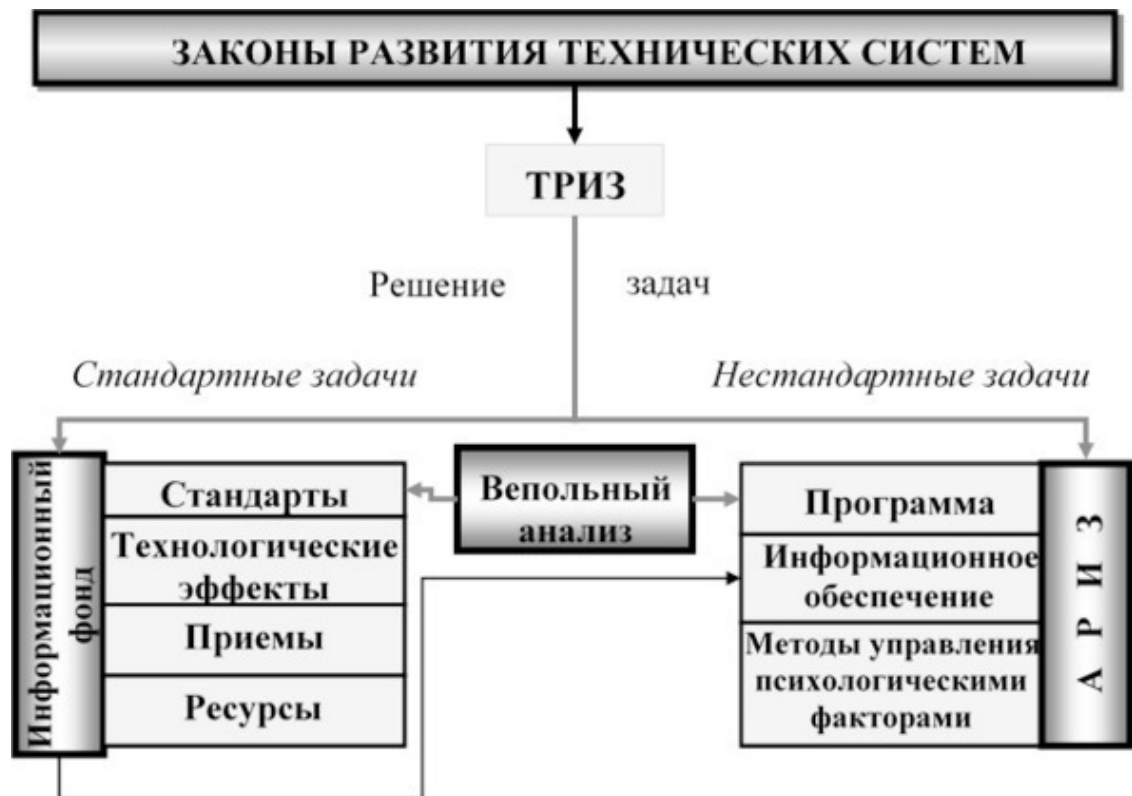


Рис. 2.3. Структурная схема ТРИЗ для функции решения задач

Кратко опишем каждую из частей ТРИЗ.

**1. Законы развития технических систем** – наиболее общие статистические закономерности и тенденции развития техники, выявленные в результате анализа патентного фонда и истории развития техники.

**2. Информационный фонд** включает:

**2.1. Систему стандартов на решение изобретательских задач** – типовые решения определенного класса задач (п. 7.5) [29];

**2.2. Технологические эффекты:**

2.2.1. физические эффекты [28] и [35];

2.2.2. химические эффекты [29];

2.2.3. биологические эффекты [37];

2.2.4. математические эффекты.

– наиболее разработанные из них – **геометрические** [30].

2.2.5. Таблицы их использования.

**2.3. Приемы устранения противоречий** и таблицы их применения (п. 7.1);

2.3.1. приемы разрешения технических противоречий (п. 7.1.2).

– 40 основных приемов [12];

– 10 дополнительных [10].

2.3.2. приемы разрешения физических противоречий (п. 7.1.3).

– приемы – анти-приемы [14];

– приемы, разбитые на группы;

– способы разрешения физического противоречия [24].

**2.4. Ресурсы** природы и техники и способы их использования (п. 7.3).

Часто в **информационный фонд** включают также **задачи-аналоги**. Это решенные задачи, в которых разрешено конкретное противоречие.

*Технологические эффекты* также называют научными эффектами или просто эффектами.

**3. АРИЗ** представляет собой **программу** (последовательность действий) **по выявлению и разрешению противоречий**, т. е. **решению задач**. АРИЗ включает: собственно **программу**, **информационное обеспечение**, питающееся из информационного фонда (на рис. 2.3 показано стрелкой), и **методы управления психологическими факторами**, которые входят составной частью в методы развития творческого воображения (РТВ). Кроме того, в АРИЗ предусмотрены части, предназначенные для выбора и формулировки задачи, а также оценки полученного решения. Последняя модификация, разработанная Г. С. Альтшуллером – это АРИЗ-85-В.

**4. Вепольный анализ** (*структурный вещественно-полевой анализ*) – это специальный язык, позволяющий представить *исходную систему* в виде *структурной модели*, выявить ее свойства, с помощью специальных правил и закономерностей преобразовать *модель задачи* в *структуру решения*, которое устраняет недостатки исходной задачи.

Классификация *системы стандартов на решение изобретательских задач* и сами стандарты построены на основе *вепольного анализа* и *законов развития технических систем*. Кроме того, он включен в программу *АРИЗ* (это показано стрелками на рис. 2.3).

Кратко опишем и другие элементы ТРИЗ показанные на рис. 2.2.

**Метод выявления и прогнозирования аварийных ситуаций и нежелательных явлений** разработан Б. Л. Злотиным и А. В. Зусман и назван «**диверсионным**» **подходом**. Он основан на использовании ТРИЗ, функционального, системного и морфологического анализов, диаграммы Исикавы (диаграмма «рыбьей кости») и специально разработанных списков контрольных вопросов. С помощью этой методики «изобретаются» для данной системы аварийные ситуации и нежелательные явления, рассматривается вероятность их появления. Сначала придумывают «диверсию», а потом способы, как ее совершить. При этом проводится анализ существующей ситуации и тенденций ее развития, формулируются и разрешаются противоречия, возникающие при решении задачи. На следующем этапе ищутся и анализируются способы, позволяющие предотвратить возникновение чрезвычайных ситуаций и нежелательных явлений. При этом максимально используются все ресурсы системы.

**Методы системного анализа и синтеза** включают:

- *системный подход*;
- *анализ и синтез потребностей*;
- *функциональный анализ и синтез*.

Эти инструменты позволяют создать *системную картину мира* и прогнозировать развитие систем.

В ТРИЗ широко используется системный подход, включающий аппарат системных исследований, специализированный для анализа и синтеза технических систем, основанный на закономерностях развития техники и для прогнозирования развития технических систем. Кроме того, системный подход используется для развития творческого мышления.

**Функционально-стоимостный анализ** (ФСА) – метод технико-экономического исследования систем, направленный на оптимизацию соотношения между их потребительскими свойствами (функции, также воспринимаемые как качество) и затратами на достижения этих свойств. Используется как методология для непрерывного совершенствования: продукции, услуг, производственных технологий, организационных структур. Задачей ФСА

является достижение наивысших потребительских свойств продукции при одновременном снижении всех видов производственных затрат. Классический ФСА имеет три английских названия-синонима – Value Engineering, Value Management, Value Analysis.

ФСА, используемый в ТРИЗ, значительно отличается от классического функционально-стоимостного анализа. Он был существенно модифицирован и дополнен разработчиками ТРИЗ. Сегодня ФСА – это практически иная методология, которая рассматривается в рамках *методов системного анализа и синтеза*.

Для **развития творческих качеств личности и коллектива** в ТРИЗ используются (рис. 2.2):

- *методы развития творческого воображения* (8.1);
- *теория развития творческой личности* (8.2);
- *теория развития творческих коллективов* (8.3).

**Методы развития творческого воображения** позволяют уменьшить *психологическую инерцию* при решении творческих (изобретательских) задач.

**Теория развития творческой личности** описывает качества и жизненную стратегию творческой личности.

**Теория развития творческих коллективов** позволяет выявить и использовать законы развития творческих коллективов.

## 2.5. Использование инструментов ТРИЗ

Использование различных элементов ТРИЗ для конкретных функций показано в таблице 2.2: «*Функции и структура ТРИЗ*».

При прогнозировании развития систем прежде всего используется *законы развития систем и системный анализ и синтез систем*. Кроме того, могут использоваться *вепольный анализ и стандарты на решение изобретательских задач*. В некоторых случаях может использоваться *функциональный анализ и синтез*.

При построении новых систем прежде всего используется *законы развития систем, системный анализ систем и функциональный анализ и синтез*. Во вторую очередь могут использоваться *вепольный анализ, диверсионный подход, стандарты на решение изобретательских задач, все виды технологических эффектов и ресурсы*. Иногда могут использоваться и *методы развития творческого воображения*.

При улучшении существующих систем стоит в первую очередь использовать *законы развития систем и системный анализ систем, АРИЗ, вепольный анализ, системный анализ и синтез систем, функциональный анализ и синтез, стандарты на решение изобретательских задач, все виды технологических эффектов, приемы, ресурсы*. Могут быть полезны и *методы развития творческого воображения*.

При поиске задачи в первую очередь стоит использовать *законы развития систем, диверсионный анализ, системный анализ и синтез систем и стандарты на решение изобретательских задач*. Менее применимы *эффекты и ресурсы*. Иногда могут применяться *приемы и методы развития творческого воображения*.

При выборе задачи в первую очередь стоит использовать *законы развития систем, АРИЗ, системный анализ и синтез систем и функциональный анализ и синтез*. Во вторую очередь следует использовать *стандарты на решение изобретательских задач*.

При решении задачи в первую очередь стоит использовать *АРИЗ, диверсионный подход, функциональный анализ и синтез и стандарты на решение изобретательских задач*. Во вторую очередь использовать *законы развития систем, вепольный анализ, системный анализ и синтез систем, все виды технологических эффектов, приемы и ресурсы*. Иногда могут применяться *методы развития творческого воображения*.

При оценке полученного решения в первую очередь стоит использовать *законы развития систем и стандарты на решение изобретательских задач*. Во вторую очередь следует использовать *АРИЗ, вепольный анализ, диверсионный подход, системный анализ и синтез систем и функциональный анализ и синтез*.

При развитии творческого воображения в первую очередь стоит использовать *методы развития творческого воображения*. Во вторую очередь следует использовать *законы развития систем, системный анализ и синтез систем и ресурсы*. В третью очередь стоит использовать *диверсионный подход*.

При развитии творческой личности в первую очередь стоит использовать *методы развития творческой личности*. Во вторую очередь следует использовать *системный анализ и синтез систем*.

При развитии творческих коллективов в первую очередь стоит использовать *методы развития творческих коллективов*. Во вторую очередь следует использовать *системный анализ и синтез систем* и в третью очередь – использовать *диверсионный подход*.

| Функции |                                  | Структура          |      |                  |                     |                         |                       |                     |            |            |               |                |        |                            |             |          |             |
|---------|----------------------------------|--------------------|------|------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|------------|------------|---------------|----------------|--------|----------------------------|-------------|----------|-------------|
|         |                                  | Законы развития ТС | АРИЗ | Вепольный анализ | Диверсионный подход | Системный анализ и син- | Функциональный анализ | ИНФОРМАЦИОННЫЙ ФОНД |            |            |               |                |        | МЕТОДЫ РАЗВИТИЯ ТВОРЧЕСКИХ |             |          |             |
|         |                                  |                    |      |                  |                     |                         |                       | Стандарты           | Эффекты    |            |               |                | Приемы | Ресурсы                    | воображения | личности | коллективов |
|         |                                  |                    |      |                  |                     |                         |                       |                     | Физические | Химические | Биологические | Математические |        |                            |             |          |             |
| 1       | Прогнозирование развития ТС      | 1                  | —    | 2                | 3                   | 1                       | 3                     | 2                   | —          | —          | —             | —              | —      | —                          | —           | —        | —           |
| 2       | Построение новой системы         | 1                  | —    | 2                | 2                   | 1                       | 1                     | 2                   | 2          | 2          | 2             | 2              |        | 2                          | 3           | —        | —           |
| 3       | Улучшение существующей системы   | 1                  | 1    | 1                | —                   | 1                       | 1                     | 1                   | 1          | 1          | 1             | 1              | 1      | 1                          | 3           | —        | —           |
| 4       | Поиск задачи                     | 1                  | —    | 2                | 1                   | 1                       | —                     | 1                   | 3          | 3          | 3             | 3              | 4      | 3                          | 4           | —        | —           |
| 5       | Выбор задачи                     | 1                  | 1    | —                | —                   | 1                       | 1                     | 2                   | —          | —          | —             | —              | —      | —                          | —           | —        | —           |
| 6       | Решение задачи                   | 2                  | 1    | 2                | 1                   | 2                       | 1                     | 1                   | 2          | 2          | 2             | 2              | 2      | 2                          | 3           | —        | —           |
| 7       | Оценка полученного решения       | 1                  | 2    | 2                | 2                   | 2                       | 2                     | 1                   | —          | —          | —             | —              | —      | —                          | —           | —        | —           |
| 8       | Развитие творческого воображения | 2                  | —    | —                | 3                   | 2                       | —                     | —                   | —          | —          | —             | —              | 3      | 2                          | 1           | —        | —           |
| 9       | Развитие творческой личности     | —                  | —    | —                | —                   | 2                       | —                     | —                   | —          | —          | —             | —              | —      | —                          | —           | 1        | —           |
| 10      | Развитие творческих коллективов  | —                  | —    | —                | 3                   | 2                       | —                     | —                   | —          | —          | —             | —              | —      | —                          | —           | —        | 1           |

Таблица 2.2. Функции и структура ТРИЗ

*Примечание.* В таблице цифрами обозначена очередность применения, что соответствует степени важности этого элемента для данной функции. Знак «–» показывает, что данный элемент для этой функции не используется.

С помощью ТРИЗ решаются стандартные и нестандартные типы задач (рис. 2.3).

Под **стандартным** (известным) для ТРИЗ типом задач понимается задача с *известным типом противоречия*, а **нестандартным** (неизвестным) – задачи с *неизвестным типом противоречия*.

*Стандартные* (известные) типы изобретательских задач решаются с использованием информационного фонда, а *нестандартные* (неизвестные) – применением АРИЗ. По мере накопления опыта решения класс известных типов задач пополняется и структурируется.

**Классификация задач** осуществляется при помощи *таблицы использования основных приемов устранения технического противоречия*, *вепольного анализа* и *функционального подхода*. Это своего рода призма (рис. 2.4), с помощью которой мы «раскладываем» проблему на известные (стандартные) задачи и неизвестные (нестандартные) задачи. Для каждого класса стандартных задач имеются свои соответствующие стандартные решения. Стандартное решение подбирается под конкретные условия. Для классификации и выявления задач могут использоваться и другие элементы ТРИЗ, например, основная **линия решения задач** – *выявление причинно-следственных связей*, которая рассматривается в главе 6 (п. 6.5) и в учебном пособии АРИЗ [44].

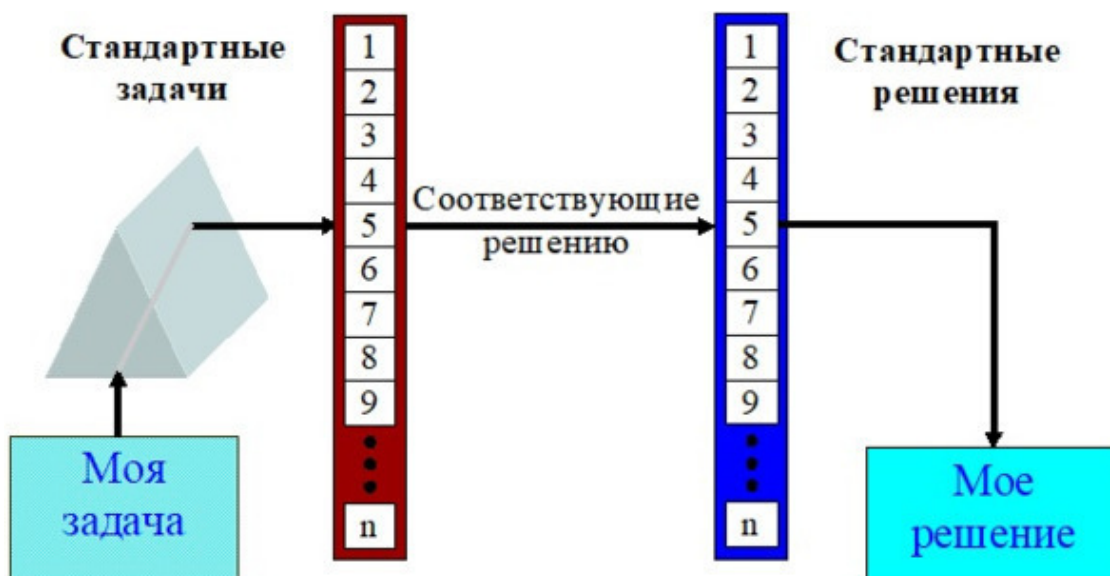


Рис. 2.4. Решение стандартных задач

Таким образом, использование информационного фонда и, прежде всего, системы *стандартов на решение изобретательских задач*, позволяет без использования АРИЗ разрешить противоречия, имеющиеся в задаче и получить решения высокого уровня. Это своего рода стандартные пути решения задач без перебора вариантов, который характерен для *метода «проб и ошибок»*.

Схематично это показано на рис. 2.4. Вы преобразуете вашу задачу с помощью специальных инструментов (на рисунке это показано в виде призмы) в стандартную задачу. Для каждой стандартной задачи найдены стандартные решения и стандартное решение вы используете для получения вашего решения. В случае со стандартами на решения изобретательских задач, в качестве «призмы» используется вепольный анализ.

Для выявления существующих аварийных ситуаций и нежелательных явлений, а также прогнозирования будущих в ТРИЗ используется диверсионный подход.

Разработаны компьютерные программы, основанные на ТРИЗ. Они обеспечивают интеллектуальную помощь инженерам и изобретателям при решении изобретательских задач. Имеется программа по выявлению, прогнозированию и предотвращению аварийных ситуаций и нежелательных явлений.

В следующих главах рассмотрим более подробно отдельные разделы ТРИЗ.

## 2.6. Изобретательское мышление

### 2.6.1. Качества изобретательского мышления

На наш взгляд, высшая стадия овладения ТРИЗ – это выработка навыков изобретательского мышления. Его также называют Сильное, Талантливое, ТРИЗное мышление.

Подробнее с этим материалом можно познакомиться в [72].

Навыки изобретательского мышления состоят из нескольких составляющих (качеств):

1. Системное мышление.
2. Эволюционное мышление.
3. Мышление через противоречия.
4. Мышление через ресурсы (ресурсное мышление).
5. Мышление по моделям.
6. Развитие творческого воображения (РТВ).

Под *системным мышлением* автор понимает умение видеть составные части системы, ее элементы, иерархию системы, взаимовлияние элементов системы и системы с надсистемой и окружающей средой, учет изменений во времени и по условию, историческое развитие, цепочку по постановке цели, выявления потребностей, построение функциональной модели, дерева принципов действия, системный уровень. Системное мышление рассмотрено в главе 3.

*Эволюционное мышление* имеет две составляющие:

а) *Выявление закономерностей развития* (трендов) в любых явлениях, например, как это делается в тестах на логику или IQ (например, последовательность: треугольник, квадрат, пятиугольник... что дальше?).

б) *Использование законов развития систем* для развития конкретной системы (глава 4).

*Мышление через противоречия* – предусматривает выявление и разрешение противоречий (пп. 6.2—6.6).

*Ресурсное мышление* – это умение выявлять и использовать ресурсы (п. 7.3).

*Моделирование* – это умение решать задачи с помощью моделирования. Моделирование с помощью веполей (глава 6), маленьких человечков (п. 8.1.4), компонентно-структурное и функциональное моделирование (п. 3.5.3). Помимо различных методов мыслительного моделирования желательно выполнять простейшие модели из картона, пластилина и т. д. Желательно использовать различные виды математического и компьютерного моделирования.

*РТВ* нацелено на *управление психологической инерцией*. Для развития творческого воображения используются все известные приемы и методы (п. 8.1). Можно развивать также другие виды воображения: зрительное, слуховое, обонятельное, вкусовое, тактильное (осязательное), кинестетическое, температурное (термоцепция), эквибриоцепционное (чувство равновесия), проприоцепция – или «осознание тела». Эти виды воображения в отдельности или комплексно могут значительно расширить творческое воображение человека. Подробнее с этим материалом можно познакомиться в [79].

### 2.6.2. Способы развития изобретательского мышления

Изобретательское мышление развивается с помощью постоянного применения каждого из описанных видов.

**Системное мышление** развивается использованием *системного подхода* (глава 3):

- умения видеть *иерархию* систем;
- *взаимосвязи и взаимовлияния* отдельных частей системы на систему, системы на над-систему и окружающую среду, обратное взаимодействие;
- учет любых изменений *во времени и по условию*, вызванных влиянием и взаимовлиянием;
- *историческое развитие*;
- *постановка целей*;
- выявление и прогнозирование *потребностей*;
- построение *функциональной модели*;
- выявление *принципа действия* системы;
- построение *структурной и потоковой модели*;
- определение *работоспособности и конкурентоспособности* системы.

**Эволюционное мышление** развивается выявлением *закономерностей* в различных явлениях, системах, процессах, последовательностях и использованием *законов развития систем* (глава 4) для прогнозирования развития этих систем.

**Мышление через противоречия** развивается выявлением и разрешением противоречий (глава 6).

**Ресурсное мышление** развивается выявлением и использованием ресурсов (п. 7.3).

**Моделирование** развивается построением мысленных, компьютерных и вещественных моделей для решения определенных задач.

**Творческое воображение** развивается с помощью специальных приемов и методов РТВ (п. 8.1), чтения научной фантастики и оценки научно-фантастических произведений.



## 2.7. ТРИЗ в мире

ТРИЗ все больше завоевывает мир. Созданы компании, занимающиеся ТРИЗ. Помимо стран бывшего СССР, ТРИЗ распространена в США, Канаде, странах Европы, в Израиле, Австралии, Японии, Южной Корее, странах Юго-Восточной Азии и Южной Америки.

Курс ТРИЗ читается в ряде университетов России, США, Канады, Франции, Англии, Германии, Швейцарии, Австралии, Израиля, Японии и Южной Кореи. ТРИЗ изучают инженеры и ученые, студенты университетов различных специальностей и школьники всех возрастов. Проводятся занятия с детьми, начиная с трех лет. Имеются курсы по подготовке воспитателей детских садов, учителей школ и преподавателей ТРИЗ для университетов. Ведется большая работа по подготовке учебно-методических материалов. Эти направления наиболее развиты в России и некоторых странах бывшего СССР.

Несколько компаний разрабатывают и продают компьютерные программы по ТРИЗ.

Наиболее распространена консультационная деятельность для промышленных компаний в форме решения производственных и научных задач, получения перспективных решений и обучения сотрудников ТРИЗ.

ТРИЗ используют ведущие компании мира (Samsung, Intel, General Electric, LG, Motorola, General Motors, Ford, Boeing, NASA, Rockwell, Xerox, Gillette, Procter & Gamble, Johnson & Johnson, Phillips, Bosch-Siemens, Hewlett-Packard и т. д.).

Созданы кафедры и лаборатории ТРИЗ в университетах, защищаются диссертации по ТРИЗ и с использованием ТРИЗ.

Ученики и последователи автора ТРИЗ, Г. С. Альтшуллера, живут и работают во многих странах. Они продолжают развивать ТРИЗ, применяя ее на практике и добиваясь впечатляющих результатов. ТРИЗ справедливо считают наукой XXI века.

Создана и успешно работает **Международная Ассоциация ТРИЗ** (МА ТРИЗ), президентом которой до последнего дня своей жизни был Г. С. Альтшуллер.

Действует **Европейская Ассоциация ТРИЗ** (ETRIA).

В США работает **Институт Альтшуллера** (The Altshuller Institute).

Создан **Саммит разработчиков ТРИЗ**, целью которого является объединение специалистов, занимающихся развитием теории и методики. Саммит проводит ежегодные встречи, где обсуждаются наилучшие научные разработки по развитию ТРИЗ.

Имеются региональные Ассоциации ТРИЗ в странах бывшего СССР, США, Франции, Италии, Австрии, Израиле, Австралии, Южной Кореи, Тайване, Латинской Америки и в других странах.

В Internet имеются сайты и многочисленные ссылки, посвященные ТРИЗ.

Проводятся ежегодные международные конференции по ТРИЗ в:

- бывших странах СССР Саммит разработчиков ТРИЗ;
- любых странах мира МАТРИЗ;
- США – Институт Альтшуллера;
- Японии – ТРИЗ Форум;
- Южной Кореи – КАТА (Korea Academic TRIZ Association) и др. (приложение 3).

СМИ многих стран неоднократно говорили об эффективности ТРИЗ.

Все выше описанное – это элементы ТРИЗ-движения, созданного Г. С. Альтшуллером.

## **2.8. Контрольные вопросы**

1. Кто автор ТРИЗ?
2. Перечислите постулаты ТРИЗ.
3. Опишите уровни изобретений. Опишите этапы творческого процесса. Опишите характерные черты для каждого из уровней изобретения. Приведите примеры на каждый из уровней изобретения.
4. Какие основные функции ТРИЗ?
5. Перечислите основные части ТРИЗ.
6. Какие составные части входят в информационный фонд ТРИЗ?
7. Для чего предназначена каждая из частей ТРИЗ?
8. Опишите структуру ТРИЗ для функции решение задач.
9. Опишите качества изобретательского мышления.

## Глава 3. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

*Кто в океане видит только воду,  
Тот на земле не замечает гор.*  
**В. Высоцкий**

### **Содержание главы 3:**

#### **3.1. Основные определения системного подхода**

*3.1.1. Системное мышление*

*3.1.2. Система*

*3.1.3. Функция*

*3.1.4. Поток*

*3.1.5. Иерархия*

#### **3.2. Системность**

*3.2.1. Общие понятия*

*3.2.2. Отсутствие системности*

#### **3.3. Системный оператор**

#### **3.4. Учет влияний**

#### **3.5. Системный подход при проектировании**

*3.5.1. Системный синтез*

*3.5.2. Системный анализ*

*3.5.3. Анализ выявления недостатков*

#### **3.6. Выводы**

### 3.1. Основные определения системного подхода

Выше на притче о слепцах (п. 1.4, пример 1.11) мы показали одну из составляющих традиционного мышления – отсутствие системного мышления.

Часто, решая задачи или исследуя какую-то систему, мы похожи на этих слепцов. Мы рассматриваем только маленькую часть задачи или часть системы, а этого часто бывает недостаточно. Мы даже не всегда знаем ее составляющие – подсистемы, а тем более части этих составляющих – подподсистемы. Не видим, куда входит данная система. Все это показывает отсутствие системного подхода.

Ниже приведем основные определения и составные части системного подхода.

#### 3.1.1. Системное мышление

**Системное мышление** – это мышление, которое использует *системный подход* и является одним из элементов *изобретательского мышления*.

**Системный подход** – рассмотрение объекта как целостного множества элементов в совокупности отношений и связей между ними, то есть рассмотрение объекта как *системы*.

Системный подход должен использоваться как при *анализе*, так и при *синтезе* систем.

При *системном анализе* рассматривают систему не изолированно, а как *совокупность взаимосвязанных элементов*, имеющую *связь с надсистемой и внешней средой* и *влияние внешней среды на систему*. Цель анализа выявить все составляющие элементы, взаимосвязи и взаимовлияния между ними, приводящие к определенным изменениям. Выявляются все взаимовлияния системы на подсистемы, на надсистему и окружающую систему, и обратное влияние надсистемы и окружающей среды на систему. Прослеживаются все закономерности изменений, функционирования и развития систем.

**Системный синтез** предусматривает создание **сбалансированной системы**, как *внутри себя*, так и с *внешней средой*.

Системный подход реализует требования **общей теории систем**, согласно которой каждый объект должен рассматриваться как большая и сложная система и, одновременно, как элемент более общей системы. Теория систем изучает различные виды систем, их функционирование и закономерности развития. Она была разработана *Людвигом фон Берталанфи (Ludwig von Bertalanffy)* в XX веке. Его предшественником был *Александр Александрович Богданов*, который разработал «всеобщую организационную науку» **тектологию** и предвосхитил некоторые положения кибернетики.

Основным объектом рассмотрения в системном подходе, теории систем, системном анализе и синтезе является **система**.

#### 3.1.2. Система

**Система** (от латинского «*systema*», от греческого «*σύστημα*» — «составленный», целое, составленное из частей, соединение) – это множество *элементов*, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой, которые образуют единое *целое*, обладающее *свойствами*, не присущими составляющим его элементам, взятым в отдельности.

Такое свойство называют **системный эффект** или **эмерджентность**.

**Эмерджентность** (от англ. «*Emergent*» — возникающий, неожиданно появляющийся) в теории систем — наличие у какой-либо системы особых свойств, не присущих ее подсистемам и блокам, а также сумме элементов, не связанных особыми системообразующими свя-

зьями; несводимость свойств системы к сумме свойств ее компонентов; синоним — «системный эффект».

Часто такое свойство так же называют **синергетический эффект** (от греч. «συνεργός» — вместе действующий) — возрастание эффективности деятельности в результате интеграции, слияния отдельных частей в единую систему за счет так называемого системного эффекта.

### Пример 3.1. Синергетический эффект

Обмен вещами не приводит к синергетическому эффекту, так как их остается, столько же, что и было. Обмен идеями приводит к синергетическому эффекту, так как в результате у одного человека идей становится больше.

**Синергия** (греч. «Συνεργία» — сотрудничество, содействие, помощь, соучастие, сообщество; от греч. «Σύν» — вместе, греч. «ἔργον» — дело, труд, работа, (воз) действие) — суммирующий эффект взаимодействия двух или более факторов, характеризующийся тем, что их действие существенно превосходит эффект каждого отдельного компонента в виде их простой суммы.

**Целостность** — характеристика системы, выражающая автономность и единство системы, противостоящей окружению. Она связана с функционированием системы и присущими ей закономерностями развития. Целостность не абсолютное, а относительное понятие, поскольку система имеет множество связей с окружающими объектами и внешней средой и существует лишь в единстве с ними.

**Свойство** — сторона (атрибут) системы. Оно определяет различие или общность предмета с другими предметами. Свойство обнаруживается в *отношении* подсистем в системе, поэтому всякое свойство относительно. Свойства существуют объективно, независимо от человеческого сознания.

**Отношение** — взаимосвязь, взаимозависимость и соотношение элементов системы. Это мысленное сопоставление различных объектов и их сторон.

### Пример 3.2. Предложение (в языке)

Предложение состоит из *слов и способа построения предложения — грамматики*.

Ни один из этих элементов не обладает свойством выразить *мысль*. Соединенные в единую *систему* — предложение, приобрело новое свойство — *мысль* — **системный эффект**.

Предложение — **целостно**. Оно автономно и имеет свои закономерности развития — развитие грамматики.

В предложении показана взаимосвязь отдельных слов, их **свойства**, обнаруживаемы в их *отношении* друг к другу.

**Антропогенная система** (греч. «anthropos» — человек, «genesis» — происхождение, становление развивающегося явления) — система, созданная в результате сознательно направленной человеческой деятельности.

### Пример 3.3. Антропогенные системы

Это широкий класс систем, созданных человеком: язык, понятия, мысли, знания, науки, литература и искусство, социальные группы (племена, сообщества, государства и т. д.), сельскохозяйственные системы, искусственно созданные объекты фауны и флоры (генная инженерия, биотехнологии и т. п.), технические системы и т. д.

Основное внимание в книге будет уделено рассмотрению одного класса антропогенных систем — **технических систем**.

**Техническая система (ТС)** – это *система*, создающаяся с конкретной **целью** для удовлетворения определенной **потребности**. Она выполняет **функцию**, осуществляя *процесс*. ТС имеет определенную *структуру*. В качестве примеров технических систем можно назвать: *самолет, автомобиль, кондиционер, телефон, телевизор, компьютер, Интернет* и т. д.

#### Пример 3.4. Самолет

Самолет состоит из *крыльев, фюзеляжа, двигателя, шасси* и т. д.

Ни один из этих элементов не обладает свойством летать. Соединенные в единую *систему* – самолет приобрел новое свойство – *летать* – **системный эффект**.

#### Пример 3.5. Телефон

Телефон состоит из *микрофона, наушника, клавиатуры, дисплея, памяти* и т. п.

Ни один из этих элементов не обладает свойством передавать звук на расстояние. Соединенные в единую *систему* – телефон приобрел новое свойство – *передавать звук на расстояние* – **системный эффект**.

#### Пример 3.6. Алгоритм

Алгоритм – это определенный порядок выполнения различных операций, приводящий к конкретному результату.

Алгоритм состоит из отдельных *операций*, выполняемых в определенном *порядке*.

Каждая из операций и порядок их выполнения в отдельности не приведут к необходимому результату. Соединенные в единую *систему* – алгоритм приобрел новое свойство – *конкретный результат* – **системный эффект**.

### 3.1.3. Функция

**Функция** (от лат. «functio» – совершение, исполнение) – **процесс** воздействия **субъекта** на **объект**, имеющий определенный результат.

Кроме того, функцию определяют и как «*внешнее проявление свойств какого-либо объекта в данной системе отношений*».

В дальнейшем будем использовать первую формулировку функции (рис. 3.1).

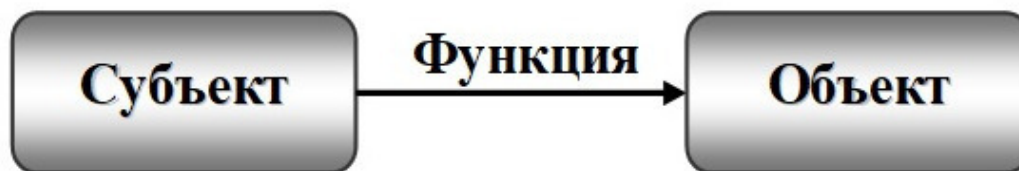


Рис. 3.1. Функция

Результат действия может быть *изменение* параметра объекта или *сохранение* его. Функция записывается в виде *глагола*.

### Пример 3.7. Самолет

Самолет *перевозит* (перемещает) пассажиров. Самолет – *субъект*, перевозит – *функция*, пассажиры – *объект*. Перевозить – это значит *изменять* объект.

### Пример 3.8. Кофе

Чашка *удерживает* кофе. Чашка – *субъект*, удерживает – *функция*, кофе – *объект*. Удерживать – это значит *сохранять* объект.

### Пример 3.9. Компьютер

Компьютер *обрабатывает* информацию. Компьютер – *субъект*, обрабатывает – *функция*, информация – *объект*. Обработать – это значит *изменять* объект (информацию).

### Пример 3.10. Компьютерная память

Память *запоминает* информацию. Память – *субъект*, запоминает – *функция*, информация – *объект*. Запоминать – это значит *сохранять* объект (информацию).

Функции можно классифицировать по:

- *полезности*,
- *степени их выполнения*:

Опишем классификацию функций по:

#### 1. *Полезности*:

- *полезные*;
- *бесполезные*;
- *вредные*.

#### 2. *Степени выполнения полезных функций*:

- *достаточные*;
- *избыточные*;
- *недостаточные*.

**Полезная функция** – функция, обеспечивающая *работоспособность системы*.

**Бесполезная функция** – функция, *не создающая работоспособность системы*. Иногда такие функции называют *лишними*.

**Вредная функция** – функция, создающая *нежелательный эффект*.

**Достаточная функция** – функция, создающая *необходимое (достаточное) действие*.

**Избыточная функция** – функция, создающая *избыточное действие*.

**Недостаточная функция** – функция, создающая *недостаточное действие*.

### Пример 3.11. Холодильник

Функция холодильника – *охлаждать* продукт, например, мясо.

**Бесполезная функция** для потребителя – нагрев задней части холодильника, но она необходима для принципа действия холодильника. Потребителю этот нагрев не нужен.

**Вредная функция** холодильника – шум компрессора.

**Достаточная функция** холодильника – нормальное охлаждение до заданной температуры.

**Избыточная функция** холодильника – это избыточное охлаждение (переохлаждение) – ниже требуемой температуры.

*Недостаточная функция* холодильника – недостаточное охлаждение – выше требуемой температуры.

### **Пример 3.12. Газовая плита**

*Функция* газовой плиты – *греть* объект, например, воду или мясо.

*Бесполезная функция* газовой плиты – нагрев окружающей среды (лишний расход тепла).

*Вредная функция* газовой плиты – утечка газа.

*Достаточная функция* газовой плиты – нормальный нагрев объекта до заданной температуры.

*Избыточная функция* газовой плиты – избыточный нагрев объекта, например, вода выкипела, мясо сгорело.

*Недостаточная функция* газовой плиты – слабый огонь, например, недостаточный для закипания воды.

### **Пример 3.13. Компьютер**

*Функция* компьютера – *обрабатывать* информацию.

*Бесполезная функция* – затраты энергии, когда на компьютере не работают, а он включен. Компьютер должен работать только тогда, когда вводится, обрабатывается и выводится информация. Во все остальное время компьютер впустую расходует энергию.

*Вредные функции* компьютера – электромагнитное излучение от компьютера и Wi-Fi, шум от вентилятора.

*Достаточная функция* компьютера – его нормальная работа.

*Недостаточная функция* компьютера – когда происходит долгая обработка информации, например, при скачивании информации из Интернета.

### **Пример 3.14. Телефон**

*Функция* телефона – *передать* звуковой сигнал, например, речь.

*Бесполезная функция.* Если телефон включен, а по нему не говорят – бесполезная функция. Телефон должен работать только тогда, когда передается сигнал. Во все остальное время телефон впустую расходует энергию. В любые перерывы сигнала телефон должен отключаться и включаться с появлением сигнала.

*Вредная функция.* Электромагнитное излучение, возникающее при разговоре по мобильному телефону, вредно воздействует на окружающую аппаратуру, поэтому в самолетах и в больницах не разрешается разговаривать по мобильному телефону. Антенны ретрансляторов мобильной связи вредно воздействуют на окружающих.

*Достаточная функция* телефона – когда телефон работает нормально.

*Избыточная функция* телефона – когда звук передается слишком сильно, и он искажается.

*Недостаточная функция* телефона – когда сигнал плохо слышен.

### **Пример 3.15. Автомобиль**

*Функция* автомобиля – *перемещать* людей.

*Бесполезная функция* автомобиля – затраты энергии, когда автомобиль стоит, а двигатель работает, например, на светофоре.

*Вредные функции* автомобиля – выбрасывание в атмосферу выхлопных газов, загрязняя окружающую среду.

*Достаточная функция* – нормальная работа автомобиля.

*Избыточная функция.* Автомобиль рассчитан на скорость движения, значительно превышающую допустимую скорость.



*Недостаточная функция* – это, когда автомобиль не можем выбраться из заноса снега, грязи или преодолеть очень крутой подъем.

В определение функции входило понятие *процесс*.

### 3.1.4. Процесс

**Процесс** (от лат. «processus» – продвижение):

- 1) последовательная смена состояний стадий развития;
- 2) совокупность последовательных действий для достижения какого-либо результата (например, производственные потребности – последовательная смена трудовых операций).

Для функционирования технических систем мы в основном будем рассматривать второе определение. Первое определение характерно для развития систем.

#### Пример 3.16. Приготовление кофе

Операция 1 – измельчение зерен кофе.

Операция 2 – молотый кофе засыпается в турку.

Операция 3 – турку заливается водой.

Операция 4 – турку ставят на огонь или помещают в разогретый песок.

Операция 5 – ждут, пока поднимется пенка.

Операция 6 – турку снимают с огня.

Операция 7 – ожидание пока пенка опустится.

Операции 5—7 повторяются несколько раз.

#### Пример 3.17. Компьютерная программа

Любая компьютерная программа работает по определенному алгоритму – порядку действий. Таким образом, компьютерная программа осуществляет процесс.

#### Пример 3.18. Алгоритм Евклида

В качестве процесса представим Алгоритм Евклида – метод вычисления наибольшего общего деления (НОД). Это один из древнейших алгоритмов, который используется до сих пор. НОД – это число, которое делит без остатка два числа и делится само без остатка на любой другой делитель данных двух чисел. Проще говоря, это самое большое число, на которое можно без остатка разделить два числа, для которых ищется НОД.

Описание алгоритма нахождения НОД делением.

1. Большее число делим на меньшее число.
2. Если делится без остатка, то меньшее число и есть НОД (следует выйти из цикла).
3. Если есть остаток, то большее число заменяем на остаток от деления.
4. Переходим к пункту 1.

*Пример:*

*Найти НОД для 30 и 18.*

$30/18 = 1$  (остаток 12);

$18/12 = 1$  (остаток 6);

$12/6 = 2$  (остаток 0). *Конец: НОД – это делитель. НОД (30, 18) = 6.*

#### Пример 3.19. Компилятор

Большинство компиляторов переводит программу с некоторого высокоуровневого языка программирования в машинный код, который может быть непосредственно выполнен процессором.

Процесс компиляции состоит из следующих этапов:

1. Лексический анализ. На этом этапе последовательность символов исходного файла преобразуется в последовательность лексем. Цель лексического анализа – подготовить входную последовательность к грамматическому анализу.

2. Синтаксический (грамматический) анализ. Последовательность лексем преобразуется в дерево разбора.

3. Семантический анализ. Дерево разбора обрабатывается с целью установления его семантики (смысла) – например, привязка идентификаторов к их декларациям, типам, проверка совместимости, определение типов выражений и т. д. Результат обычно называется «промежуточным представлением/кодом», и может быть дополненным деревом разбора, новым деревом, абстрактным набором команд или чем-то ещё, удобным для дальнейшей обработки.

4. Оптимизация. Выполняется удаление излишних конструкций и упрощение кода с сохранением его смысла. Оптимизация может быть на разных уровнях и этапах – например, над промежуточным кодом или над конечным машинным кодом.

5. Генерация кода. Из промежуточного представления порождается код на целевом языке. В конкретных реализациях компиляторов эти этапы могут быть разделены или наоборот совмещены в том или ином виде.

Каждый из этих этапов имеет свою программу, работающую по определенному алгоритму – процессу.

Понятия *процесс* и функция тесно связаны с понятием **поток**. Он осуществляет процесс и выполняет функцию.

### 3.1.5. Поток

**Поток** может быть:

- *вещественным* (поток вещества);
- *полевым* (поток поля);
- *информационным* (поток информации).

К **вещественным потокам** относятся все виды транспортных систем, потоки сыпучих, жидких и газообразных веществ, в частности использующих, трубопроводы, например, пневматическая почта и т. д.

К **полевым потокам** можно отнести потоки электричества, например, проходящие по проводам, световые потоки, например, по оптоволоконным кабелям, магнитные потоки, различные излучения и т. д.

**Информационные потоки** могут распространяться различными путями: через печатные материалы, Интернет, радио и телевидение и т. д. Носителями информации является вещество и / или поле (энергия).

Кроме того, потоки могут быть **внутренние** и **внешние**.

**Потоки** осуществляют взаимодействия и выполняют работу.

**Внутренние потоки** осуществляют воздействия одного элемента системы на другой или их взаимодействие по организованным связям между ними.

**Внешние потоки** осуществляют взаимодействие системы с надсистемой, окружающей средой и обратное влияние надсистемы и окружающей среды на систему.

Отсутствие учета таких влияний может не только отрицательно сказаться на работоспособности системы, но и вредно влиять на внешнюю среду.

### Пример 3.20. Кондиционер

Кондиционер, с помощью вентилятора, создает поток воздуха (холодного или горячего). Это *внешний поток вещества*.

Поток фреона – это *внутренний поток вещества*.

Электричество, подводимое извне, к блоку питания кондиционера – это *внешний поток энергии*. Потоки энергии от блока питания – это *внутренние потоки энергии*, подводимые к компрессору, вентилятору и блоку управления.

Сигналы, поступающие от датчиков и подающие на компрессор и двигатель вентилятора и другие блоки – это *внутренние потоки информации*. Инфракрасный сигнал от пульта управления – это *внешний поток информации*.

### **Пример 3.21. Компьютер**

В компьютер поступает *поток внешней информации*. Компьютер обрабатывает эту информацию. Это *внутренний информационный поток*. Компьютер выдает результаты обработанной информации на внешние устройства, например, на монитор – это *внешний информационный поток*.

**Оценку потоков** можно проводить по:

- *Полезности*.
- *Степени их выполнения*.

Опишем оценку потока:

#### **1. По полезности:**

- *полезный*;
- *бесполезный*;
- *вредный*.

#### **2. По степени выполнения полезности потока:**

- *достаточный*;
- *избыточный*;
- *недостаточный*.

**Полезный поток** – поток, обеспечивающий работоспособность системы.

**Бесполезный поток** – поток, не создающий работоспособность системы. Иногда такие потоки называют **лишними**.

**Вредный поток** – поток, создающий нежелательный эффект.

**Достаточный поток** – поток, создающий необходимое (достаточное) действие.

**Избыточный поток** – поток, создающий избыточное действие.

**Недостаточный поток** – поток, создающий недостаточное действие.

### **Пример 3.22. Холодильник**

*Бесполезный поток* для потребителя – поток тепла от испарителя (задней части холодильника).

*Вредный поток* холодильника – поток (акустический) шума компрессора.

*Достаточный поток* холодильника – нормальный поток холодного воздуха внутри холодильника. *Избыточный поток* холодильника – это избыточный поток холодного воздуха (перехождение) – ниже требуемой температуры.

*Недостаточный поток* холодильника – недостаточный поток холодного воздуха, не позволяющий создать требуемую температуру.

### Пример 3.23. Компьютер

*Бесполезный поток* – поток энергии, когда на компьютере не работают, а он включен. Поток электроэнергии в компьютере должен быть только тогда, когда вводится, обрабатывается и выводится информация. В остальное время компьютер впустую расходует энергию. Кроме того, поток энергии должен подаваться только к тем частям, которые в данный момент работают.

*Вредный поток* компьютера – поток электромагнитного излучения от компьютера и Wi-Fi, поток шума от вентилятора.

*Достаточный поток* – поток электроэнергии и информации, необходимый для нормальной работы компьютера.

*Недостаточный поток* – недостаточный поток электроэнергии и информации, необходимый для нормальной работы компьютера, например, разряженная батарея, когда происходит долгая обработка информации, например, при скачивании информации из Интернета.

### Пример 3.24. Автомобиль

*Бесполезный поток* – поток бензина, когда автомобиль стоит, а двигатель работает, например, на светофоре.

*Вредный поток* – поток углекислого (выхлопного) газа, выбрасываемого в атмосферу, загрязняя окружающую среду.

*Достаточный поток* – поток бензина, обеспечивающий нормальную работу автомобиля.

*Избыточный поток* – поток бензина, избыточно поступающий в двигатель, приводящий к его перерасходу.

*Недостаточный поток* – поток бензина, не обеспечивающий нормальную работу автомобиля.

Любая система и функция имеют определенную **иерархию**.

#### 3.1.6. Иерархия

Опишем иерархию системы:

- собственно, **система**;
- ее **подсистемы**;
- **надсистема**;
- **внешняя среда**.

**Подсистема** – составные части системы.

**Надсистема** – это объект, куда входит система в качестве подсистемы.

Иерархия может иметь более высокие ранги, например, наднадсистема и более низкие ранги, например, подподсистема.

Наднадсистема – это объект, куда входит надсистема, а подподсистема – это элементы, из которых состоит подсистема. Количество рангов может быть достаточно большое.

### Пример 3.25. Компьютер

*Система* – персональный компьютер.

*Подсистемы*: системный блок и устройства ввода – вывода (например, клавиатура, мышь, монитор, принтер, сканер, камера и т. п.).

*Подподсистемы* системного блока – это процессор, материнская плата, видеокарта, оперативная память, жесткий диск, дисковод, звуковая карта, сетевая карта, блок питания и т. д.

*Надсистема* – компьютерные сети и т. д.

*Наднадсистема* – это всемирная паутина, Интернет.

*Внешняя среда* – это среда, в которой находится компьютер, например, помещение, воздух и т. д.

### Пример 3.26. Телефон

*Система* – телефон.

*Подсистемы*: микрофон и наушник, клавиатура, дисплей, память и т. п.

*Подподсистемы* – это элементы, из которых состоят микрофон и наушник, клавиатура, дисплей, память и т. д.

*Надсистема* – АТС, телефонные сети и т. д.

*Наднадсистема* АТС – это региональная и мировая телефонная сеть.

*Внешняя среда* – чаще всего – помещение и воздух.

### Пример 3.27. Автомобиль

*Система* – автомобиль.

*Подсистемы*: колеса, двигатель, бензобак, система управления и т. п.

*Подподсистемы* двигателя – это поршень и цилиндр, шатун, свеча, клапаны, коленчатый вал, картер и т. д.

*Надсистема* – дорожное движение, к которой относятся: дороги, автозаправочные станции, автостоянки, система управления движением, гаражи, ремонтные службы, заводы изготовители и т. д.

*Наднадсистема* – это региональная и мировая сеть дорожного движения.

*Внешняя среда* – открытое пространство и атмосферные явления.

**Функции** также, как и системы, имеют **иерархическую** структуру. Функция более высокого ранга, как правило, более общая функция. Рассмотрим иерархию функций по *степени важности*:

– функция высшего (*нулевого*) ранга – **главная функция**, ее еще называют **главной полезной функцией**;

– функция *первого ранга* – **основная функция**;

– функция *второго ранга* – **вспомогательная функция**.

Можно рассматривать и функции 3-го и ниже рангов.

Иерархия функций показана на графе (рис. 3.2).

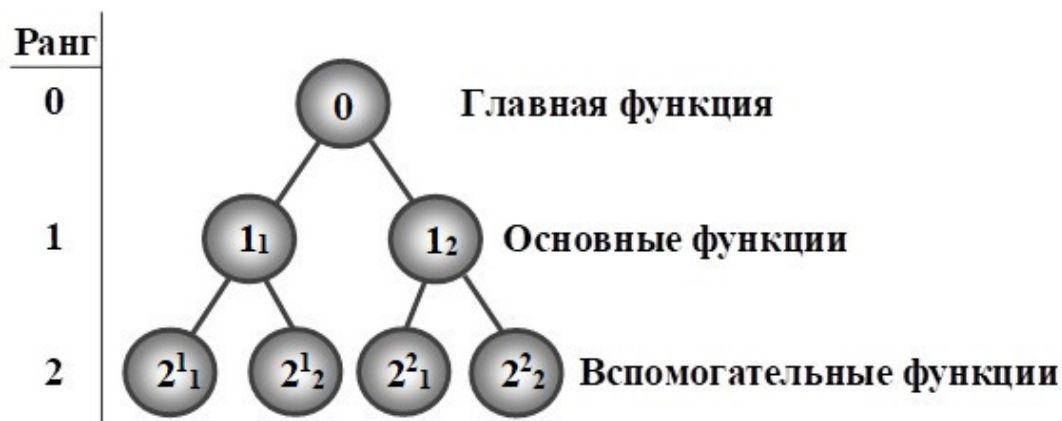


Рис. 3.2. Иерархия функций

**Главная функция** – это функция высшего (нулевого) ранга, указывающая главное действие – предназначение системы. Она должна выполнять главную цель, обеспечивая главную потребность в системе.

**Основные функции** – это функции первого ранга, функции основных подсистем.

Основные функции обеспечивают работоспособность главной функции, а, следовательно, и всей системы в целом.

**Вспомогательные функции** – это функции второго ранга, функции подподсистем. Вспомогательные функции обеспечивают работоспособность основных функций. Функции низших (n) рангов, прежде всего, должны обеспечивать работоспособность функций высших (n-1) рангов.

Функции, обеспечивающие работоспособность, будем называть **необходимыми функциями**. Функциональная работоспособность системы определяется набором необходимых функций всех рангов, который должен быть *необходимым и достаточным*, и в то же время обеспечивать *функциональную полноту*.

### **Пример 3.28. Компьютер**

*Главная функция* – обработка информации (компьютер обрабатывает информацию).

*Основные функции*: системного блока – прием, обработка, хранение и вывод цифровых (электрических) сигналов, клавиатуры – ввод цифровой и буквенной информации, монитора – вывод информации на экран и т. д.

*Вспомогательная функция* части системного блока, блока питания, – обеспечение электрической энергией.

### **Пример 3.29. Телефон**

*Главная функция* – передача звукового сигнала, например, речи.

*Основные функции*: микрофона – преобразование звукового сигнала в электрический, наушника – преобразование электрического сигнала в звуковой, клавиатуры – ввод цифровую и буквенную информацию и т. д.

*Вспомогательная функция* кнопки клавиатуры – ввод конкретного знака.

### **Пример 3.30. Автомобиль**

*Главная функция* – перевозка (перемещение) людей.

*Основные функции*: бензобака – хранение (удержание) бензина, двигателя – преобразование бензина в поступательное движение, трансмиссии – преобразование поступательного во вращательное движение и т. д. *Вспомогательная функция* частей двигателя: поршня и цилиндра – сжатие бензина (создание давления).

Итак, мы рассмотрели основные определения системного подхода: **система, функция, иерархия** и присущие им понятия: **целостность, свойство, отношение, процесс**. Кроме того, были введены понятия: **антропогенная и техническая системы**.

## 3.2. Системность

### 3.2.1. Общие понятия

Понятие системности вытекает из системного подхода.

**Системность** – это свойство, заключающееся в согласовании всех взаимодействующих объектов, включая окружающую среду. Такое взаимодействие должно быть полностью сбалансировано.

*Объект будет выполнен системным тогда и только тогда, когда он отвечает своему предназначению, жизнеспособен и отрицательно не влияет на расположенные рядом объекты и окружающую среду. Таким образом, чтобы объект был выполненным системно, он должен отвечать определенным требованиям.*

#### Системные требования

1. Система должна отвечать своему **предназначению**.
2. Система должна быть **жизнеспособной**.
3. Система **не должна отрицательно влиять** на расположенные рядом объекты и окружающую среду.
4. При построении системы необходимо учитывать **закономерности ее развития**.

**Системные требования** представляют собой составляющие **закона увеличения степени системности** (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Структура системности

**Предназначение системы** описывается *главной функцией системы*, выполняя *главную цель системы*, удовлетворяя определенную *потребность*.

**Жизнеспособность** технической системы определяется ее **работоспособностью** и **конкурентоспособностью**.

Система будет **жизнеспособна**, если она **работоспособна** и **конкурентоспособна**.

**Работоспособность** — это способность выполнять заданную функцию с параметрами, установленными техническими требованиями, в течение расчетного срока службы.

Другими словами **работоспособность** – это качественное функционирование системы, т. е. качественное выполнение главной функции системы.

К параметрам работоспособности помимо качественного функционирования системы (в том числе *надежности* и *долговечности*) можно также отнести *эргономические параметры* (характеризуют соответствие товара свойствам человеческого организма).

Работоспособность определяется наличием необходимых **элементов** с требуемым качеством, наличием и качеством необходимых **связей** между элементами, организацией необходимых **потоков** с требуемым качеством.

**Конкурентоспособность товара** – способность продукции быть привлекательной по сравнению с другими изделиями аналогичного вида и назначения, благодаря лучшему соответствию своих качественных и стоимостных характеристик к требованиям данного рынка и потребительским оценкам.

**Конкурентоспособность** конкретной системы определяется по сравнению с конкурирующей системой. Конкуренция зависит от:

- количества и качества выполняемых функций;
- стоимости данной системы;
- своевременности ее появления на рынке.

Помимо технических функций следует учитывать также **эстетические и психологические**. Один из основных *эстетических параметров* – это *дизайн продукта и упаковки*, включая и цветовую гамму. К *психологическим параметрам* следует отнести *престижность, привлекательность, доступность* и т. п.

Теперь можно представить более детальную схему структуры системности (рис. 3.4), которая является структурой **закона увеличения степени системности**.

Система работоспособна, когда она выполняет главную функцию системы. Работоспособная система отвечает ее предназначению и имеет определенную **структуру**.



Рис. 3.4. Структура закона повышения степени системности

**Структура системы** должна выполнять *главную*, все *основные* и *вспомогательные функции*, представляя собой совокупность взаимосвязанных **элементов** и **связей**.

**Работоспособность** зависит не только от *структуры системы*, но и от свободного прохода необходимых *внутренних* и *внешних потоков*.

### 3.2.2. Отсутствие системности

#### Пример 3.31. Телефон

Электромагнитное излучение, возникающее при разговоре по мобильному телефону вредно воздействует на окружающую аппаратуру, поэтому в самолетах и в больницах не разрешается разговаривать по мобильному телефону.

Антенны ретрансляторов мобильной связи вредно воздействуют на окружающих.



### **Пример 3.32. Автомобиль**

Машины выбрасывают в атмосферу выхлопные газы, загрязняя окружающую среду.

Дорога вредно воздействует на автопокрышки, истирая их.

Атмосфера вредно действует на кузов автомобиля – появляется коррозия.

### **3.2.3. Эволюционное развитие**

Системность так же учитывает и закономерности **исторического развития исследуемого объекта – эволюционное развитие**. Это последнее требование системности. Оно учитывается при прогнозировании развития объекта исследования путем учета выявленных тенденций исторического и логического развития данного объекта, а также учета общих законов развития систем. В результате получают общую тенденцию развития исследуемого объекта и концептуальное представление его следующих поколений.

### 3.3. Системный оператор

Г. С. Альтшуллер разработал «Системный оператор». Его структура представлена на рис. 3.5.

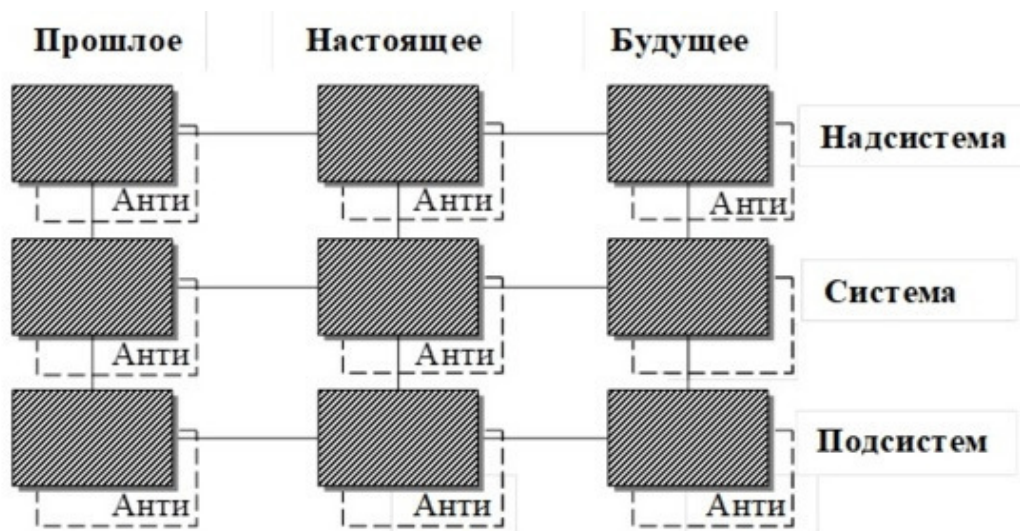


Рис. 3.5. Системный оператор

Человек с рутинным мышлением рассматривает только саму систему (рис. 3.6). Более углубленный подход – выявить и исследовать части, из которых состоит система – подсистемы. Опытные люди выявляют, куда входит система – определяют надсистему и окружающую среду. Это **иерархическая структура**.

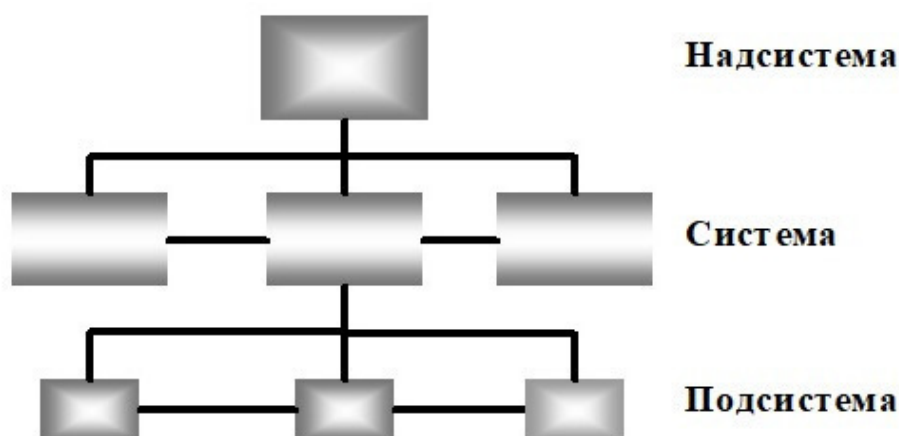


Рис. 3.6. Системные уровни

#### Пример 3.33. Дерево

В качестве системы мы рассмотрим **дерево**, то его подсистемы: *ствол, крона и корни*. В свою очередь подсистемы могут иметь свои составляющие части – подподсистемы, например, крона имеет *ветви*. У ветвей имеются свои подсистемы: *листья, плоды*. У листьев имеются подсистемы: *черешок, прожилки, ткани листа*. Надсистемой дерева является **лес**.

В системном мышлении, прежде всего, мы должны выявлять все структурные составляющие (систему, надсистему и подсистемы), много уровней подсистем и надсистем. Необычайно важно знать соседние системы и окружающую среду. Таким образом, системное мышление должно рассматривать все **иерархические системные уровни**.

Но только знание этих уровней недостаточно. Необходимо учитывать **влияние** подсистем на систему, системы на надсистему и окружающую среду, и обратное воздействие надсистемы и окружающей среды на систему и подсистемы. Без учета этих влияний мы не только сделаем плохо работающую систему или вообще не работоспособную, но можем оказать отрицательное воздействие на подсистемы, соседние системы, надсистему или окружающую среду.

Покажем взаимовлияние подсистем на систему, системы на надсистему и окружающую среду на примере дерева.

### Пример 3.34. Дерево (продолжение)

Вид дерева и его подсистем существенным образом зависит от окружающей среды. Так на севере и высокогорных районах растут, например, карликовые деревья; в пустыне – растения способные запасать влагу (суккуленты), например, кактусы, запасавшие влагу в стеблях, алоэ в сочных листьях.

От условий внешней среды зависят и подсистемы растений. Суккуленты имеют мясисто-сочные стебли, листья, или корневища, луковицы, клубни, способные запасать и долгое время бережно использовать запасенную воду. Кожица стеблей и листьев суккулентов покрыта эластичной лакоподобной пленкой – кутикулой, хорошо отражающей солнечные лучи. Кактус собирает влагу и из воздуха, путем ее конденсации на волосках и колючках (ареолах), общая площадь, которых получается очень большой.

В свою очередь растения влияют и на окружающую среду, выделяя или поглощая из атмосферы кислород или углекислый газ в различное время суток.

### Пример 3.35. Морская игуана

Морская игуана обитает исключительно на Галапагосских островах. Она питается морскими водорослями и имеет уникальную среди современных ящериц способность проводить под водой около часа. Игуаны научились задерживать дыхание на этот срок, замедлять под водой сердечный ритм и пускать отток крови только к жизненно важным органам. Это произошло в результате эволюции изменением способа питания – пища добывается в воде (морские водоросли), а не на суше. Это пример *приспособления к внешней среде*.

У морских игуан на суше и в воде есть маленькие помощники – крабы и рыбы абудельдиф. Это чистильщики, питающиеся паразитами, доставляющими морским ящерицам немало проблем.

Это пример *самоорганизующейся системы*.

Третья составляющая системного оператора – это учет **динамики развития системы**, ее *подсистем* и *надсистем*. Необходимо рассмотреть историческое развитие системы, ее подсистем и надсистем. Эту составляющую мы будем называть **эволюционным** или **генетическим развитием**. Для этого выявляют, какие системы, подсистемы и надсистема были в *прошлом*, и прогнозируют их развитие на *будущее*.

Последней составляющей системного оператора – выявление **анти-систем** на всех уровнях и их использование с учетом динамики развития.

**Анти-система** – это система, которая осуществляет противоположную, по сравнению с исследуемой, функцию. Такое рассмотрение позволяет расширить представление о системе.

Таким образом, системный оператор имеет следующие составляющие:

1. **Структура системы и ее иерархические уровни** (система, подсистемы, надсистема и окружающая среда);
2. **Влияние и взаимовлияние** структурных единиц;
3. **Динамика развития систем** на всех уровнях – **эволюционное развитие**;
4. Учет и использование **анти-систем, анти-функций и анти-действий**.

Приведем примеры использования системного оператора.

### Пример 3.36. Дерево (продолжение)

Система – дерево. Подсистемы дерева мы рассматривали в примере 3.34. В этом примере выберем плод, например, фрукт. Надсистема – лес. Это мы рассмотрели иерархическую линию. Прошлое дерева – это семя. Прошлое плода – цветок и его ДНК. Прошлое леса – земля.

Рассмотрим будущее. Одно из будущих дерева – это древесина. Одно из будущих фрукта (плода) – может быть что-то из плода, например, пирог, но чтобы согласовать с древесиной лучше взять изделие из древесины, например, деревянное блюдо, на котором лежат плоды.. Одно из будущих леса – уголь (рис. 3.7).



### Пример 3.37. Машина (автомобиль)

Система – машина (автомобиль). Надсистемой может быть: автострада, система дорожного движения, включающая систему управления дорожным движением (разметка на дороге, дорожные знаки, светофоры, дорожная полиция

и т. д.), автозаправочные станции, ремонтные мастерские, заводы изготовляющие машины и т. д.

Прошлое машины – это карета. Прошлое двигателя – лошадь. Прошлое автострады – поселочная дорога. Прошлое управления дорожным движением – его отсутствие. Каждый ездил как хотел и где хотел. Прошлое автозаправочных станций – почтовые станции, где менялись экипажи с лошадьми, где лошади отдыхали и их кормили овсом. Ремонтные мастерские в прошлом представляли собой кузнечную мастерскую, а заводы по изготовлению машин – каретные мастерские.

Каждый может себе представить свое будущее. Прежде всего будущее машины зависит от того, из каких подсистем она будет состоять и в какую надсистему она будет входить. Напри-

мер, уже сегодня разработаны машины с электрическими двигателями, имеются двигатели, работающие на водороде и даже сжатом воздухе. Это все приведет к изменению надсистемы. В будущем будет отсутствовать дорожная полиция – все будет автоматизировано. Автомобили будут «общаться» друг с другом, не допуская дорожных происшествий. Дороги могут походить под землей или над землей, не занимая дорогого места на земле.

Рассмотрим АНТИ составляющую.

Функция машины – перемещать (двигать) пассажира. Анти-функция – сдерживать (оставлять на месте). В качестве такой системы может быть тюрьма, домашний арест.

У подсистемы двигателя функция – перемещение поршня. Анти-функция – стопорение (фиксирование). Этой системой может служить любой зажим, например, тиски; рыболовные снасти, например, невод; сачок и т. д.

Если в качестве подсистемы взять «газ», у которого функция увеличить обороты двигателя (ускорение движения), то анти-функцию – уменьшить обороты (замедление движения) – выполняет тормоз.

У подсистемы колеса две функции: перемещение автомобиля и его поддержание на определенном расстоянии от дороги. Анти-функция перемещения – фиксация. Эту функцию осуществляет тоже колесо в режиме тормоза. Анти-функция поддержания – это притягивание или отталкивание. Притягивание к дороге осуществляет антикрыло. В качестве отталкивания может быть воздушная подушка или воздушный шар (дирижабль и т. п.).

Надсистема автострада имеет функции опоры и указания направления движения. Анти-функция опоры – отталкивание (см. выше). Анти-функция указания направления движения – отсутствие указания направления. У самолетов, ракет, судов, подводных лодок и торпед нет указания направления движения в виде дороги. Указание осуществляется виртуально с помощью системы управления.

Надсистема управление дорожным движением имеет одноименную функцию. Анти-функция – отсутствие управление дорожным движением. Это система, в которой отсутствуют все элементы (см. выше). Должна быть самоуправляемая система. Каждая машина связывается с другой машиной. Все вместе они образуют самоорганизующуюся систему (наподобие муравьев или пчел).

Остальные анти-элементы рассмотрите самостоятельно (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Системный оператор для системы машина

### 3.4. Учет влияний

Системный подход подразумевает учет любых изменений и их влияний на систему. Изменения могут происходить **во времени** и **по условию**.

#### **Пример 3.38. Изменения во времени**

Типичные изменения во времени – это смена дня и ночи и времен года. Такие изменения учитываются, например, включением и выключением света, обогревом и охлаждением помещений и т. д.

#### **Пример 3.39. Изменения по условию**

Типовым изменением по условию в природе это фазовые переходы, например, при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  при атмосферном давлении лед превращается в воду. На большой глубине высокое давление. В космосе – невесомость и т. д.

Каждый из нас сталкивается с изменениями по условию в дорожном движении. При красном свете светофора – нет движения, а при зеленом – имеется.

Каждое изменение должно быть учтено при создании новых систем.

Учет всех изменений одна из важных составляющих системного подхода.

Системное мышление должно применяться к любому объекту, к любому явлению и к любому процессу.

### 3.5. Системный подход при проектировании

Системный подход к проектированию требует обязательное выявления *целей, потребностей, функций, принципа действий и систем*.

Проектирование начинается с определения целей.

#### 3.5.1. Системный синтез

Синтез ТС должен осуществляться в следующей последовательности: выявление *потребностей, функций, принципа действия и систем* (рис. 3.9).

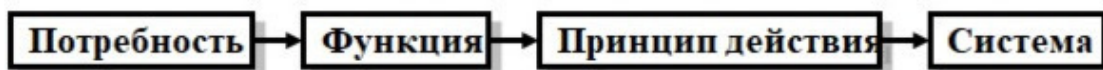


Рис. 3.9. Последовательность этапов системного синтеза

Первоначально выявляют *потребность*, которую необходимо удовлетворить. На следующем этапе определяют все альтернативные *функции*, которые могут удовлетворить данную потребность. Далее выбирают одну из них, наилучшим образом, удовлетворяющим данную потребность.

Для выбранной функции подбираются все возможные *принципы действия* системы и из них выбирается наилучший.

На заключительном этапе определяются все возможные виды *систем*, способные осуществить выбранный принцип действия и отбирается наилучшая.

#### Пример 3.40. Конференция

Представим ситуацию проведения конференции в определенном месте.

Цель – провести конференцию.

Потребность участника конференции – быть в данном месте в данное время.

Функция – перемещение участника с точки А в точку Б.

Опишем только принципы действия перемещения по земле.

Принцип действия: качение, принцип гусеницы, змеи, воздушная подушка и т. д.

Система: колесо, гусеница, воздушная подушка и т. д.

Корректировка может проводиться уже на уровне потребностей.

Если возможно проводить виртуальную конференцию, то участнику не нужно физически присутствовать на конференции, поэтому меняются функции и последующие этапы.

Идеальный системный синтез – это создание **самоорганизующейся системы**, приводящую к ее балансу. Такая система приспосабливается к изменениям и противостоит разбалансирующим изменениям.

Все природные системы самоорганизующиеся. Это относится как к растительному, так и к животному миру. Изменения во внешней среде влияют на них, и они приспосабливаются к этим изменениям. В свою очередь изменения, например, в растительном мире влияют и изменяют окружающую среду. Так эвкалипты, посаженные в болотистых местах, осушают их и меняют окружающую среду.

### 3.5.2. Системный анализ

Анализ ТС осуществляется в обратной последовательности: анализ существующей *системы*, ее составных частей и процессов, анализ *принципа действия* системы, выявление *функций* системы и *потребности*, которую удовлетворяет данная система (рис. 3.10).

Анализ ТС осуществляется в обратной последовательности: анализ существующей *системы*, ее составных частей и процессов, анализ *принципа действия* системы, выявление *функций* системы и *потребности*, которую удовлетворяет данная система (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Последовательность этапов системного анализа

В дальнейшем могут быть выбраны или разработаны альтернативные системы, использующие тот же *принцип действия*, или альтернативные системы, выполняющие ту же *функцию* или альтернативные системы, удовлетворяющие данную *потребность*.

#### Пример 3.41. Стиральная машина

Система – стиральная машина.

Принцип действия – вращение белья с мыльной водой.

Функция – сталкивание белья с водой.

Потребность – соблюдение гигиенической чистоты.

Можно для данной функции найти альтернативный принцип действия. Например, использование ультразвука.

Для данной потребности можно найти другой способ поддержания гигиенической чистоты, например, создание незагрязняющейся одежды. Такие попытки делались в прошлом и настоящем.

### 3.5.3. Анализ выявления недостатков

Анализ системы для определения ее недостатков проводится в следующей последовательности (рис. 3.11):

1. Компонентный анализ.
2. Структурный анализ.



3. Анализ функций.

4. Диагностический анализ.



Рис. 3.11. Последовательность этапов системного анализа для выявления недостатков

Цель **компонентного анализа** – построить компонентную модель. Компонентом мы будем называть любой элемент системы на всех иерархических уровнях: подсистемы, системы, надсистема и окружающая среда. На этом этапе выявляются все компоненты и записываются в таблицу.

Цель **структурного анализа** – построить структуру системы. Определяют все связи между компонентами. Для этого строят матрицу связей (табл 3.1).

| Элементы | 1   | 2   | 3   |     | n   |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1        |     | +   |     |     |     |
| 2        |     |     |     |     |     |
| 3        |     |     |     | +   |     |
| ...      | ... | ... | ... | ... | ... |
| n        |     |     |     |     |     |

Таблица 3.1. Матрица связей

Примечание. Знаком «+» обозначено наличие связи.

Используя данные таблицы, строят графическую модель связей между компонентами.

Цель этапа **анализа функций** – построить функциональную модель. На этом этапе определяют направление и характер действия, т. е. функции.

Таблица функций представлена в табл. 3.2.

| Субъект     | Функция | Объект    | Оценка функции |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| Элемент 1   |         | Элемент 2 |                |
| ...         | ...     | ...       | ...            |
| Элемент n-1 |         | Элемент n |                |

Таблица 3.2. Функции элементов Примечание. У одного элемента может быть несколько функций.

Примечание. У одного элемента может быть несколько функций.

По таблице функций строят графическую функциональную модель.

Цель **диагностического анализа** – построить диагностическую модель, т. е. оценить функции и потоки.

Рассмотрим данную методику на примере комнатного кондиционера.

#### Пример 3.42. Компонентный анализ

Рассмотрим кондиционер сплит-системы настенного типа, т. е. кондиционер, состоящий из двух блоков: наружного (рис. 3.12) и внутреннего (рис. 3.13).

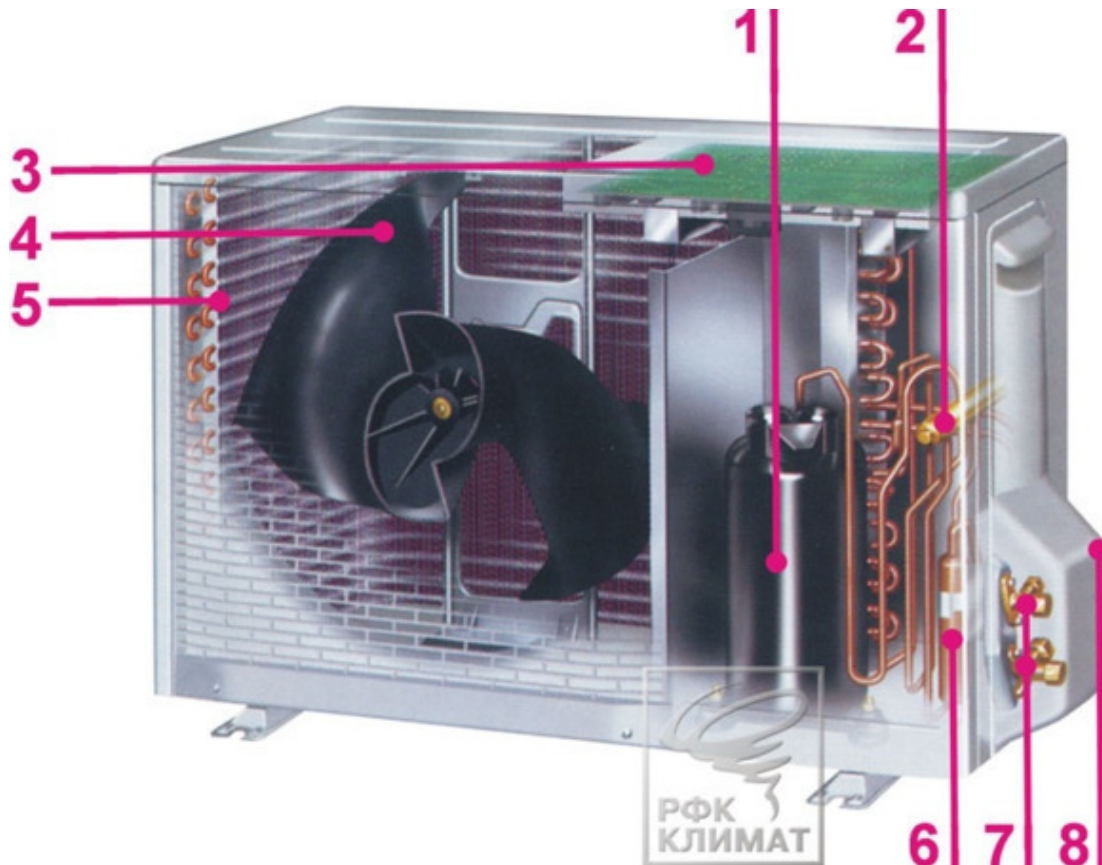


Рис. 3.12. Наружный блок кондиционера<sup>10</sup>

Где

- 1 – компрессор;
- 2 – четырехходовой клапан;
- 3 – плата управления;
- 4 – вентилятор;
- 5 – конденсатор;
- 6 – фильтр фреоновой системы;
- 7 – штуцерные соединения;
- 8 – защитная быстросъемная крышка.

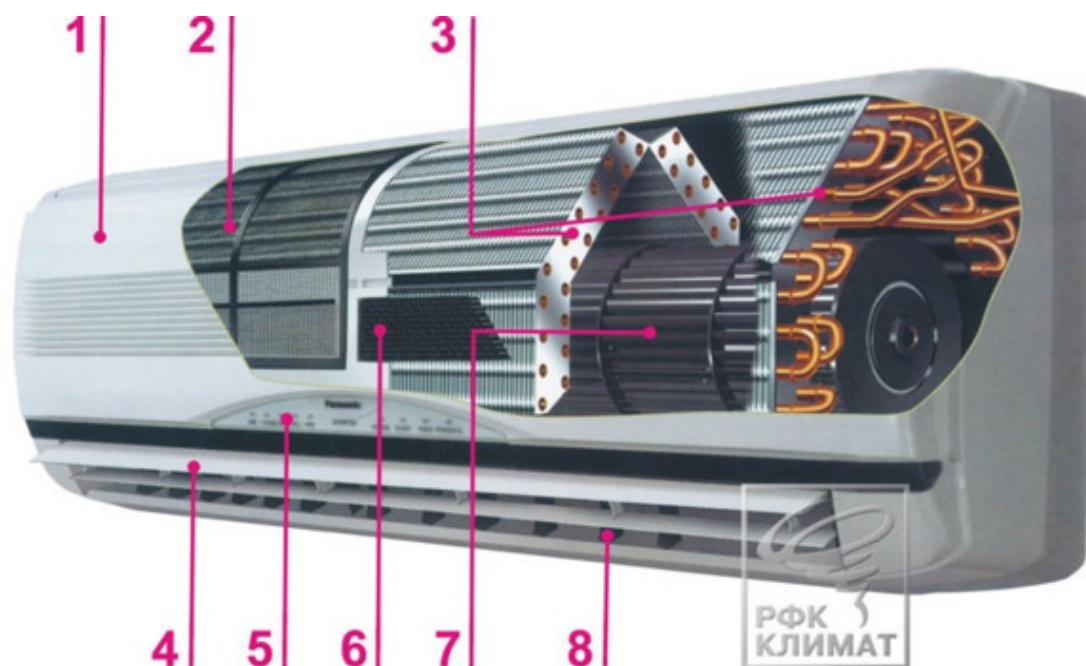


Рис. 3.13. Внутренний блок кондиционера

Где

- 1 – передняя панель;
- 2 – фильтр грубой очистки;
- 3 – испаритель;
- 4 – горизонтальные жалюзи;
- 5 – индикаторная панель;
- 6 – фильтр тонкой очистки;
- 7 – терморегулируемый вентилятор (ТРВ);
- 8 – вертикальные жалюзи.

### Пример 3.43. Структурный анализ

Помимо структурного анализа покажем функциональность кондиционера и основных его частей.

Функционально-структурная схема кондиционера показана на рис. 3.14.

<sup>10</sup> Рис. 3.12—3.14 с сайта [www.rfclimat.ru](http://www.rfclimat.ru) с разрешения руководителя компании Компания РФК Климат Михаила Каминского

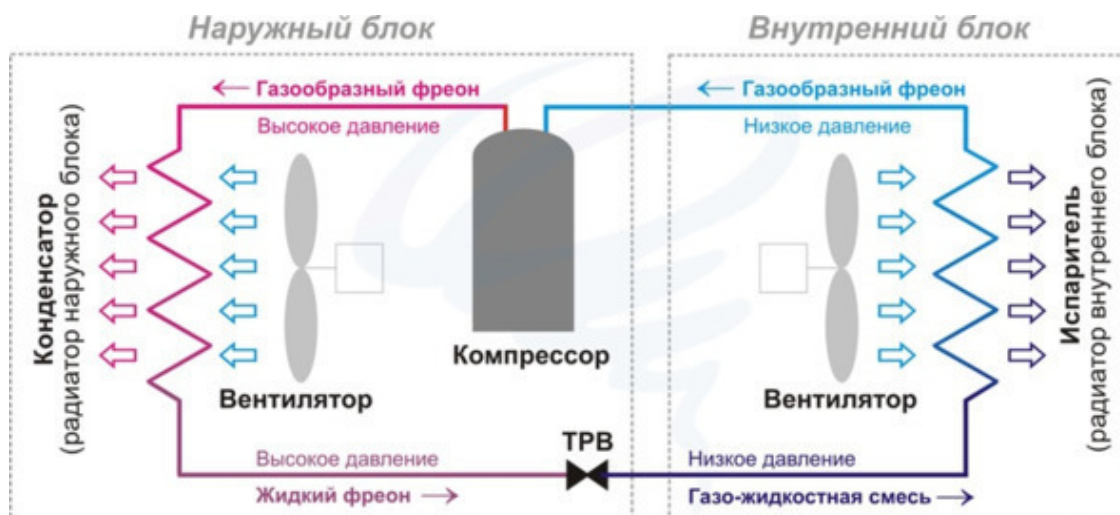


Рис. 3.14. Функционально-структурной схема кондиционера

Принцип работы кондиционера показан на рис. 3.15.



Рис. 3.15. Принцип работы кондиционера в режиме охлаждения<sup>11</sup>

Устройство кондиционера базируется на явлениях *испарении* и *конденсации*. При испарении, влага забирает тепло, а при конденсации, отдает.

Во внутреннем блоке происходит *кипение* и *испарение* хладагента (фреон – газ, кипящий при комнатной температуре и атмосферном давлении). Фреон забирает тепло у теплообменника внутреннего блока, который еще называется *испаритель*, где весь фреон полностью превращается в газ. Поток воздуха, создаваемый вентилятором, проходит через испаритель, отдает свое тепло и выходит из блока охлажденным.

Во внешнем блоке, находящимся на улице, происходит обратный процесс – *конденсация*. Под давлением, создаваемым компрессором, хладагент конденсируется в теплообменнике

<sup>11</sup> <http://pro-kondicioner.ru/stati/princip-raboty-kondicionera.html>

внешнего блока, который называется *конденсатор*, где весь фреон полностью превращается в жидкость. Поток воздуха, создаваемый вентилятором, проходит через конденсатор, отдает свое тепло и выходит из блока подогретым.

Компрессор представляет собой насос высокого давления для газа. Он создает такое давление, чтобы при нормальных температурах весь хладагент успевал сконденсироваться во внешнем блоке. Далее хладагент проходит через дросселирующее устройство (терморегулируемый вентилятор – ТРВ), выравнивая давление.

Четырехходовой клапан переключает кондиционер из режима охлаждения в режим обогрева. Он изменяет (инвертирует) направление движения фреона. При этом внутренний и наружный блок как бы меняются местами: внутренний блок работает на обогрев, а наружный – на охлаждение.

Анализ будет проводиться упрощенный, только по основным частям кондиционера.

Разберем устройство каждой части. Параллельно будем указывать функции, которые выполняет каждая из частей кондиционера.

*Наружный блок:*

1. **Компрессор** – *повышает давление* хладагента (фреона), тем самым, нагревая его, и *перемещает* фреон по холодильному контуру с помощью повышенного давления. Хладагент в компрессор поступает из испарителя.

2. **Конденсатор** – это радиатор. Он *охлаждает* и *конденсирует* фреон. Продуваемый через конденсатор воздух, соответственно, нагревается.

3. **Вентилятор** – *создает поток* воздуха на конденсатор.

4. **Плата управления** – *управляет* внешним блоком и *принимает команды* от пульта управления.

5. **Четырехходовой клапан** – *изменяет (инвертирует) направление движения* фреона. При этом внутренний и наружный блок как бы меняются местами: внутренний блок работает на обогрев, а наружный – на охлаждение.

6. **Фильтр фреоновой системы** – *защищает* систему от попадания мелких частиц, которые могут образоваться при монтаже кондиционера. Устанавливается перед входом компрессора.

7. **Штуцерные соединения** – *соединяют (удерживают)* медные трубки, соединяющие наружный и внутренний блоки.

8. **Защитная быстросъемная крышка** – *защищает* от внешнего воздействия штуцерные соединения и клеммник, используемый для подключения электрических кабелей.

Примечание. При дальнейшем анализе не будут рассмотрены: ТРВ, четырехходовой клапан, фильтр фреоновой системы, штуцерные соединения, клеммник, защитную быстросъемную крышку, устройство платы управления и все датчики.

*Внутренний блок:*

1. **Испаритель** – это радиатор. Он нагревает фреон. Фреон испаряется. Продуваемый через радиатор воздух охлаждается.

2. **Вентилятор** – создает поток воздуха на испаритель. Таким образом, вентилятор внутреннего блока создает две полезные функции:

– помогает нагревать испаритель, а, следовательно, и фреон. Фреон испаряется и охлаждает поток воздуха;

– переносит поток холодного воздуха.

3. **Плата управления** (на рисунке не показана) – управляет внутренним блоком и принимает команды от пульта управления. На этой плате находится блок электроники с центральным микропроцессором.

**4. Терморегулирующий вентиль – ТРВ** (рис. 3.15) – понижает давление хладагента перед испарителем без изменения его агрегатного состояния (фреон должен остаться жидким). Давление снижают для уменьшения температуры кипения фреона в испарителе. Изменением величины давления регулируют температуру кипения (испарения), а, следовательно, и температуру потока воздуха.

**5. Поддон для конденсата** (на рисунке не показан) – сбора конденсата (воды, образующейся на поверхности холодного испарителя). Он расположен под испарителем. Из поддона вода выводится наружу через дренажный шланг.

**6. Передняя панель** – пропускает воздух внутрь блока. Представляет собой пластиковую решетку, через которую внутрь блока поступает воздух.

**7. Фильтр грубой очистки** – препятствует прохождению крупной пыли, шерсти животных и т. п. внутрь блока.

**8. Горизонтальные жалюзи** – регулируют направление воздушного потока по вертикали. Эти жалюзи имеют электропривод, и их положение может регулироваться с пульта дистанционного управления. Кроме этого, жалюзи могут автоматически совершать колебательные движения для равномерного распределения воздушного потока по помещению.

**9. Привод горизонтальных жалюзи** (на рисунке не показан) – перемещает жалюзи.

**10. Индикаторная панель** – показывает режим работы кондиционера и сигнализирует о возможных неисправностях. На передней панели кондиционера установлены индикаторы (светодиоды).

**11. Фильтр тонкой очистки** – препятствует прохождению мелкой пыли. Фильтры бывают различных типов: угольный (удаляет неприятные запахи), электростатический (задерживает мелкую пыль) и т. п.

**12. Вертикальные жалюзи** – регулируют направление воздушного потока по горизонтали. Они служат для регулировки направления воздушного потока по горизонтали. Регулировка вручную.

**13. Штуцерные соединения** (на рисунке не показаны) – соединяют (удерживают) медные трубки, соединяющие внутренний и наружный блоки.

**14. Пульт дистанционного управления** (на рисунке не показан) – передает команды управления на плату управления.

**15. ИК-приемник** (на рисунке не показан) – принимает сигналы от пульта дистанционного управления и передает их на микросхему.

**16. Термодатчик** (на рисунке не показан) — измеряет температуру в испарителе. У некоторых кондиционеров, имеющих режим создания заданной температуры в точке, где находится пульт дистанционного управления. В пульте управления таких кондиционеров имеется дополнительный термодатчик.

**17. Управляющая микросхема** (на рисунке не показана) – обрабатывает входные сигналы и выдает сигналы управления.

Примечание. При дальнейшем анализе не будут рассмотрены: ТРВ, четырехходовой клапан, фильтры грубой и тонкой очистки, горизонтальные и вертикальные жалюзи, привод горизонтальных жалюзи, штуцерные соединения, пульт дистанционного управления, ИК-приемник, управляющая микросхема и индикаторная панель. Поддон для конденсата будем условно считать внутренним корпусом.

Надсистемные элементы, связанные с внешним блоком:

**18. Наружная стена дома** – удерживает наружный корпус.

**19. Окружающая среда** — взаимодействует с наружным корпусом. Будем условно считать – **воздух снаружи**.

Кроме того, имеются еще общие элементы для этих блоков и дополнительные элементы:

**1. Трубки**, соединяющие две части кондиционера. По ним движется хладагент.



2. *Хладагент* – изменяет температуру воздуха (испарение, конденсация).
3. *Электрический силовой кабель*, соединяющий блоки – передает напряжение питания на компрессор и вентилятор.
4. *Кабель управления*, соединяющий блоки – передает сигналы управления.
5. *Электрический силовой кабель*, который включается в электрическую сеть – подводит напряжение питания к кондиционеру.
6. *Дренажный шланг* – отводит конденсат.

### Пример 3.44. Выявление связей в кондиционере

В этом примере определим связи только для минимально необходимых частей кондиционера, надсистемы и окружающей среды (табл. 3.3).

| Элементы системы               | 1. Компрессор | 2. Конденсатор | 3. Стена дома (наружная) | 4. Вентилятор НБ | 5. Корпус НБ | 6. Воздух снаружи | 7. Хладагент НБ | 8. Испаритель | 9. Хладагент ВБ | 10. Вентилятор ВБ | 11. Воздух в комнате | 12. Корпус ВБ | 13. Стена комнаты (внутренняя) |
|--------------------------------|---------------|----------------|--------------------------|------------------|--------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------------|----------------------|---------------|--------------------------------|
| 1. Компрессор                  |               | 0              | 0                        | 0                | –            | 0                 | +               | 0             | 0               | 0                 | 0                    | 0             | 0                              |
| 2. Конденсатор                 | 0             |                | 0                        | 0                | 0            | +                 | +               | 0             | 0               | 0                 | 0                    | 0             | 0                              |
| 3. Стена дома (наружная)       | 0             | 0              |                          | 0                | +            | 0                 | 0               | 0             | 0               | 0                 | 0                    | 0             | 0                              |
| 4. Вентилятор НБ               | 0             | +              | 0                        |                  | 0            | +                 | 0               | 0             | 0               | 0                 | 0                    | 0             | 0                              |
| 5. Корпус НБ                   | +             | +              | –                        | +                |              | 0                 | 0               | 0             | 0               | 0                 | 0                    | 0             | 0                              |
| 6. Воздух снаружи              | 0             | +              | 0                        | 0                | 0            |                   | 0               | 0             | 0               | 0                 | 0                    | 0             | 0                              |
| 7. Хладагент НБ                | 0             | +              | 0                        | 0                | 0            | 0                 |                 | 0             | +               | 0                 | 0                    | 0             | 0                              |
| 8. Испаритель                  | 0             | 0              | 0                        | 0                | 0            | 0                 | 0               |               | +               | 0                 | +                    | 0             | 0                              |
| 9. Хладагент ВБ                | 0             | 0              | 0                        | 0                | 0            | 0                 | +               | +             |                 | 0                 | 0                    | 0             | 0                              |
| 10. Вентилятор ВБ              | 0             | 0              | 0                        | 0                | 0            | 0                 | 0               | +             | 0               |                   | +                    | 0             | 0                              |
| 11. Воздух в комнате           | 0             | 0              | 0                        | 0                | 0            | 0                 | 0               | +             | 0               | +                 |                      | 0             | 0                              |
| 12. Корпус ВБ                  | 0             | 0              | 0                        | 0                | 0            | 0                 | 0               | +             | 0               | +                 | 0                    |               | 0                              |
| 13. Стена комнаты (внутренняя) | 0             | 0              | 0                        | 0                | 0            | 0                 | 0               | 0             | 0               | 0                 | 0                    | +             |                                |

Таблица 3.3. Взаимодействие элементов кондиционера

Где

НБ – наружный блок;

ВБ – внутренний блок;

ЭСК – электрический силовой кабель;

0 – отсутствие связи;

+ – полезная связь;

– — вредная связь.

### Пример 3.45. Определение функций элементов системы

Опишем только наиболее существенные полезные и вредные функции основных элементов (табл. 3.4).

| Субъект                    | Функция              | Объект                     | Оценка функции      |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|
| Компрессор                 | Сжимает              | Хладагент НБ               | Полезная функция    |
|                            | Перемещает           | Хладагент НБ               | Полезная функция    |
|                            | Нагревает            | Хладагент НБ               | Полезная функция    |
|                            | Вибрирует            | Корпус НБ                  | Вредная функция     |
|                            | Создает              | Шум                        | Вредная функция     |
| Конденсатор                | Охлаждает            | Хладагент НБ               | Полезная функция    |
|                            | Нагревает            | Воздух снаружи             | Бесполезная функция |
| Вентилятор НБ              | Перемещает           | Воздух снаружи             | Полезная функция    |
|                            | Вибрирует            | Корпус НБ                  | Избыточная функция  |
| Воздух снаружи             | Охлаждает (обдувает) | Конденсатор                | Полезная функция    |
| Хладагент НБ               | Нагревает            | Конденсатор                | Полезная функция    |
| Корпус НБ                  | Удерживает           | Компрессор                 | Полезная функция    |
|                            | Удерживает           | Конденсатор                | Полезная функция    |
|                            | Удерживает           | Вентилятор НБ              | Полезная функция    |
|                            | Создает              | Шум                        | Вредная функция     |
|                            | Вибрирует            | Стена дома (наружная)      | Вредная функция     |
| Стена дома (наружная)      | Удерживает           | Корпус НБ                  | Полезная функция    |
|                            | Вибрирует            | Стена комнаты (внутренняя) | Вредная функция     |
| Испаритель                 | Нагнетает            | Хладагент ВБ               | Полезная функция    |
|                            | Охлаждает            | Воздух в комнате           | Полезная функция    |
| Корпус ВБ                  | Удерживает           | Испаритель                 | Полезная функция    |
|                            | Удерживает           | Вентилятор ВБ              | Полезная функция    |
|                            | Вибрирует            | Стена дома (наружная)      | Избыточная функция  |
| Вентилятор ВБ              | Перемещает           | Воздух в комнате           | Полезная функция    |
|                            | Вибрирует            | Корпус ВБ                  | Избыточная функция  |
| Воздух в комнате           | Нагнетает            | Испаритель                 | Полезная функция    |
| Хладагент ВБ               | Охлаждает            | Испаритель                 | Полезная функция    |
|                            | Перемещается         | В Компрессор               | Полезная функция    |
| Стена комнаты (внутренняя) | Удерживает           | Корпус ВБ                  | Полезная функция    |

Таблица 3.4. Функции элементов кондиционера

На графической функциональной модели (рис. 3.16) не показаны функции наружного и внутреннего корпусов удерживать компрессор, конденсатор, испаритель и вентиляторы, а также функции наружной и внутренней стен удерживать корпуса. Эти функции не существенны для данной задачи.

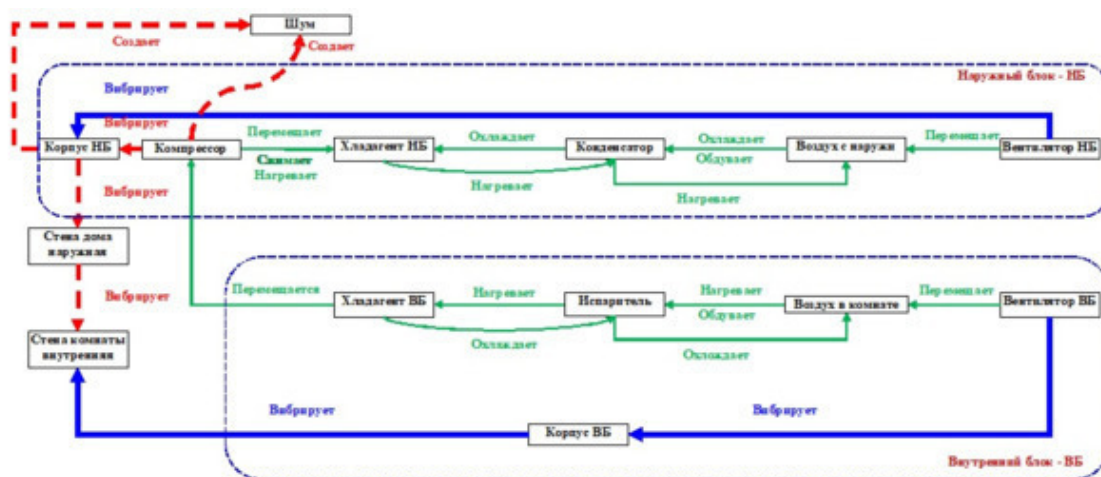
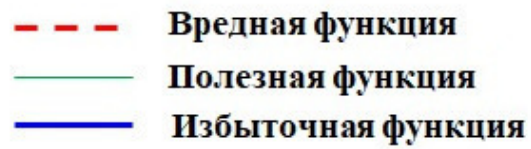




Рис. 3.16. Функциональная схема



Опишем наиболее существенные *недостатки кондиционера*.

1. Наружный блок создает шум.
2. Внутренний блок тоже создает шум, но меньший по уровню.
3. Перемещение воздуха приводит к простудным заболеваниям.
4. Кондиционер создает одну и ту же температуру в комнате. Часто бывает, что для разных людей необходима разная температура.

### 3.6. Выводы

Системное мышление опирается на понятия **система** (п. 3.1.2) и **системность** (п. 3.2). Оно должно учитывать:

1. Иерархию систем.
2. Эволюционное развитие систем. Выявление тенденций развития и использование законов развития систем, прогнозирование будущих событий, будущих систем.
3. Взаимовлияния системы на подсистемы, надсистему и окружающую систему, обратное влияние надсистемы и окружающей среды на систему.
4. Учет изменений во времени и по условию и их влияние.
5. Выявление целей, потребностей, функций, принципов действия системы, структуру и функциональность системы.
6. Особое значение в системном подходе уделяют **взаимовлияниям**:
  - 6.1. При **системном анализе** выявляют все взаимосвязи и взаимовлияния, приводящие к изменениям в системе, подсистемах, надсистеме и окружающей среде. Дается оценка этим влияниям и изменениям. Определяют закономерности этих изменений.
  - 6.2. При **системном синтезе** учитывают все влияния, изменения и закономерности изменений при создании новых систем. Идеальный системный синтез – создание **самоорганизующейся системы**, приводящую к ее балансу. Это система приспосабливается к изменениям и противостоит разбалансирующим изменениям.
7. При анализе недостатков системы проводят ее анализ в последовательности:
  - 7.1. Компонентный анализ.
  - 7.2. Структурный анализ.
  - 7.3. Функциональный анализ.
  - 7.4. Диагностический анализ.

## **3.7. Самостоятельная работа**

### **3.7.1. Контрольные вопросы**

1. Дайте определение системного мышления и системного подхода.
2. Дайте определение системы.
3. Дайте определение системного свойства?
4. Приведите понятия, сопутствующее понятию система.
5. Дайте определение антропогенной системы.
6. Дайте определение технической системы.
7. Приведите приметы технических систем.
8. Опишите иерархию систем. Назовите иерархические уровни системы.
9. Дайте определение функции. Приведите примеры функций технических систем.
10. Опишите виды функций у технической системы.
11. Опишите иерархию функций.
12. Опишите классификацию оценки функций.
13. Что такое полезная функция?
14. Что такое бесполезная функция?
15. Что такое вредная функция?
16. Что такое достаточная функция?
17. Что такое недостаточная функция?
18. Что такое избыточная функция?
19. Дайте определение процесса.
20. Дайте определение потока.
21. Какие виды потоков могут быть?
22. Опишите классификацию оценки потока.
23. Дайте определение системности.
24. Опишите составляющие системности.
25. Опишите системные требования.
26. Опишите составляющие системного оператора.
27. Опишите виды изменений.
28. Опишите этапы и процесс системного синтеза.
29. Опишите этапы и процесс системного анализа.
30. Опишите этапы и процесс анализа выявления недостатков.

### **3.7.2. Темы докладов и рефератов**

1. История появления термина система. Обзор и анализ имеющихся определений системы.
2. Анализ понятия системное мышление и системный подход у различных авторов.
3. Анализ не системного подхода к природе, антропогенным системам и в частности, к технике в истории развития человечества.

### **3.7.3. Выполните задания**

1. Приведите примеры антропогенных и технических систем.
2. Приведите примеры не системного подхода.
3. Используйте системный оператор для лампы.
4. Используйте системный оператор для компьютера.
5. Выберите любую систему и/или процесс и примените к ней системный оператор.

6. Покажите учет влияний в природе.
7. Покажите учет влияний в технике.
8. Осуществите системный синтез для автомобиля.
9. Выберите систему и проведите для нее системный синтез.
10. Осуществите системный анализ для кофеварки.
11. Проведите анализ выявления недостатков для утюга, выполнив компонентный, структурный, функциональный и диагностический анализы.
12. Выберите систему и проведите для нее анализ недостатков.

## Глава 4. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ

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

*Георг Вильгельм Фридрих Гегель*

*...эффективная технология решения изобретательских задач может основываться только на сознательном использовании законов развития технических систем*

*Генрих Альтшуллер*

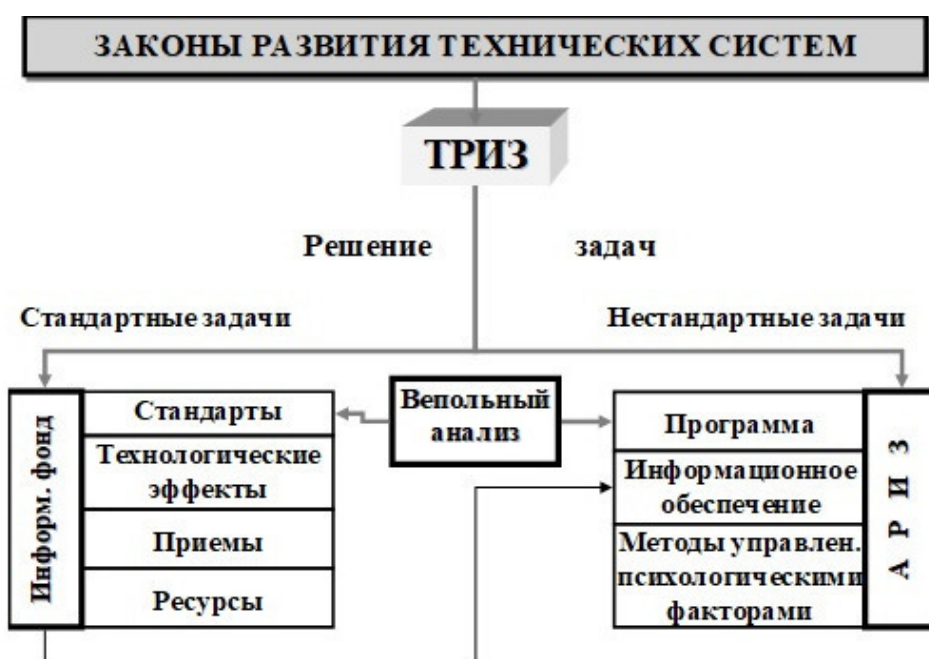


Рис. 4.0. Структурная схема ТРИЗ

### Содержание главы 4:

- 4.1. Общие представления.
- 4.2. Закон S – образного развития систем.
- 4.3. Структура законов развития технических систем.
- 4.4. Законы организации технических систем.
  - 4.4.1. Общие соображения.
  - 4.4.2. Закон полноты частей системы.
  - 4.4.3. Закон проводимости потоков.
  - 4.4.4. Закон минимального согласования.
  - 4.4.5. Построение новой системы.
- 4.5. Законы эволюции систем.
  - 4.5.1. Общие сведения.
  - 4.5.2. Закон увеличения степени управляемости.
  - 4.5.3. Закон увеличения степени динамичности.
  - 4.5.4. Закон перехода на микроуровень.
  - 4.5.5. Закон перехода системы в надсистему

***4.5.6. Закон увеличения степени согласованности.***

***4.5.7. Закон свертывания разворачивания ТС.***

***4.5.8. Закон неравномерности развития частей системы.***

**4.6. Законы развития технических систем Г. С. Альтшуллера.**

**4.7. Прогнозирование развития технических систем.**

## 4.1. Общие представления

Развитие любых объектов материального мира, природы, различных областей знаний, деятельности и мышления развиваются по своим определенным законам.

Законы носят объективный характер, выражая реальные отношения вещей, а также их отражение в сознании. Законы развития технических систем – это основа ТРИЗ.

**Закон** – *внутренняя существенная и устойчивая связь явлений, обуславливающая их упорядоченное изменение.*

Выявлением закономерностей развития техники занимались достаточно давно [48], [64].

Первая система законов развития технических систем была разработана Г. С. Альтшуллером [19, С. 113—127]. Она будет описана в п. 4.6.

Ниже будут представлена система законов развития техники и методика прогнозирования, разработанные автором. Сначала представим общую систему законов.

Законы по виду общности могут быть:

– **Всеобщие законы развития систем** – это *универсальные законы*, справедливые для любой системы независимо от ее природы, вследствие единства материального мира.

– **Общие законы развития систем**, присущие для достаточно широкого класса систем, например, *искусственных систем*.

– **Специальные законы развития систем**, характерные для конкретного класса систем, например, *технических систем*.

К **всеобщим законам** мы относим самые общие из них:

- закон **S—образного развития**;
- **законы диалектики**.

К **общим законам**:

- **законы развития потребностей**;
- **законы изменения функций**.

К **специальным законам** – **законы развития искусственных систем**.

Наиболее общие из **законов диалектики** [48], [64], [80] следующие:

- **закон перехода количественных изменений в качественные**;
- **закон единства и борьбы противоречий**;
- **закон отрицания отрицания**.

**Законы развития потребностей** [48], [64], [80] определяют тенденции их изменения, знать которые необходимо для определения функций и систем, с помощью которых можно удовлетворить возрастающие потребности. Эти законы могут использоваться для прогнозирования новых потребностей.

**Законы изменения функций** [48], [64], [80] описывают тенденции их изменения. Они связаны с закономерностями развития потребностей, но имеют и свою специфику, например, переход систем к полифункциональным (многофункциональным – универсальным) или, наоборот, к монофункциональным (одно-функциональным – специализированным).

Техника развивается в тесном взаимодействии с общественным развитием и экосферой, вследствие чего наблюдаются значительное проникновение и обогащение законов развития общества, природы и техники. Например, развитие техники во многом зависит от потребностей общества и влияет на развитие природы.

**Законы развития технических систем** определяют критерии построения и развития техники.

В данной книге не будут рассматриваться законы диалектики, законы развития потребностей и законы изменения функций.



## 4.2. Закон S—образного развития систем

### 4.2.1. Общие представления

Любая система (в том числе и техническая) проходит несколько этапов своего развития. Эти этапы графически можно представить в виде кривой (рис. 4.1).

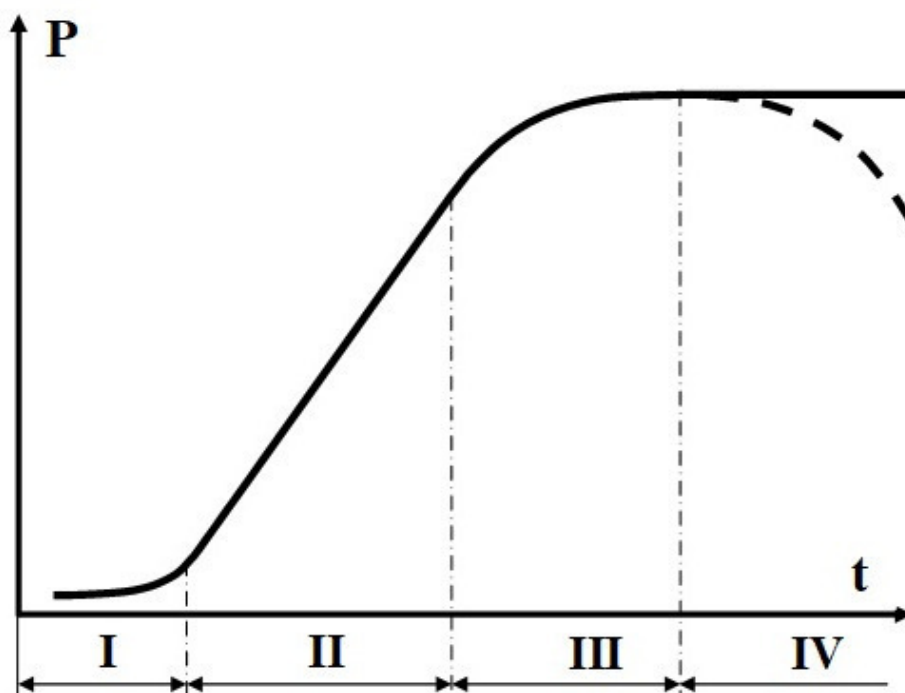


Рис. 4.1. S-образная кривая роста Где P – параметр системы, t – время.

В качестве параметра «P» могут быть, прежде всего, главные характеристики системы, например, размеры, скорость, мощность, производительность, количество проданных товаров, продолжительность жизни, количество популяций и т. д.

Вначале система развивается медленно (этап I), при достижении некоторого уровня развитие ускоряется (этап II) и после достижения некоторого более высокого уровня скорость роста уменьшается и в конечном итоге рост параметра системы прекращается (этап III).

Это этап сатурации, который может продолжиться очень долго. Иногда параметры начинают уменьшаться (этап IV) – система «умирает» (на графике это изображено пунктирной линией).

Подобные кривые часто называют **S – образными** или **логистическими (логиста)**.

Развитие по S-образной кривой первоначально было открыто для биологических систем. Для технических систем:

1. Этап I – «зарождение» системы (появление идеи вплоть до изготовления и испытания опытного образца).

2. Этап II – промышленное изготовление системы и доработка системы в соответствии с требованиями рынка.

3. Этап III – незначительное «дожимание» системы, как правило, основные параметры системы уже не изменяются, происходят «косметические» изменения, оптимизация параметров и доработка технологии изготовления, не существенные изменения внешнего вида или

упаковки. На этом этапе происходит значительное расширение рынка сбыта и переход к массовому изготовлению.

4. Этап IV – параметры системы могут не изменяться или ухудшаться. Ухудшения могут вызываться несколькими фактами:

- следование моде, влияние экономической, социальной или политической ситуации, религиозные ограничения и т. п.;

- физическое и/или моральное старение системы.

Часто, на этапе IV система прекращает свое существование или утилизируется.

В теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) развитие систем по S – образной кривой называют «**Закон S – образного развития систем**».

Для полноты картины рекомендуем самостоятельно рассмотреть и другие линии развития, связанные с S-образной кривой, которые были разработаны Г. С. Альтшуллером и рассмотрены в его работе: «Линии жизни» технических систем [19, С. 113—119].

### 4.2.2. Огибающие кривые

Прекращение роста данной системы не означает прекращения прогресса в этой области. Появляются новые более совершенные системы – происходит скачок в развитии. Это типичный пример проявления закона перехода количественных изменений в качественные. Такой процесс изображен на рис. 4.2.

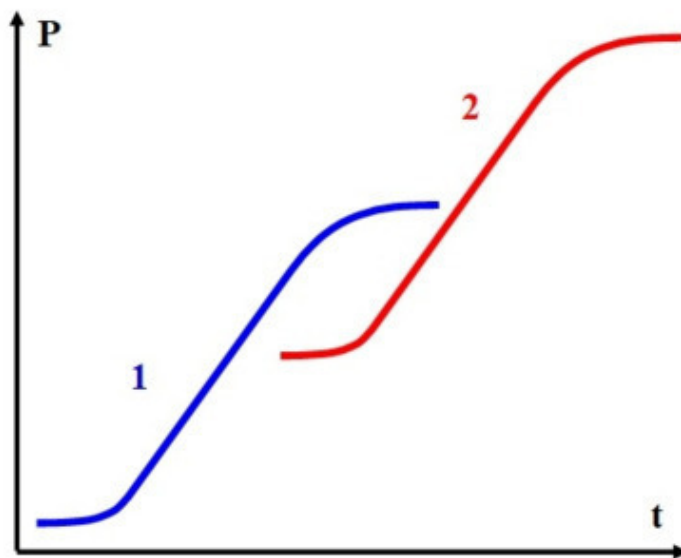


Рис. 4.2. Скачкообразное развитие систем

На смену системе 1 приходит 2. Скачкообразное развитие продолжается – появляются системы 3, 4 и т. д. (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Огибающая кривая

Общий прогресс в отрасли можно показать при помощи касательной к данным кривым (пунктирная линия) – так называемой **огibaющей кривой**.

Развитие любого вида техники может быть примером, подтверждающим этот закон.

#### **Пример 4.1. Развитие радиоэлектроники**

Опишем качественные скачки в развитии радиоэлектроники:

1. радио (детекторный приемник).

2. лампа:

2.1. диод;

2.2. триод;

2.3. тетрод;

2.4. пентод и т. д.;

– транзистор;

– микросхема;

– вакуумная наноэлектроника.

График развития радиоэлектроники показан на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Развитие электроники

### 4.3. Структура законов развития технических систем

Законы развития технических систем можно разделить на две группы (рис. 4.5):

1. **Законы организации систем** (определяют *работоспособность системы*);
2. **Законы эволюции систем** (определяют *развитие технических систем*).



Рис. 4.5. Схема законов развития технических систем

**1. Законы организации** предназначены для построения *новой работоспособной системы*. Группа законов организации технических систем включает (рис. 4.6):

- закон полноты и избыточности частей системы;
- закон проводимости потоков;
- закон минимального согласования.



Рис. 4.6. Структура законов организации систем

**2. Законы эволюции** технических систем предназначены для улучшения, совершенствования существующих систем. Они показывают *общее направление развития систем и тенденции их изменения*. Основные законы эволюции технических систем (рис. 4.7):

- закон увеличения степени идеальности;
- закон увеличения степени управляемости и динамичности;
- закон перехода в надсистему;
- закон перехода на микроуровень;
- закон согласования;

- закон свертывания – развертывания;
- закон неравномерности развития частей системы.

Закон увеличения степени управляемости и динамичности систем имеет подзаконы:

- увеличение степени вепольности;
- увеличение управляемости веществом, энергией и информацией.



Рис. 4.7. Структура законов эволюции технических систем

Закон увеличения степени вепольности будет изложен в главе 5 (п. 5.6).

Увеличение управляемости веществом, энергией и информацией в данной книги не будет рассматриваться. Ознакомиться с ним можно в [80].

## 4.4. Законы организации систем

### 4.4.1. Общие соображения

Законы организации используются при разработке *новых систем* и представляют собой критерии их работоспособности. *Работоспособность* – это качественное выполнение главной функции системы.

**Законы организации технических систем:**

– *закон полноты частей системы*;

– *закон проводимости потоков*;

– *закон минимального согласования* всех элементов системы между собой, с надсистемой и внешней средой

Структура этих законов представлена на рис. 4.6.

### 4.4.2. Закон полноты частей системы

**Необходимым условием принципиальной работоспособности системы является обеспечение ее предназначения и наличие основных работоспособных частей системы.**

Предназначение системы определяется ее *главной функцией*.

К *основным частям* системы относятся (рис. 4.8):

– рабочий орган;

– источник и преобразователь вещества, энергии и информации;

– связи;

– система управления.



Рис. 4.8. Основные элементы системы

Это минимально необходимый набор частей системы, который обеспечивает ее работоспособность.

#### **Рабочий орган**

*Рабочий орган* (иногда его называют «исполнительный элемент» или «инструмент») выполняет *главную функцию системы*. Именно рабочий орган непосредственно взаимодействует с изделием, для которого предназначена данная система.

Остальные части системы предназначены для обеспечения *работоспособности рабочего органа*.

### Пример 4.2. Телефон

Телефон имеет два рабочих органа:

- микрофон;
- наушник.

Функция микрофона – преобразование звука в электрические колебания.

Функция наушника – преобразование электрических колебаний в звук.

### Пример 4.3. Автомобиль

В транспортных системах рабочим органом является движитель.

Он существенно зависит от среды, в которой будет перемещаться транспорт.

Для перемещения по поверхности земли могут использоваться, например, *колеса, гусеницы, лыжи (полосья), ноги* и т. д.

Перемещение в воздухе или в воде может осуществляться, например, с помощью *винта* или *реактивной струи* воздуха, или воды, соответственно.

В автомобиле рабочий орган – это колесо.

Колесо имеет две функции: *перемещать автомобиль* и *поддерживать* его на определенном расстоянии от поверхности дороги.

### Источник и преобразователь

Существуют разнообразные **источники** *вещества, энергии и информации*.

Имеются природные и искусственные источники вещества.

К *природным источникам* вещества можно отнести, например, полезные ископаемые, древесину и т. д., а к искусственным – полученные в результате направленной деятельности человечества.

Среди *источников энергии* можно назвать, например, солнце, ветер, электричество, топливо и т. д. Источники энергии могут быть *внешние, внутренние* и *смешанные*.

*Источники информации* могут быть:

– **по виду поля**: звуковые (акустические); электромагнитные, включающее электрическое и магнитное поля и весь спектр электромагнитных излучений (радиоволны, терагерцовые, инфракрасные – включая тепловые, видимый свет, ультразвуковые, рентгеновские и жесткие); вкусовые; запаховые; тактильные и т. д.;

– **по виду хранения**: наскальные, письменные (книги, журналы, газеты и т. д.), электронные (все виды запоминающих устройств, Интернет и т. д.), произведения искусств и т. п.

Известны различные **преобразователи** *вещества, энергии и информации*.

К *преобразователям вещества* можно отнести химические реакции, электричество (например, электролиз, гальванопластика и т. д.), нанотехнологии и т. д.

Среди *преобразователей энергии* можно назвать двигатели, генераторы, трансформаторы, выпрямители, преобразователи частоты, химические реакции и т. д.

*Преобразователями информации* служат компьютер, радио, телевизор, телефон и т. д.

### Пример 4.4. Телефон

*Источник вещества* – разные металлы и пластмассы.

*Преобразователь вещества* – отсутствует.

*Источник энергии* – электричество.

Стационарный телефон имеет только *внешний источник энергии* – телефонная сеть. Радиотелефон и мобильный телефоны имеют *внешний* и *внутренний* источники энергии, т. е. *смешанные источники*. В трубке радиотелефона имеются аккумуляторы, а база присоеди-



нена к электрической сети. Мобильный телефон тоже имеет аккумулятор, который заряжается от электрической сети.

*Преобразователь энергии* – магнитное поле, пьезо- или магнитострикционный преобразователи.

*Источник информации* – звук (голос).

*Преобразователь информации* – телефон в целом.

#### **Пример 4.5. Автомобиль**

*Источник вещества* – различные вещества из которых сделан автомобиль и топливо.

*Преобразователь вещества* – двигатель.

*Источник энергии* – топливо.

Топливо имеется внутри автомобиля в бензобаке – *внутренний источник энергии*, который пополняется извне – заправочная станция (*внешний источник*).

*Преобразователь энергии* – двигатель. Он же является *преобразователем вещества*. Кроме того, в автомобиле имеются *источники электрической энергии*: аккумулятор и *преобразователь* механической энергии в электрическую – генератор. Пополнение электрической энергии осуществляется за счет вращения коленчатого вала.

#### **Связи**

**Связи** должны обеспечивать:

1) *подвод необходимых и достаточных:*

- *веществ;*
- *энергии;*
- *информации.*

2) *организацию потоков (вещества, энергии и информации).*

3) *обеспечение системных свойств.*

4) *отсутствие вредных воздействий (вредных потоков):*

– *внутренние связи* не должны осуществлять вредных воздействий между элементами системы (вредные потоки);

– *внешние связи* не должны осуществлять вредных воздействий системы на надсистему и окружающую среду и противостоять вредным воздействиям окружающей среды и надсистемы на систему (вредные потоки).

Связи можно разделить по признакам:

**1. Уровень взаимодействия:**

- *внутренние связи;*
- *внешние связи.*

**2. Вид связи:**

- *вещественные;*
- *энергетические;*
- *информационные.*

**3. Полезность:**

- *полезные связи;*
- *нейтральные связи;*
- *вредные связи.*

**4. Наличие:**

- *присутствующая связь;*
- *отсутствующая связь.*

**5. Временные характеристики:**

- постоянная связь;
- временная связь;
- динамическая связь.

#### **6. Вид контакта:**

- контактные.
- бесконтактные.

**Внутренние связи** – это связи внутри системы. Один из видов внутренних связей – это сборка элементов системы в корпусе.

**Внутренние связи** в системе:

- создают структуру системы;
- обеспечивают функциональность системы за счет организации потоков;
- не должны создавать нежелательные и вредные воздействия в системе.

**Внешние связи** – это связи с *надсистемой*, включая изделие, для которого предназначена система, и связи с *внешней средой*. **Внешние связи** системы определяют работоспособность системы при взаимодействии с надсистемой и внешней средой и отсутствие отрицательных внешних воздействий на надсистему и окружающую среду.

**Вещественные связи** – это контактные связи, чаще всего *механические*, например, соединение деталей в корпусе, соединение проводов, труб, трансмиссии и т. д.

К **энергетическим связям** могут быть отнесены, например, *электрические провода* и *кабели*, *топливные трубопроводы* и т. д.

К **информационным связям** могут быть отнесены, например, *провода*, по которым осуществляется передача информации, контроль и управление, все виды *беспроводной связи*.

**Полезные связи** обеспечивают выполнение *полезных функций*.

**Нейтральные связи** – это, как правило, *лишние связи*, не создающие полезной работы и не выполняющие *полезных функций*. Это избыточные связи, которые желательно устранить.

**Вредные связи** – это связи, создающие *вредные действия (вредные функции)*. Этот вид связей необходимо устранять в первую очередь.

**Отсутствующая связь**. Бывают случаи, что при проектировании не учли какую-то полезную связь или после проектирования возникла необходимость в новой связи, а она не предусмотрена. Такую связь мы называем *отсутствующей*.

**Постоянная связь** – это связь, которая не меняется в процессе работы системы, например, связь элементов в корпусе.

**Временная связь** – это связь, которая со временем исчезает, например, стрела имеет связь с луком только во время прицеливания.

**Динамическая связь** – это связь, изменяющаяся во времени, например, в телефоне имеется связь с абонентом только во время разговора, потом она отключается. При необходимости эта связь может быть восстановлена. Практически в любом электронном приборе, транзистор подключает и отключает сигнал.

**Контактные связи** осуществляются с помощью **веществ** – *вещественные связи* (механические соединения, трубопроводы, провода и т. п.).

**Бесконтактные связи** осуществляются с помощью **полей** (весь диапазон электромагнитных излучений: радиоволны, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое, рентгеновские и гамма-излучения; электрическое и магнитное поля; звуковые поля и т. д.).

Приведем примеры связей.

#### **Пример 4.6. Телефон**

К *вещественным связям* относятся (например, различные *механические соединения* частей телефона, линии передачи). К *энергетическим связям* относятся (например, *провода и кабели*). К *информационным связям* могут быть отнесены (например, *провода*, по которым осуществляется передача голоса и управление, все виды *беспроводной связи*).

*Внутренние связи.* Все виды связей внутри телефона: *механические крепления, провода* и т. д. *Внешние связи.* *Провода*, соединяющие телефон и розетку, розетку и распределительный щит, *кабели*, связывающие распределительный щит и АТС, *беспроводная связь* и т. д.

#### **Пример 4.7. Автомобиль**

К *вещественным связям* относятся (например, различные виды *механических соединений, креплений, трансмиссии*). К *энергетическим связям* могут быть отнесены (например, *электрические провода и кабели, топливные трубопроводы*). К *информационным связям* могут быть отнесены (например, *провода*, по которым осуществляется передача информации, контроль и управление, все виды *беспроводной связи*).

*Внутренние связи.* Все *механические крепления и передачи, электрические провода* и т. д. *Внешние связи.* *Связь колеса с дорогой, воздействие окружающей среды* на автомобиль и т. д.

### **Система управления**

Система управления обеспечивает функции контроля и управления объектом. Приведем примеры систем управления.

#### **Пример 4.8. Телефон**

Современный телефон имеет достаточно сложную систему управления, состоящую из клавишей ввода информации, процессора, памяти и т. п. Имеется отдельная система управления встроенными камерами.

#### **Пример 4.9. Автомобиль**

В систему управления автомобилем входят помимо рулевого управления и педалей, бортовой компьютер, осуществляющий управление всеми элементами автомобиля.

К *основным частям системы* можно отнести и **корпус**. Он не является минимально необходимым. Отдельные системы могут обходиться и без него, но большинство систем имеют корпус.

Приведем пример системы *без корпуса*.

#### **Пример 4.10. Лампочка**

При разработке обитаемой космической станции возникла задача размещения лампы – не достаточно места для ее размещения.

Затем вспомнили, что лампа будет работать в космосе. Следовательно, колба лампы не нужна и лампа без корпуса (колбы) свободно размещалась.

Существуют виды систем, где *корпус является минимально необходимым*, например, судно. В водоизмещающих судах корпус выполняет функцию удержания на плаву.

Набор всех основных частей системы представлен на рис. 4.9.



Рис. 4.9. Основные элементы системы

Разработка новой системы должна начинаться с определения всех системных свойств. Прежде всего, начинают с функциональности системы.

Полнота может быть *функциональная* и *структурная*.

**Функциональная полнота** должна обеспечивать *главную функцию* системы, и выполнять все *основные и вспомогательные функции*, т. е. выполнять **предназначение** системы.

#### Функции

##### Пример 4.11. Телефон

*Главная функция телефона – передавать звук.*

*Основные функции: обеспечение энергией и управлением.*

*Вспомогательные функции, например, иметь в памяти постоянные номера телефонов (адресная книга), определение номера звонившего и т. п.*

##### Пример 4.12. Автомобиль

*Главная функция транспортных систем – перемещение объекта на определенное расстояние.*

*Основные функции: обеспечение энергией и управлением.*

*Вспомогательные функции, например, обеспечение безопасности движения, обеспечение комфорта, возможность слушать радио и т. п.*

**Структурная полнота** должна обеспечить наличие необходимых элементов и связей системы, т. е. выполнять другое требование системности – обеспечение состава и структуры системы.

**Элементы и связи** могут быть:

- вещественные;
- энергетические;
- информационные.

Они должны содержаться в необходимом *количестве* и обеспечивать определенное *качество*. Опишем в общем случае элементы.

### **Элементы**

К **вещественным элементам** относятся, например, все *механические части*, в частности, *корпус*.

К **энергетическим элементам** относятся *топливо, источники и преобразователи* различных видов энергии.

К **информационным элементам** могут, например, относиться элементы *системы управления, обработки, хранения и передачи информации*.

#### **Пример 4.13. Телефон**

К **вещественным элементам** относятся, например, *микрофон, наушник, корпус* и т. д. К **энергетическим элементам** относятся *источники электрического тока*. К **информационным элементам** могут, например, относиться элементы *системы управления, преобразования и передачи звука, АТС, линии передачи сигналов* и т. п.

#### **Пример 4.14. Автомобиль**

К **вещественным элементам** относятся, например, все *механические части*, в частности, *корпус, подвеска* и т. п. К **энергетическим элементам** относятся *топливо, топливный бак, двигатель, аккумулятор* и т. д. К **информационным элементам**, например, относятся элементы *системы управления, обработки, хранения и передачи информации*.

### **4.4.3. Закон проводимости потоков**

**Необходимым условием принципиальной работоспособности системы является проход потоков вещества, энергии и информации к требуемому элементу системы.**

Вещества, энергия и информация должны проходить от исходного элемента к требуемому элементу, совершая необходимые преобразования и выполняя соответствующие полезные функции.

Создание правильных потоков обеспечивает необходимую *функциональность* и *работоспособность* системы. Отсутствие хотя бы *одного жизненно-важного потока* делает систему не работоспособной.

**Потоки** могут быть:

- *вещественные*;
- *энергетические*;
- *информационные*.

### **Потоки**

**Вещественный поток** обеспечивает транспортировку вещества в различных агрегатных состояниях (например, в *твердом, гелеобразном, жидком и газообразном*) или *объектов*. Транспортировка **веществ** может осуществляться, например, по *трубопроводам*, с помощью *транспортёров* и т. п., а **объектов** с помощью *транспортных средств*, например, по железной дороге, с помощью автотранспорта, судов, самолетов, эскалаторов, транспортёров и т. д.

**Энергетический поток** доставляет энергию от источника к требуемому элементу. Поток может, например, доставлять механическую, электрическую, химическую и другие виды энергии.

**Информационный поток** обеспечивает *проход информации от системы управления к требуемым элементам и от них к системе управления*. Информационный поток может осуществляться с помощью, например, *проводов и всех видов беспроводной связи*, по которым осуществляется передача информации, контроль и управление.

#### **Пример 4.15. Телефон**

*Энергетический поток* – это доставка электрической энергии от источника к рабочим органам (наушнику и микрофону) и системе управления.

*Информационный поток* – это доставка сигналов к рабочим органам, системе управления и обратно.

#### **Пример 4.16. Автомобиль**

*Вещественный поток*, например, передача топлива от бензобака к двигателю.

*Энергетический поток* – это доставка механической энергии от двигателя к рабочему органу – колесам; доставка топлива от бензобака к двигателю; доставка электрической энергии от аккумулятора или генератора к электрической системе автомобиля.

*Информационный поток* – это доставка сигналов от необходимых элементов к системе управления и обратно и т. д.

#### **Пример 4.17. Вещество в твердом состоянии**

*Пневматическая подача сыпучих веществ*, например, песка на расстояние по трубопроводам, пескоструйка, доставка шариков и т. п.

В производстве бетона в бетономешалку подается потоки веществ в твердом состоянии (цемента, песка, гравия) и в жидком состоянии (воды).

#### **Пример 4.18. Вещество в жидком состоянии**

Водопроводы, сточные потоки, нефтепроводы, системы подачи жидкого топлива, молокопроводы и т. п.

#### **Пример 4.19. Вещество в гелеобразном состоянии**

Системы подачи масел и смазок, транспортировка крема на парфюмерных фабриках и т. п.

#### **Пример 4.20. Вещество в газообразном состоянии.**

Разнообразные пневматические системы и трубопроводы с жатым воздухом, системы подачи кислорода, например, в больницах, системы создания вакуума и т. д.

#### **Пример 4.21. Транспортировка объектов**

Объекты могут транспортироваться:

- по земле;
- под землей;
- по воде;
- под водой;
- воздушным путем;
- в космосе;
- внутри помещений;
- внутри объекта;
- и т. д.

Для этого используются все виды транспортных средств. Внутри помещений, например, используют эскалаторы, лифты, пневматическую почту и т. д.

#### **4.4.4. Закон минимального согласования частей и параметров системы**

**Необходимым условием принципиальной работоспособности системы является минимальное согласование частей и параметров системы и системы с надсистемой.**

**Минимальное согласование** проводится по *функциям, структуре, соответствию структуры функциям и параметрическое* согласование, обеспечивая необходимые *взаимосвязи и взаимовлияния*. Таким образом, согласование бывает:

- функциональное;
- структурное;
- функционально-структурное;
- параметрическое.

*Функциональное согласование* – это согласование функций между собой. Оно осуществляется при формировании функциональной модели для синтеза новых систем.

*Функционально-структурное согласование* – это соответствие структуры системы ее функциям, т. е. согласование структуры и функций.

*Структурное согласование* – это согласование элементов системы между собой. При этом выявляют их взаимосвязь и взаимовлияние друг на друга и на систему в целом, т. е. определяют соответствие этих элементов друг другу. Кроме того, согласовывают систему с надсистемой и внешней средой.

В минимальное согласование входит и *параметрическое согласование*.

#### **Пример 4.22. Телефон**

В первом телефонном аппарате Антонио Меучи (Antonio Meucci) микрофон и наушник были механически не связаны друг с другом и их подносили к уху и рту, поэтому это подходило для любого человека. Затем микрофон закрепили в корпусе, а наушник снимался, и его подносили к уху. Согласование ухудшилось, так как микрофон находился на определенной высоте, и кому-то было удобно, а кому-то – нет.

В дальнейшем создали трубку и расстояние между микрофоном и наушником стали рассчитывать на среднестатистического человека (расстояние между ухом и ртом). Поэтому для кого-то эта трубка была слишком большой, а для кого-то слишком маленькой. Это типичный пример не согласованности параметров (размера трубки и расстояния от рта до уха).

В современных телефонах эту задачу решили с помощью чувствительности микрофона и громкой связи.

#### **Пример 4.23. Телефон**

Источник питания в телефоне согласуется со всеми элементами. На каждый из элементов подается необходимое для него напряжение. *Согласование элементов системы* (параметрическое согласование).

#### **Пример 4.24. Телефон**

В сотовых телефонах частота принимаемого и передаваемого сигнала согласована с частотой приемных и передающих устройств ретрансляторов. *Согласование с надсистемой* (параметрическое согласование).

#### **4.4.5. Построение новой системы**

##### **Последовательность выбора элементов и связей системы:**

**1. Выбор *вида рабочего органа*.** Он должен наилучшим образом выполнять *главную полезную функцию*.

**2. Выбор *источника и преобразователя вещества, энергии и информации*.** Они должны наилучшим образом обеспечивать *работоспособность системы*.

**3. Выбор *системы управления*.**

**4. Выбор *связей*.** Существенным образом зависит от выбранных элементов.

Перед выбором рабочего органа определяют цель разработки, потребность, которую необходимо удовлетворить и функции, способные выполнить эту потребность. На каждом из этапов, сначала выбирают принцип действия этого элемента, а затем уже сам элемент. Таким образом, выбирается концепция будущей разработки.



## 4.5. Законы эволюции систем

### 4.5.1. Общие сведения

**Законы эволюции технических систем** предназначены для улучшения, совершенствования **существующих систем**. Они показывают *общее направление развития систем и тенденции их изменения*.

Основные **законы эволюции технических систем** (рис. 4.7):

- закон *увеличения степени идеальности*;
- закон *увеличения степени управляемости и динамичности*;
- закон *перехода в надсистему*;
- закон *перехода на микроуровень*;
- закон *согласования*;
- закон *свертывания – разворачивания*;
- закон *неравномерности развития частей системы*.

*Закон увеличения степени идеальности является основным законом эволюции. Все остальные законы показывают способы достижения идеальности.*

*Закон увеличения степени управляемости и динамичности систем имеют подзаконы:*

- увеличение степени *вепольности*;
- увеличение управляемости *веществом, энергией и информацией*.

Закон увеличения степени *вепольности* описан в п. 4.6.

Увеличение управляемости *веществом, энергией и информацией* в данной книге не будет рассматриваться. Он описан в [80].

### 4.5.2. Закон увеличения степени идеальности

#### 4.5.2.1. Общие понятия закона увеличения степени идеальности

Г. С. Альтшуллер писал: «Понятие об идеальной машине – одно из фундаментальных для всей методики изобретательства».

Общее направление развития систем определяется законом увеличения степени идеальности. Это самый главный закон эволюции систем.

Г. С. Альтшуллер сформулировал это закон следующим образом:

**Развитие всех систем идет в направлении увеличения степени идеальности.**

Автор пособия незначительно изменил эту формулировку.

Закон увеличения степени идеальности заключается в том, что *любая система в своем развитии стремится стать идеальнее*.

#### 4.5.2.2. Виды степеней идеализации системы

Условно можно выделить четыре степени идеализации системы:

1. Появляться в нужный момент в нужном месте;
2. Самоисполнение;
3. Идеальная система – функция;
4. Функция становится не нужной.

***Система должна появляться в нужный момент в нужном месте по необходимому условию.***

**Идеальная система** должна появляться в нужный момент в необходимом месте по необходимому условию и нести полную (100%) расчетную нагрузку.

В остальное (не рабочее) время этой системы быть не должно (она должна исчезнуть) или выполнять другую полезную работу (функцию).

Нужное действие должно появляться в нужный момент в необходимом месте или при необходимом условии.

Приведем пример идеального воздействия (процесса), совершаемого в нужном месте в нужный момент, не причиняя вреда окружению.

#### **Пример 4.25. Остановка крови**

Внутренние кровотечения в полевых условиях практически невозможно остановить. Это часто приводит к смертельным исходам. Особенно это важно во время ведения боевых действий.

Американские ученые разработали технологию DBAC (Deep Bleeder Acoustic Coagulation), позволяющую быстро свертывать кровь путем нагрева до температуры свертывания (от 70° С до 95° С) под воздействием ультразвука.

Обнаружение кровотечения осуществляется с помощью эффекта Доплера.

Для обнаружения кровотечения прибор подает ультразвуковые импульсы и в месте кровотечения наблюдает максимальное смещение частоты сигнала. Так локализуется место кровотечения.

Ультразвуковые волны воздействуют только на пораженный участок и совершенно не влияют на работу расположенных рядом органов.

#### **Пример 4.26. Печать по требованию (Print-on-Demand)**

Традиционно книги печатают офсетным способом. Это очень производительная и качественная печать. После этого продукцию необходимо доставить в необходимую страну на конкретный склад, где она хранится до тех пор, пока не будет вся распродана.

Идеально, что бы печаталось только необходимое в данный момент количество экземпляров и в нужном месте.

С появлением цифровой печати стало возможным печатать продукцию по требованию. Эта технология получила название Print-on-Demand. Это высококачественная печать, позволяющая выпустить даже одну книгу. Продукция не хранится на складах, а сразу поступает к заказчику.

**Предмет** должен появиться только ***в нужный момент в необходимом месте.***

Можно использовать *убирающиеся, складные, надувные, заменяемые и съёмные предметы* или *их части*. Они не занимают лишнее место и «появляются» в момент, когда они нужны.

**Идеальная информация** появляется в нужный момент в нужном месте при необходимом условии, без затрат времени и усилий на ее поиск.

### **Самоисполнение**

**Идеальная система** должна *выполнять все процессы (действия) самостоятельно (САМА) без участия человека.*

#### **Пример 4.27. Каменщики в Петербурге**

Для строительства Петербурга не хватало каменщиков. Они не хотели ехать в далекую новую столицу.

Царь Петр I издал указ об освобождении петербургских каменщиков от податей, но эта мера не помогла.

Каменщики *сами* по собственному желанию должны прибыть на строительство Петербурга.

Петр I издал другой указ, запрещающий возводить во всей России «всякое каменное строение какого бы имени не было, под страхом разорения всего имения и ссылки». Каменные здания стали возводиться только в Петербурге, что и вызвало приток каменщиков.

Достаточно много технических систем, в названии которых есть слово «САМ» – без непосредственного участия человека. Уменьшение участия человека в работе технической системы осуществляется с помощью механизации, автоматизации и кибернетизации, в частности, *компьютеризации*.

Механизация труда позволяет облегчить выполнение отдельных операций, повысить их производительность и точность изготовления. Создаются специализированные инструменты, приспособления и механизмы.

#### **Пример 4.28. Одевание автомобильных шин на конвейере**

Одна из операций при сборке автомобилей – одевание колес. Конвейер находится на определенной высоте, для удобства сборки. При одевании колеса на вал, его нужно или поднимать вручную, или иметь специальное устройство для его поддержания.

Колесо должно подниматься САМО.

Колесо размещают на тележке сверху (рис. 4.10а). Когда необходимо надевать колесо, рабочий нажимает кнопку, тележка наклоняется, колесо падает вниз (рис. 4.10б), ударяется о пол, подскакивает (САМО поднимается). Когда колесо оказывается на уровне оси, рабочий направляет колесо на ось.

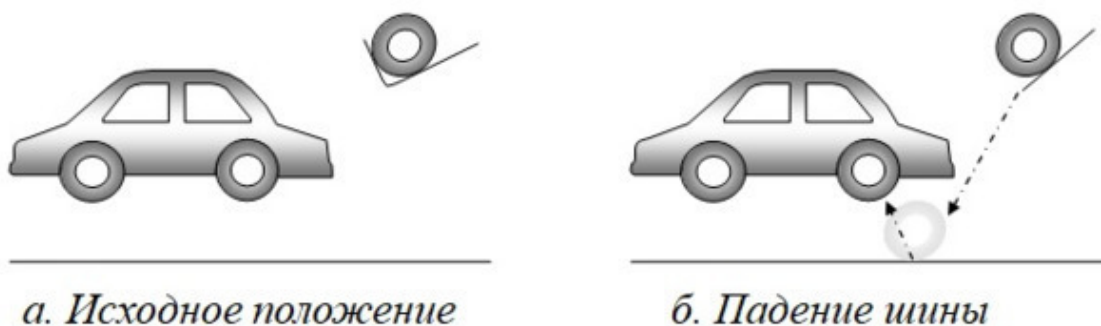


Рис. 4.10. Одевание автомобильных шин

*Механизация* процесса избавляет человека от выполнения физического труда. Все операции выполняются самостоятельно. Человек выполняет только функции управления или вообще не касается этого процесса.

Следующий уровень – использование программ.

#### **Пример 4.29. Стиральная машина**

Стиральная машина САМА (по программе) выполняет необходимую работу.

Более высокий уровень автоматизации – **использование эффектов**.

#### **Пример 4.30. Самомоющееся стекло**

В английской компании Pilkington создали первое в мире оконное стекло, которое само себя очищает от грязи, разрушая органическую грязь, используя солнечный свет и дождевую воду. Его называли Pilkington Activ.

Уничтожение грязи ведется непрерывно, а ее смыв происходит тогда, когда идет дождь, или при омовении стекла водой из шланга.

В наружной поверхности стекла вмонтирована тонкая прозрачная пленка из двуокиси титана (диоксида титана –  $\text{TiO}_2$ ). Под действием света происходит **фотокаталитический процесс**, который разрушает грязь.  $\text{TiO}_2$  – белый порошок, поэтому чтобы пленка была прозрачной ее сделали толщиной 15 микрон. Чтобы грязь не приставала к стеклу его поверхность сделали **гидрофобной**. Использован *физические эффекты* – фотокаталитический и гидрофобный.

Стекло обладает эффектом зеркала и имеет синеватый отлив.

Наиболее дешевый способ идеализации – **использование ресурсов**.

#### **Пример 4.31. Капсульная эндоскопия**

Эндоскопия – способ осмотра некоторых внутренних органов при помощи эндоскопа. Эндоскоп представляет собой прибор, имеющий камеру, которая с помощью волоконной оптики передает изображение на экран монитора. Продвижение камеры осуществляется врачом.

Выпускается капсула, позволяющая исследовать тонкий кишечник. Такую капсулу проглатывают, и она САМА посредством перистальтики кишечника передвигается по желудочно-кишечному тракту и передает изображение тонкого кишечника посредством датчиков. Информация записывается на специальном приборе, который вешается на пояс пациента с помощью специальной сумки. Пациент не ощущает никаких неудобств и неприятных ощущений, которые происходят при традиционной эндоскопии.

*Кибернетизация* труда избавляет человека от управления процессом. Более высокие степени кибернетизации – автоматизация (компьютеризация) мыслительной деятельности. Иногда этот процесс называют *интеллектуализацией*.

В качестве примеров можно привести шахматные компьютерные программы, программы переводчики текстов на различные языки, экспертные системы и системы искусственного интеллекта и т. д.

**Идеальная информация** должна появляться САМА, без затрат времени и усилий на ее поиск.

**Идеальная система – функция**

Идеальной системы быть *не должно*, а ее *работа должна выполняться* как бы сама собой, по мановению «волшебной палочки».

### ***Функция должна выполняться без средств***

Идеальная система – это система, *которой не существует – ее нет, а ее функции выполняются в нужный момент времени, в необходимом месте* (причем в это время система несет 100% расчетную нагрузку), *по необходимому условию, не затрачивая на это веществ, энергии, времени и финансов*.

Главный конструктор танка Т-34 М. И. Кошкин говорил: «Самая лучшая деталь в танке та, которой в нем нет! Действительно – она уж точно не сломается и не сгорит...».

Таким образом, *идеальная система должна выполнять полезные функции в нужный момент времени, в необходимом месте, по необходимому условию, иметь нулевые затраты и не иметь нежелательных эффектов*.

Использование информации не относится к затратам, если она не требует финансовых затрат. Система тем идеальнее, чем больше она использует бесплатной информации.

**Тенденция:** *материальная система* заменяется *виртуальной* или *программным обеспечением*.

### **Пример 4.32. DVD ROM**

Сегодня в квартирах часто имеется несколько компьютеров, которые объединяют в единую местную сеть. Тогда встает вопрос, как сэкономить на отдельных частях компьютеров, например, не покупать для каждого компьютера DVD ROM.

Идеальный DVD ROM – это отсутствующий DVD ROM, который выполняет его функцию.

Использование виртуального DVD ROM за счет программного обеспечения, которое имеется в операционной системе, например, в Windows эта операция называется «подключение сетевого диска». Таким же образом можно подключать дополнительный жесткий диск с другого компьютера, находящегося в местной сети.

### **Пример 4.33. Идеальная клавиатура компьютера**

Клавиатуры быть *не должно*, а ее функция должна остаться. Клавиатуру проецируют на ровную поверхность, например, письменный стол. Нажатие клавиши определяется по пересечению пальцем определенного луча, проецирующего изображение.

Виртуальная клавиатура имеется в планшетах и смартфонах.

Другое решение подавать все команды голосом, которые с помощью компьютерной программы распознаются (voice recognition).

Еще один проект (Project Soli) представляет собой чип, помогающий управлять любыми устройствами, не касаясь их. Трехмерное движение кисти и пальцев воспринимаются с помощью радара. Размеры чипа небольшие (5х5мм), что позволит встраивать его даже в небольшие гаджеты, браслеты или смарт-часы.

### **Пример 4.34. Идеальный экран**

Идеальный экран для проектора – это его отсутствие (его быть не должно), а функция должна выполняться.

Можно использовать стену (лучше белого цвета) или доску, на которой пишут фломастерами. Тогда появляется еще дополнительный эффект – на отображаемую картину можно наносить изображения при помощи фломастеров.

**Идеальная информация** – информация которой нет, а выполняется только ее функция – действие, процесс, который должны происходить с использованием данной информации. Например, принято решение, для которого собиралась данная информация.

***Функция становится не нужной***

***Предельная степень идеализации – отказ от функции – функция становится не нужной.***

#### **Пример 4.35. Процесс мытья посуды**

Раньше посуду мыли **вручную**. Особо грязные места приходилось долго оттирать щеткой. При этом полированная посуда царапалась.

Затем развитие этого процесса осуществлялось в нескольких направлениях. Например, появились различные моющие средства, убыстряющие и улучшающие процесс мытья. После нанесения таких средств нужно только смыть грязь.

Создали посудомоечную машину. Она САМА моет посуду (*самоисполнение*).

Появилась одноразовая посуда. Стал не нужен ни процесс мытья, ни сама функция – очистка посуды. Таким образом, **процесс мытья стал идеальным** – он **перестал существовать**.

Но необходимо собрать грязную одноразовую посуду и выбросить ее. Идеальнее не делать и этот процесс – избавиться и от этой функции. Можно **посуду сделать съедобной**, например, положить ее в питу, багет, капустный лист и т. п. имеется и другая съедобная посуда, например, тарелки, вилки и ложки, чашки

и т. д.

**Идеальная информация** – нет потребности в данной информации. Например, нет потребности в принятии решения, для которого собиралась данная информация.

Описанные выше, степени идеализации характерны не только для системы, но и для вещества, формы и процесса.

#### **4.5.2.3. Показатель степени идеальности**

Система тем идеальней, чем в ней больше **полезных эффектов** и чем меньше **вредных эффектов** (факторов расплаты).

Под **полезными эффектами** понимается:

- система выполняет больше полезных *функций* (полезной работы);
- работа осуществляется максимально *эффективно* и *качественно*.

Под **вредными эффектами** понимаются все расплаты:

- затраты времени и средств;
- вредные воздействия и т. д.

Затраты средств – это затраты на расходы энергии, веществ, элементов, пространства.

**Степень идеализации системы** можно представить в виде формулы (4.1):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i F_i Q_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i C_i + \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i} \Rightarrow \infty; \quad (4.1)$$

Степень идеализации системы

Где

$I$  – степень идеализации (безразмерная величина);

$F$  – полезная функция или полезный эффект (безразмерная величина);

$Q$  – качество полезной функции (эффекта) – безразмерная величина;

$C$  – затраты времени и средств на осуществление полезной функции;

$H$  – вредное действие (безразмерная величина);

$i$  – порядковый номер функции;

$n$  – количество функций;

$\alpha, \beta, \gamma$  – коэффициенты согласования.

В соответствии с формулой для увеличения степени идеальности число полезных функций следует увеличивать и улучшить их качество, а затраты и вредные функции уменьшать. В пределе, когда числитель стремится к бесконечности, а знаменатель стремится к нулю, идеальность стремится к бесконечности.

#### 4.5.2.4. Идеальное вещество

**Идеальное вещество** – вещества нет, а его функции выполняются.

**Вещество** тем **идеальнее**, чем:

- *больше полезный эффект* оно создает;
- *меньше его вес и стоимость*;
- *меньше оно приносит вред (нежелательный эффект)*.

**Степень идеализации вещества** определяется формулой (4.2):

$$I_s = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i E_i}{\beta M + \gamma C + \sum_{i=1}^n \delta_i H_i} \Rightarrow \infty; \quad (4.2)$$

Степень идеализации вещества

Где

$I_s$  – степень идеализации вещества (безразмерная величина);

$E$  – полезный эффект или свойство, выполняемое веществом (безразмерная величина);

$M$  – масса или вес вещества;

$C$  – стоимость вещества;

$H$  – вредное действие, создаваемое веществом (безразмерная величина);

$i$  – порядковый номер полезного эффекта (свойства);

$n$  – количество полезных эффектов (свойств);

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – коэффициенты согласования.

В качестве **полезного эффекта** (функций, свойств) вещества, например, можно назвать: *прочность, эластичность, удельный вес, непроницаемость, тепло- и электропроводимость, тепло- и электроизоляционные свойства, прозрачность, коррозионная и химическая стойкость, pH, агрегатное состояние, температура плавления и кипения, кристаллическая структура, и т. д.*

Имеются вещества с изменяемыми свойствами, использующие различные *эффекты*. Условно мы их будем называть «**умные**» **вещества**. Например, *жидкие кристаллы; поляризационные пластины; вещества, изменяющие свою прозрачность; термо- и фоточувствительные полимеры; флуоресцентные вещества; полимерные гели; материалы с эффектом памяти формы; магниты; магнитная и реологическая жидкость; электреты; тепловые трубы, фото- и светодиоды и т. д.*

«**Умное**» **вещество** – это управляемое вещество с изменяемыми, заранее заданными свойствами, представляющее собой **преобразователь** или **источник** энергии или информации, осуществляющий определенный **эффект** (физический, химический, биологический или математический).

Для разных видов технических систем подбираются свое «идеальное» вещество.

Г. С. Альтшуллер писал: «*Материал „идеальной машины“ работает так, что его свойства используются наилучшим образом, например, металлические части работают только на растяжение, деревянные части – только на сжатие и т. д.*».

В качестве одного из идеальных веществ можно назвать *пену*. Она имеет минимальный вес и выполняет разнообразные функции, например, теплоизоляция, поглощение шума, изоляция потоков газа и т. п.



#### **Пример 4.36. Защита насаждений от заморозков**

Растения и посеы покрывают полимерной «шубой» из пены, защищая их от заморозков. Она безвредна для растений, долго держится, хорошо защищает почву от мороза, а при необходимости без затруднений смывается водой (а. с. 317 364).

Рассмотрим примеры других идеальных веществ.

#### **Пример 4.37. Корпус самолета**

В самолетах используют *дюралюминий*. Он достаточно прочен и легок.

Приведем пример использования «умных» веществ.

#### **Пример 4.38. Соединительная втулка из никелида титана**

Компания «Raychem Corporation» (США) в 1971 году разработала втулку для соединения труб гидравлической системы военных самолетов из материала с **эффектом памяти формы** – нитинола (никилид титана – NiTi). Эта втулка получила название «Cryofit». Она показала себя очень надежной. Из 300 000 поставленных втулок не было ни одной поломки.

#### **4.5.2.5. Идеальная форма**

В некоторых случаях можно говорить и об **идеальной форме**.

**Идеальная форма** – обеспечивает *максимум полезного эффекта* для выполнения определенной *функции*.

Под *полезным эффектом формы* пониматься, например:

- *прочность*, при минимуме используемого материала;
- минимальное *аэро- и гидродинамическое сопротивление*;
- *герметичность*;
- *трение* (минимальное или максимальное);
- *эргономичность*;
- *эстетичность* и т. д.

#### **Пример 4.39. Корпус подводного аппарата**

Для подводного аппарата идеальная форма прочного корпуса – сфера. Она обладает высокой устойчивостью и небольшой плотностью. У сферического корпуса минимальное отношение площади поверхности к объему.

#### **Пример 4.40. Форма антенны**

Антенна радиотелескопа должна иметь гиперболическую форму. Любые отклонения от теоретического гиперболоида дают искажения сигнала. Такую антенну делают из материала с **эффектом памяти формы**.

#### **4.5.2.6. Идеальный процесс**

Процесс осуществляется для получения результата.

**Идеальный процесс** – это *отсутствующий процесс*, его **не должно** быть, а должен быть только **результат**, осуществляемый процессом.

Таким образом: **идеальный процесс – результат.**

В качестве результата может быть взят продукт или действие.

Особым фактором в процессах является **время.**

Процесс происходит тем идеальнее, чем он *производительней, качественней* и чем *меньше требуется затрат* вещества, энергии, трудозатрат (в том числе и на управление процессом), и чем *меньше вредных воздействий* он производит.

**Степень идеализации процесса** можно представить в виде формулы (4.3):

$$I_P = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i F_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i T_i + \sum_{i=1}^n \gamma_i C_i + \sum_{i=1}^n \delta_i H_i} \Rightarrow \infty; \quad (4.3)$$

Степень идеализации процесса

$$F_i = \sum_{k=1}^m L_k x Q_k; \quad (4.4)$$

Функциональность операции

Где

$I_P$  – степень идеализации процесса (безразмерная величина);

$F_i$  – функциональность операции  $i$  (безразмерная величина);

$L_k$  – уровень функции  $k$  в операции  $i$  (безразмерная величина);

$Q_k$  – качество выполнения функции  $k$  в операции  $i$  (безразмерная величина);

$T$  – время выполнения операции  $i$ ;

$C$  – затраты средств на осуществление операции  $i$ ;

$H$  – вредное действие, создаваемое операцией  $i$  (безразмерная величина);

$k$  – порядковый номер функции в операции  $i$ ;

$m$  – количество функций в операции  $i$ ;

- $i$  – порядковый номер операции;
- $n$  – количество операций в процессе;
- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – коэффициенты согласования.

Процесс – это набор операций, которые могут выполняться последовательно и/или параллельно. Кроме того, могут быть обратные связи. Одна операция может выполнять несколько функций. Функции могут иметь разный уровень:

- *главная*;
- *основная*;
- *второстепенная*.

**Идеальный процесс** производит качественный продукт (результат) с **нулевыми затратами** вещества, энергии, времени и управления.

### Способы идеализации процесса

Сокращение времени выполнения процесса и повышение его эффективности может осуществляться способами:

**1. Не выполнять процесс, а использовать результат.**

**2. Выполнение действий заранее (предварительно).**

Заранее (предварительно) выполнить требуемое действие полностью или хотя бы частично. Предварительное выполнение части процесса.

2.1. Заранее обдумать последовательность выполнения операций в процессе;

2.2. Заранее ввести нужные для выполнения процессов «отзывчивые» вещества и поля;

2.3. Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие без затрат времени на доставку с наиболее удобного места.

**3. Устранить ненужные (лишние), повторяющиеся и вредные операции.**

**4. Устранить отдельные операции процесса, передав их функции другим операциям (предыдущим, параллельным или последующим).**

**5. Объединить однородные или смежные операции.**

**6. Использование пауз и холостых ходов.**

**7. Вести работу непрерывно.**

**8. Параллельное выполнение процессов.**

**9. Встречное выполнение процессов.**

**10. Процесс разбивается на отдельные операции, если возможно, каждая операция выполняется параллельно и встречно.**

**11. Выполнение процесса многими системами или частями.**

**12. Использование более управляемых полей и веществ, в частности, замена механического движения на движение более управляемого поля.**

**13. Использование ресурсов.**

Приведем примеры способов осуществления идеализации процесса.

### Выполнить действия заранее

– **Предварительное выполнение части процесса.**

### Пример 4.41. Компьютерная программа для цифровой печати

Благодаря появлению цифровой печати стало возможным печатать документы или книги по требованию (Print-on-Demand – POD). Печатается столько документов, сколько их заказали в данный момент, причем хорошего качества. Это позволяет избавиться от складов и неликвидов. Кроме того, документ печатается в том месте, где он требуется. Таким образом, отпадает необходимость в транспортировке на значительные расстояния больших объемов готовой

продукции – высшая степень идеальности – исчезли функции пересылки на большие расстояния и хранения печатной продукции.

При такой печати очень критично, чтобы печатающая машина не простаивала в ожидании, когда программа успеет подготовить ей очередной лист для печати.

С этой целью поступивший на печать документ предварительно обрабатывают и записывают в буферную память. Объем такой памяти ограничен и его не хватает для записи больших документов, например, книг.

В этом случае документ предварительно обрабатывается, и определяются повторяющиеся места, они и записываются в буферную память. Они, как правило, занимают не много места в памяти компьютера. Эти записи вызываются в момент, когда они необходимы для печати. Таким образом, выполняется часть процесса обработки информации заранее, что позволяет сократить общее время печати.

– **Заранее расставить объекты.**

#### **Пример 4.42. Строительство домов**

Раньше панели для строительства домов привозили заранее и их складировали. Для этого нужно было иметь дополнительные площади. Кроме того, панели могли быть повреждены в следствии плохой погоды или небрежного обращения.

Ввели способ строительства «с колес». Панели привозили точно в то время, когда они нужны. Их выгружали и тут же ставили на место.

Приведем примеры на другие способы сокращения времени проведения процесса.

Опишем идеализацию *процесса сварки*.

#### **Процессы идут встречено**

##### **Пример 4.43. Сварка листов**

При сварке листов процесс будет идти быстрее, если его вести с двух сторон **навстречу** друг другу (а. с. 988 490, 1 234 095). Можно двигать навстречу друг другу лист и дугу (а. с. 1 031 679).

*Разбиение процесса на отдельные операции*

##### **Пример 4.44. Сварка листов**

Процесс сварки будет идти быстрее, если будет использоваться не два, а большее количество электродов, которые попарно двигаются навстречу друг другу (а. с. 303 158).

*Замена механического движения на полевое*

##### **Пример 4.45. Сварка листов**

Можно вообще не тратить время на перемещение электродов, если их расставить заранее в нужном месте на расстоянии, меньшем, чем тепловое пятно. Каждый из электродов подсоединяется к источнику питания и последовательно включается. Таким образом, дуга движется, а электроды стоят на месте (а. с. 285 740).

*Использование имеющихся ресурсов*

##### **Пример 4.46. Как отыскать в стене трассу скрытой проводки?**

Это можно осуществить при помощи приемника. Для этого в розетку нужно включить какой-нибудь слабый источник помех, например, электробритву с отсоединенным помехоза-

щитным фильтром. Приемник настроить в средневолновом диапазоне (но не на станцию) и начать водить им вдоль стены. При пересечении трассы проводки треск из динамика будет усиливаться.

#### 4.5.3. Закон увеличения степени управляемости

**Закон увеличения степени управляемости** является основным из законов *эволюции технических систем* (рис. 4.11).



Рис. 4.11. Структура законов эволюции технических систем

**Развитие системы идет в направлении увеличения степени управляемости.**

Система может быть управляемой тогда и только тогда, когда она содержит в себе элементы, способные **воспринимать управляющие сигналы, преобразовывать** их в управляющие воздействия и адекватно воспринимать **информацию о внутренних изменениях** в системе и **внешних воздействиях** на нее. Это свойство часто называют «**отзывчивостью**».

Общая тенденция увеличения степени управляемости (рис. 4.12) – это переход от:

- **неуправляемой к управляемой системе;**
- **неавтоматического (ручного) управления к автоматическому;**
- **проводного управления к беспроводному;**
- **непосредственного управления к дистанционному.**



Рис. 4.12. Общая тенденция увеличения степени управляемости

**Увеличение степени управляемости** уменьшает степень участия человека в работе технической системы. Иногда эту тенденцию называют **вытеснение человека из технической системы**.

Вытеснение осуществлялось на протяжении всей истории развития человечества.

Первоначально вытеснение осуществлялось на уровне *рабочего органа* – руки и ногти были заменены острым камнем или рогом, которым первобытный человек, например, обрабатывал землю. На следующем этапе заменяли и некоторые *связи* или *преобразователи* – камень привязали к палке. Далее постепенно происходили этапы **механизации**, **автоматизации** и, начиная с 20 века, этап **кибернетизации**.

Этап механизации начинался с примитивных приспособлений, затем вытеснения человека на уровне *двигателя* – человек воспользовался природными силами (ветром, силой падающей воды и т. д.) и животными в качестве двигателя.

Следующий этап развития – замена человека на уровне *системы управления*. Этот этап начинался с примитивных, а затем сложнейших механических автоматов, далее автоматика была электромеханическая, электрическая и электронная.

Этап кибернетизации и интеллектуализации характерен для сегодняшнего дня.

Примеры к этим этапам мы рассматривали в разделе 4.5.2 (*степени идеализации*):

Система все делает *сама* – **самоисполнение** (рис. 4.13):

- механизация;
- автоматизация;
- кибернетизация (интеллектуализация).



Рис. 4.13. Уменьшение участия человека в работе технической системы

#### Пример 4.47. Зонт

Родиной зонтика исторически считают Китай, Египет или Индию, где он, являлся привилегией царей и вельмож. Изобретение датируется XI веком до нашей эры. Первоначально он применялся исключительно в качестве защиты от солнца, и весил более 2 кг, а длина ручки была около 1,5 м.

Первые зонты имели недостаток – они не были складными, т. е. имели только одно устойчивое состояние – открытое. Соответственно, это была *неуправляемая система* – независимо от наличия дождя или прямых солнечных лучей зонтик сохранял свои внушительные размеры.

**Автоматическое управление** в технике – это совокупность действий, направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта без непосредственного участия человека в соответствии с заданной целью управления.

**Тенденция перехода от неуправляемой к управляемой системе** показана на рис. 4.14. Она представляет собой переход от *неуправляемой системы* к *управлению по разомкнутому контуру*, затем к переходу к *системе с обратной связью*, к *адаптивной (самонастраивающейся) системе*, к *самообучаемой* и *самоорганизующейся системе* и, наконец, к *саморазвивающейся* и *самовоспроизводящейся системе*.



Рис. 4.14. Переход от неуправляемой к управляемой системе

**Управление по разомкнутому контуру** осуществляется без знаний о текущем состоянии объекта управления. При таком управлении чаще всего управление ведется по жесткой программе, без анализа каких-либо факторов в процессе работы, либо измеряют и компенсируют главные из возмущений.

Для этого вида управления характерно отсутствие обратной связи, с помощью которой можно получить информацию о том, что происходит в объекте управления.

Структурная схема системы управления по разомкнутому контуру показана на рис. 4.15. *Устройство управления* воздействует на *объект управления* по программе, находящейся в *задающем устройстве*. На объект управления могут воздействовать *возмущения*. Некоторые системы по разомкнутому контуру измеряют главные из возмущений и компенсируются.

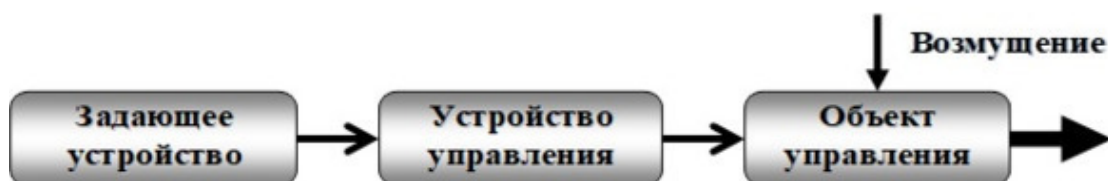


Рис. 4.15. Система управления по разомкнутому контуру

Этот вид управления достаточно примитивен, но часто исполнительные устройства простые, надежны и дешевы. По такому принципу работают примитивные автоматы и конвейерные линии.



**Условия предпочтения управления по разомкнутому контуру управлению по замкнутому контуру:**

- не нужны высокоточные операции;
- система может работать удовлетворительно без гарантии изменений, которые происходят в объекте управления.

#### Пример 4.48. Стиральная машина

Переключение команд в стиральной машине осуществляется по определенной программе.

**Система с обратной связью** представляет собой систему, работающую по замкнутому контуру. В такой системе осуществляется регулирование по отклонению, а цепь прохождения сигналов образует замкнутый контур, включающий *объект управления* и *управляющее устройство*.

Структурная схема системы управления с обратной связью показана на рис. 4.16. Устройство управления воздействует на объект управления посредством сигнала (управляющего воздействия) в соответствии с ошибкой управления, которая вырабатывается в результате сравнения сигнала обратной связи с задающим воздействием. На объект управления могут воздействовать возмущения.



Рис. 4.16. Система управления с обратной связью, где кружок с крестиком – сумматор

**Обратная связь** – это процесс, приводящий к тому, что результат функционирования какой-либо системы влияет на параметры, от которых зависит функционирование этой системы. На вход системы подается сигнал, являющийся функцией выходного сигнала. Часто это делается преднамеренно, чтобы повлиять на динамику функционирования системы.

Различают **положительную** и **отрицательную** обратную связь.

**Отрицательная обратная связь** – это тип обратной связи, при которой входной сигнал системы изменяется таким образом, чтобы противодействовать изменению выходного сигнала. Отрицательная обратная связь компенсирует отклонения управляемой величины от желаемых значений вне зависимости от причин, вызвавших эти отклонения. Таким образом, на вход системы подается инвертируемый выходной сигнал, сигналы вычитаются, уменьшая ошибку управления.

Отрицательная обратная связь делает систему более устойчивой к случайному изменению параметров.

На рис. 4.17 **затемненная часть сумматора** обозначает, что он является **инвертором** (сигнал *вычитается*).



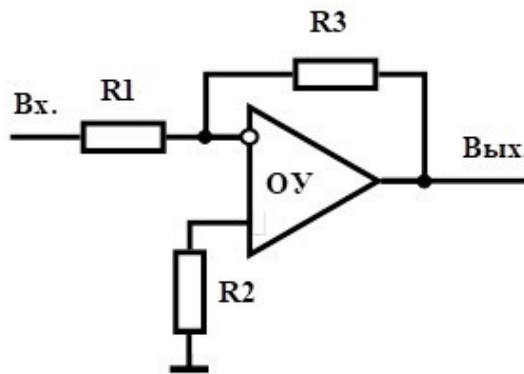


Рис. 4.17. Система управления с отрицательной обратной связью

Примером отрицательной обратной связи является любая система автоматического управления и регулирования, следящая система.

#### Пример 4.49. Инвертор

Простейший пример отрицательной обратной связи – это *инвертор* или *инвертирующий усилитель* (рис. 4.18). Он выполнен на операционном усилителе (ОУ). Обратная связь подается через сопротивление  $R_3$  на *инвертирующий вход* (он обозначается кружочком), при этом фаза выходного сигнала сдвигается относительно входного на  $180^\circ$ . Поэтому *обратная связь отрицательная*.

Рис. 4.18. Схема инвертора (инвертирующего усилителя) ОУ – операционный усилитель,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – сопротивления.

Эффективность управления повышается, если управление осуществляется не только по управляемой величине, но и по ее производным и интегралу.

*Производная* позволяет *раньше реагировать* на изменение управляемой величины, а *интеграл* позволяет *учесть предыдущие изменения*.

**Положительная обратная связь** – это тип обратной связи, при которой изменение выходного сигнала системы усиливается за счет складывания с входным сигналом, способствуя дальнейшему отклонению выходного сигнала от первоначального значения.

Системы с сильной положительной обратной связью неустойчивы, в них возникают незатухающие колебания (*автоколебания*).

*Положительная обратная связь используется, например, в усилителях, генераторах, переключателях и т. п.*

#### Пример 4.50. Генератор

Простейший пример положительной обратной связи – это *генератор*. На схеме (рис. 4.19) генератор выполнен на операционном усилителе (ОУ). Обратная связь подается через сопротивление  $R3$  на *положительный вход*, при этом входной и выходной сигналы складываются, усиливая выходной сигнал. Поэтому *обратная связь положительная*.

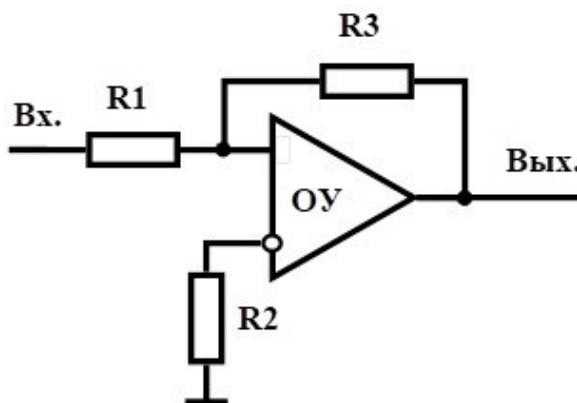


Рис. 4.19. Схема генератора

*ОУ – операционный усилитель,  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  – сопротивления*

**Самонастраивающаяся система** – это система, в которой приспособление к случайно изменяющимся условиям обеспечивается автоматическим изменением параметров настройки или путем автоматического поиска оптимальной настройки. Самонастраивающуюся систему также называют **адаптивной** или **самоприспосабливающейся**.

В самонастраивающихся системах параметры меняются в более широком диапазоне по сравнению с обычными (не самонастраивающимися) системами, в которых осуществляется первоначальная настройка (создание определенных параметров) при разработке системы. Такие параметры влияют на устойчивость и качество процессов управления.

Самонастраивающаяся система сохраняет работоспособность даже в условиях непредвиденного изменения свойств управляемого объекта, цели управления или условий окружающей среды посредством смены алгоритмов своего функционирования или поиска оптимальных состояний.

#### Пример 4.51. Коммутатор

Коммутаторы предназначены для подключения и отключения входных сигналов. Они широко используются в серверах, чтобы повысить производительность пропускания каждого из каналов (портов). Каждый из портов имеет определенную скорость пропускания информации, что ограничивает общую производительность ее прохождения.

Компания IBM разработала коммутатор с самонастраивающимися портами способными автоматически выбирать наибольшую скорость пропускания информации без блокировки каналов.

**Самообучающаяся система** – это система, алгоритм функционирования которой совершенствуется путем самообучения в процессе работы, улучшая функционирование системы.

#### **Пример 4.52. Поисковые системы**

Информацию в Интернете ищут с помощью специальных поисковых систем, например, поисковой машины Google. Программа поисковой машины самостоятельно изучает запросы и впоследствии предоставляет клиентам информацию, более подходящую для каждого из них. Например, предоставляет информацию, к которой чаще всего обращаются.

**Самоорганизующаяся система** – это система, которая способна синтезировать *модель структуры системы* в зависимости от ее предназначения и окружающих ее условий. Она *разрабатывает алгоритм работы* системы, проектируя систему управления, и по синтезируемой модели создает саму систему из имеющихся элементов. Такая система способна перестроить структуру системы, чтобы приспособиться к внутренним или внешним изменениям. В простейшем случае система способна изменить связи между подсистемами, а в сложнейшем случае заменять, добавлять или изменять подсистемы для создания структуры, способной наилучшим образом выполнить необходимые функции.

Основное отличие *самоорганизующейся* системы от *самонастраивающейся* системы заключается в том, что в первой в процессе приспособления преобладают *качественные* изменения, а во второй – *количественные*.

#### **Пример 4.53. Самоорганизующийся робот**

В лаборатории вычислительного синтеза Корнельского университета (США) разработали опытный образец робота, способного синтезировать свою структуру в зависимости от окружающих его условий и обстоятельств воспроизвести себя из универсальных элементов – кубиков.

На поверхности кубиков имеются электромагниты, с помощью которых они могут соединяться и разъединяться друг с другом; питание подводится через контакты на поверхности монтажного стола.

Первоначально робот создает свою модель и по ней синтезирует систему управления, что осуществляется в результате ограниченного количества физических экспериментов (это поисковая самонастраивающаяся система).

Алгоритм работы робота позволяет ему функционально компенсировать механические повреждения в результате коррекции собственной модели.

**Саморазвивающаяся система** – это самообучающаяся, способная не только накапливать знания, но и развивать систему в соответствии с поставленными целями по определенным закономерностям.

#### **Пример 4.54. Саморазвивающаяся компьютерная система**

В патенте США 5 072 406 описана саморазвивающаяся компьютерная система, память которой содержит блоки инструкций, специальных знаний и базовых данных. Блок специальных знаний включает знания конкретной области и стратегию их использования. Блок базовых данных включает знания по использованию инструкций.

При поступлении входного сигнала он обрабатывается и перепроверяется по всем блокам с учетом имеющихся инструкций и базовых данных, вырабатывая выходной сигнал. При выявлении новых знаний они заносятся в блок специальных знаний. В процессе деятельности блок специальных знаний может изменять инструкции, постоянно развивая компьютерную систему.

**Самовоспроизводящаяся система** – это самоорганизующаяся, саморазвивающаяся система, способная создать подобную себе систему.

Основное отличие *самоорганизующейся* системы от *самовоспроизводящейся* системы заключается в том, что в первой используются *готовые подсистемы*, а во второй – их *изготавливает сама система*

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.