

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по изучению дисциплины

для студентов специальности 1 - 36 08 01 «Машины и аппараты легкой,
текстильной промышленности и бытового обслуживания»

Витебск
2016

УДК 67.05(07)

Основы инженерного творчества: методические указания по изучению дисциплины для студентов специальности 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания».

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2015.

Составители: к.т.н., доц. Буевич А.Э.,
к.т.н., доц. Буевич Т.В.

Настоящие методические указания необходимы студентам специальности «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» высших учебных заведений на лабораторных занятиях, при подготовке к экзамену по дисциплине «Основы инженерного творчества». В методических указаниях приведены материалы по тематике лабораторных занятий, даны примеры решения задач инженерного творчества.

Одобрено кафедрой «Машины и аппараты легкой промышленности» УО «ВГТУ». Протокол № 4 от 10 ноября 2015 г.

Рецензент: к.т.н., доц. Краснер С.Ю.
Редактор: к.т.н., доц. Москалев Г.И.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ». Протокол № 9 от 30 ноября 2015 г.

Ответственный за выпуск: Данилова И.А.

Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Подписано к печати 05.07.16. Формат 60x90 1/16. Уч.-изд. лист 4.8.
Печать ризографическая. Тираж 60 экз. Заказ № 210.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

210035, г. Витебск, Московский пр., 72.

Содержание

1 Методы инженерного творчества	5
2 Принципы выбора понятий	7
3 Иерархия описания технических объектов	9
4 Конструктивная эволюция технических объектов	15
5 Законы техники в инженерном творчестве	28
6 Приемы разрешения технических противоречий	32
7 Стандарты на решения изобретательских задач	58
8 Характеристика и отличительные признаки операций Коллера	71
Литература	76

Введение

При изучении студентами специальности 1-36 08 01 «Машины и аппараты легкой, текстильной промышленности и бытового обслуживания» дисциплины «Основы инженерного творчества» на лабораторных занятиях предусмотрено изучение приемов и методов активизации процесса поиска новых технических решений с учетом специфики деятельности инженера-механика, работающего в области легкой промышленности.

Цели и задачи настоящей учебной дисциплины:

1. Обучение навыкам постановки и решения задач, поиска новых, более эффективных конструкторско-технологических решений, в том числе решений, превосходящих мировой уровень.

Такие задачи возникают при разработке новых машин, приборов, технологического оборудования и технологий, при выполнении плановых работ по реконструкции и модернизации. Решение проблемы интенсивного развития экономики выдвинуло большое число дополнительных творческих инженерных задач, связанных с экономией трудовых ресурсов, сырья, материалов и энергии.

2. Подготовка к овладению интенсивной технологией инженерного творчества, основанной на использовании методов инженерного творчества, специально подготовленной информации и вычислительной техники.

Ускорение научно технического прогресса, экономическая мощь государства находятся в прямой зависимости от ее творческого потенциала, т. е. от числа творчески работающих конструкторов, технологов, ученых.

Цель лабораторных занятий – закрепление теоретического материала, который изучают студенты в рамках дисциплины «Основы инженерного творчества», и приобретение практических навыков в области поиска новых технических решений в легкой промышленности.

В методических указаниях подробно описаны практические приемы активизации творческой деятельности инженера-механика при решении технических задач, приведены примеры решения конкретных задач путем применения различных методов и правил, даны методы стимулирования творческого воображения, фантазии, способности к нестандартному мышлению. Методические указания дополняют объем и содержание лекционных занятий по дисциплине.

Использование настоящих методических указаний позволит студентам успешно работать на лабораторных занятиях по дисциплине «Основы инженерного творчества», подготовиться к тестовому контролю знаний.

1 Методы инженерного творчества

Известно довольно большое число методов, которые условно можно разделить на две группы:

1. Эвристические методы технического творчества.

Эвристические методы технического творчества основаны на использовании достаточно четко описанных методик и правил поиска новых технических решений. Начиная с 40-х гг. прошлого столетия резко возросли исследования и разработки по созданию и применению эвристических методов, методик, приемов, принципов, правил и т. п. В настоящее время известно более 100 эвристических методов, методик, подходов и их модификаций.

2. Методы поискового конструирования.

Методы поискового конструирования основаны на использовании ЭВМ в решении творческих инженерных задач. Эти методы начали разрабатывать и применять в 60-х годах. В настоящее время известны десятки различных подходов и методов поискового конструирования.

Эвристические методы технического творчества:

- мозговой атаки,
- эвристических приемов,
- морфологического анализа,
- морфологического синтеза,
- проб и ошибок.

Компьютерные методы:

- синтез технических решений на И – ИЛИ графах,
- синтез физических принципов действия,
- математического программирования,
- синтез оптимальных структур и форм.

Условное разделение между эвристическими и компьютерными методами было проведено в 1977 г. С помощью первых решают задачи технического творчества, с помощью вторых – задачи поискового конструирования. К задачам технического творчества были традиционно отнесены такие, при которых человек решает поставленную задачу способом «проб и ошибок» или с помощью эвристических методов без использования ЭВМ. К задачам поискового конструирования отнесены такие творческие инженерные задачи, которые человек решает с использованием ЭВМ.

Не все задачи поискового конструирования одновременно можно решать с помощью эвристических методов. Теория и практика показали, что существует некоторое множество задач поискового конструирования, которые человек не может решить без ЭВМ или решение их без машинной поддержки вызывает значительные трудности. Это непосильные для естественного интеллекта творческие задачи. Особенно это относится к изделиям, созданным на основе новых физических принципов действия, затруднительных для мысленного моделирования, а также к таким сверхсложным техническим комплексам, о которых человек без ЭВМ уже не может иметь цельного и ясного

представления. Число подобных задач со временем будет расти, что и оправдывает выделение специальных методов поискового конструирования в особую группу и заставляет стимулировать их развитие. В таблице 1.1 представлено сравнение видов инженерных задач по следующим показателям: наличие постановки задачи, указание метода решения, наличие обучающего примера, однозначности результата решения.

Таблица 1.1– Виды инженерных задач

Показатели сравнения задач	Инженерные задачи	
	Четко определенные	Творческие
Постановка задачи	Имеется	Как правило, отсутствует
Метод решения (способ)	Как правило, указан	Не указан
Обучающий пример	Имеется, как правило	Отсутствует, как правило
Результат решения	Однозначен и известен	Многозначен и неизвестен

Приведем физические эффекты и явления, которые необходимо знать для решения инженерных задач.

1. Закон Ома

Возникновение в проводнике электрического тока, плотность которого пропорциональна напряжённости электрического поля.

2. Закон Джоуля-Ленца

Выделение в проводнике при протекании через него электрического тока определённого количества теплоты, пропорционального квадрату силы тока, сопротивлению протекания тока.

3. Эффект Зеебека (термоэлектрический эффект)

Возникновение ЭДС в цепи, состоящей из последовательно соединённых проводников, контакты между которыми имеют различные температуры.

4. Эффект Пельтье (обратный термоэлектрический эффект)

Выделение или поглощение теплоты при протекании электрического тока через контакт разнородных проводников.

5. Эффект Томпсона

Выделение или поглощение теплоты (помимо выделения джоулевой теплоты) в проводнике с током, вдоль которого имеется градиент температуры.

5. Закон Ампера

Выделение механической силы, действующей на проводник, по которому протекает электрический ток, при помещении его во внешнее магнитное поле.

7. Закон Био Савара-Лапласа

Создание в окружающем пространстве магнитного поля при протекании по проводнику электрического тока.

8. Электромагнитная индукция

Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока через ограниченную контуром поверхность.

9. Самоиндукция

Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока.

10. Действие магнитного поля на контур с током

Поворот рамки с током под действием вращающего момента, возникающего при помещении рамки в однородное магнитное поле (следствие закона Ампера).

2 Принципы выбора понятий

В основе любой научной или учебной дисциплины лежит относительно небольшой набор четко определенных понятий. Эти понятия, как правило, связаны между собой и с понятиями фундаментальных наук. Система таких понятий позволяет рассуждать на одном языке о разных объектах техники и достаточно четко сопоставлять их свойства. При формировании основных понятий обычно руководствуются принципами:

- инвариантности,
- достаточности,
- наследственности (преемственности),
- минимальности.

Технический объект (ТО) – созданное человеком или автоматом реально существующее (существовавшее) устройство, предназначенное для удовлетворения определенной потребности.

Синонимом понятия «технический объект», часто встречающимся в литературе, является понятие «техническая система». Понятие ТО включает и отдельные машины, аппараты, приборы, ручные орудия труда, одежду, здания, сооружения, устройства, и комплексы взаимосвязанных машин, аппаратов, приборов (машинно-тракторный агрегат, автопредприятие, завод и т. п.), исполняющие определенную функцию (операцию) по преобразованию объектов живой и неживой природы, энергии или информационных сигналов. К ТО относятся также любые элементы (агрегат, блок, узел, деталь), составляющие машину, аппарат, прибор.

Существует иерархическое соподчинение ТО различных уровней. Так, например, автомобили или тракторы, являющиеся элементами транспортной или технологической системы, могут быть разделены на агрегаты или блоки, которые, в свою очередь, состоят из узлов и деталей. Почти у любого ТО существуют надсистема и подсистема, т. е. другой ТО, соответственно, в который он или который в него функционально включается или входит как отдельный элемент или подсистема.

Технология – способ, метод или программа преобразования вещества, энергии или информационных сигналов из заданного начального состояния в заданное конечное состояние с помощью определенных ТО. Разнообразие технологий велико и продолжает быстро возрастать. Существуют технологии получения энергии из углеводородного топлива, различные технологии изготовления валов и зубчатых колес, технологии изготовления стекла или низкотемпературных жидкостей и т. д.

Современный уровень развития науки и техники требует от проектировщика не только создания технических объектов и технологий, удовлетворяющих конкретные потребности человека, но и решать проблемы безопасности и удобства при их изготовлении, обслуживании и ремонте, а также при утилизации после окончания срока эксплуатации. Это обуславливает необходимость проведения всестороннего анализа, как правило, с применением ЭВМ, принимаемых конструктивных решений для вновь создаваемых или модернизируемых ТО и технологий на все виды показателей. Для этого создаются вербальные и/или визуальные модели ТО, позволяющие получить ответы на два вопроса:

-соответствует ли рассматриваемый ТО или его описание данному требованию или списку требований?

-какой из альтернативных вариантов лучше по данному показателю качества?

Для оценки соответствия требования и выбора лучшего варианта используют три типа моделей и соответственно три способа и средства моделирования: мысленные, математические и физические.

Мысленные, или интуитивные, модели. Для их реализации необходим человек (эксперт), который на основе имеющихся знаний и опыта проводит мысленные эксперименты с ТО с целью выявить его соответствие требованиям или выбрать из двух вариантов наилучший по определенному показателю качества. Например, глядя на чертежи двух различающихся по конструкции сцеплений, эксперт может ответить на вопросы: выдержат ли они задаваемую нагрузку; какая конструкция имеет меньше трудоемкость изготовления или расход материалов и т. д.

Математические модели. Они позволяют оценить требования и критерии качества с помощью расчетных формул, систем уравнений, алгоритмов и т. п. Для случая со сцеплением на основании формул и уравнений механики и сопротивления материалов можно вычислить нагрузки и долговечность. Используя формулы определения объемов тел, можно подсчитать расход материалов, а с помощью специальной методики (алгоритма) – трудоемкость их изготовления.

Физические модели. С их помощью можно оценить требования и критерии качества путем реализации и испытания самого ТО или его уменьшенных (иногда увеличенных) и часто упрощенных образцов. Так, опытный образец сцепления можно подвергнуть всесторонним стендовым и

эксплуатационным испытаниям; при изготовлении можно провести хронометраж и точно определить трудоемкость.

Исторически с незапамятных времен человек пользовался мысленными и физическими моделями. Около 2-х тысяч лет назад для оценки отдельных требований уже применяли математические модели. Начиная с XVII– XVIII веков стало быстро расширяться использование математических моделей в связи с бурным развитием математики, механики, термодинамики и других наук. Еще большие возможности в создании математических моделей принесли появившиеся в середине XX века быстродействующие вычислительные машины.

У математических моделей в последнее время значительно расширилась область применения. Многие ТО сейчас можно создавать уже без использования физических моделей (например, зубчатые передачи, электрические машины, элементы автоматики и т. д.). Однако существует большое число ТО, для которых математические модели не вытеснили и, очевидно, долго еще не смогут вытеснить мысленные и физические модели (например, при разработке систем управления автомобилей и тракторов). Это объясняется двумя причинами. Во-первых, существующие возможности математических моделей пока недостаточны для описания явлений и процессов в некоторых ТО. Во-вторых, темпы развития и возрастания сложности ТО опережают возрастание возможностей математических моделей.

Выбор того или иного типа моделей обуславливается требованиями по точности, временным затратам и стоимости моделирования.

В инженерной практике наряду с использованием в чистом виде указанных трех типов моделей используют также их различные комбинации. Например, аналоговое моделирование представляет собой комбинацию математического и физического моделирования. Имеет также место комбинирование мысленных и математических моделей, когда в методике (алгоритме) расчета используют предварительные или последующие экспертные оценки.

3 Иерархия описания технических объектов

Любой ТО может быть представлен описаниями, имеющими иерархическую соподчиненность и характеризующимися двумя свойствами:

-каждое последующее описание является более детальным по сравнению с предыдущим;

- каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Такие свойства имеют описания, представленные на рисунке 3.1: потребность или функция ТО; техническая функция (ТФ); функциональная структура (ФС); физический принцип действия (ФПД); техническое решение (ТР); проект.



Рисунок 3.1– Иерархия описаний ТО

Потребность – общепринятое и краткое описание на естественном языке назначения ТО или цели его создания (существования). При описании потребности отвечают на вопрос: «Что (какой результат) желательно иметь, получить и каким особым условиям (ограничениям) при этом нужно удовлетворить?»

Описание потребности должно включать следующую информацию:

- необходимое действие (наименование действия);
- объект (предмет обработки), на которое направлено это действие;
- особые условия и ограничения.

Описание потребности формализовано можно представить в виде:

$$P = (D, G, H), \quad (3.1)$$

где D – указание действия, производимого рассматриваемым ТО и приводящего к желаемому результату (реализации интересующей потребности); G – указание объекта, или предмета обработки, на который направлено действие D; H – указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие D.

Наряду с понятием потребности в инженерной практике широко используется понятие **функции ТО**. Описания потребности и функции ТО тождественно совпадают.

Различие между потребностью и функцией состоит в том, что понятие потребности всегда связано с человеком или автоматом (коллективом людей, автоматов), поставившим задачу реализации потребности и выполняющим проектирование соответствующего ТО и его изготовление. Понятие функции всегда связано с ТО, реализующим эту потребность. Человек часто выступает в двух качествах: как субъект, формулирующий потребность, и как элемент ТО, реализующий эту потребность. Различать эти понятия будем тем, что в

описании потребности используется существительное, а функции – глагол (в таблице 3.1 описания функции указаны в скобках).

Техническая функция (ТФ). Описание ТФ содержит информацию:

- потребность, которую может удовлетворить ТО;
- физическая операция (физическое превращение, преобразование), с помощью которой реализуются потребности.

Следовательно, описание ТФ состоит из двух частей:

$$F = (P, Q), \quad (3.2)$$

где P – удовлетворяемая потребность, описываемая по формуле (3.1); Q – физическая операция.

Описание физической операции (ФО) формализовано представляется состоящим из трех компонент:

$$Q = (A_T, E, C_T), \text{ или } Q = (A_T \rightarrow E \rightarrow C_T), \quad (3.3)$$

где A_T , C_T – входной или выходной поток (фактор) вещества, энергии или сигналов; E – наименование операции Коллера по превращению A_T в C_T .

Это описание отвечает на вопросы «что» (A_T), «как» (E), «во что» (C_T) преобразуется с помощью описываемого ТО. Число входов A_T , действий E и выходов C_T в общем случае произвольное. Иначе говоря, под физической операцией будем подразумевать физическое преобразование заданного входного потока, или фактора, в выходной поток (фактор). В таблице 3.2 приведены примеры описания ФО для ТО, указанных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Примеры описания потребности

Наименование ТО	D	G	H
Грузовой автомобиль	перевозка (перевозит)	грузы	по дороге
Трактор	приведение в действие (приводит в действие)	Машины орудия	в движении и на месте
Путепровод	обеспечение движения (обеспечивает движение)	автомобили	через препятствие
Светильник	освещение (освещает)	помещение	
Карандаш	оставление (оставление)	след	видимый
Система отопления	нагревание (нагрев)	воздуха	в помещении

Функциональная структура (ФС). Подавляющее большинство ТО состоит из нескольких элементов (агрегатов, блоков, узлов) и могут быть естественным образом разделены на части. Каждый элемент как самостоятельный ТО выполняет определенную функцию и реализует определенную физическую операцию (ФО), т. е. между элементами имеют место два вида связей и соответственно два вида их структурной организации.

Во-первых, элементы имеют определенные функциональные связи друг с другом, которые образуют конструктивную функциональную структуру.

Конструктивная ФС представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименования элементов, а дугами – функции элементов.

Во-вторых, между элементами ТО имеются еще потоковые связи, так как элементы, реализуя определенные физические операции, образуют поток преобразуемых или превращаемых веществ, энергии, сигналов или других факторов. Например, в прокатном стане на входе такого потока имеются заготовки сечением 209x200 мм, а на выходе – стальная лента толщиной 1 мм, шириной 2 м; в гидроэлектростанции на входе – поток воды с напором, например, 20 м и расходом 150 м³/с, а на выходе – электрический ток напряжением 380 В и частотой 50 Гц. Такие потоки определенным образом объединяют и связывают элементы ТО и соответственно их ФО. В сложных ТО часто присутствуют несколько взаимосвязанных потоков.

Таблица 3.2– Примеры описания физических операций

Наименование ТО	A_T	Е	C_T
Грузовой автомобиль	топливо	преобразование	движение груза
Трактор	топливо	преобразование	работа машин орудий
Путепровод	автомобиль	проведение	автомобиль
Светильник	электричество	преобразование	световой поток
Карандаш	грифель	отображение	видимый след
Система отопления	теплота (воды)	передача	теплота (воздуха)

Взаимосвязанный набор ФО, реализующих один определенный поток преобразований вещества, энергии или сигналов, либо несколько взаимосвязанных потоков называют **потоковой функциональной структурой**. Потоковая ФС представляет собой граф, вершинами которого являются наименования элементов ТО или наименования операций Коллера Е, а дугами – входные A_T и выходные C_T потоки (факторы).

Различают две разновидности потоковой ФС: конкретизированная потоковая ФС, у которой в вершинах графа указаны наименования элементов; абстрагированная потоковая ФС, у которой в вершинах графа указаны

наименования операций Коллера (раздел 8). Абстрагированную потоковую ФС называют также структурой физических операций.

Взаимно существуют функциональные структуры ТО двух видов: конструктивная ФС и потоковая ФС, дополняющие друг друга. При решении различных прикладных задач (конструирования, обучения и т. д.) используют или только конструктивную ФС, или потоковую ФС, или одновременно обе разновидности.

В потоковой ФС каждый элемент реализует определенную ФО. Такая реализация происходит на основе одного или нескольких физикотехнических эффектов.

Под **физико-техническими эффектами** понимают различные приложения физических законов, закономерностей и следствий из них, физические эффекты и явления, которые могут быть использованы в технических устройствах. Как правило, в физико-технических эффектах присутствует определенная причинно-следственная связь между «входом» и «выходом». Физико-технический эффект имеет стандартное формализованное (имеющее определенную структуру) описание, удобное для технического применения и машинной обработки, состоящее из трех компонент:

$$(A, B, C), \text{ или } (A \rightarrow B \rightarrow C), \quad (3.4)$$

где А – входной поток вещества, энергии или сигналов; С – выходной поток; В – физический объект, обеспечивающий или осуществляющий преобразование А в С.

Для входного А и выходного С потоков можно указать носители потоков и их качественные и количественные характеристики. В таблице 3.3 приведены примеры описания физико-технических эффектов по формуле (3.4).

Таблица 3.3 – Описания физических эффектов

Наименование физико-технического эффекта	А	В	С
Закон Гука	Сила	Твердое тело	Линейная деформация
Закон Джоуля– Ленца	Электрический ток	Проводник	Теплота
Пьезоэлектрический эффект	Деформация (сила)	Пьезокристалл	Электрическое поле
Термоэлектронная эмиссия	Теплота (нагревание)	Оксидная суспензия	Поток электронов
Эффект Пельтье	Электрический ток	проводников	

Физический принцип действия (ФПД) – ориентированный граф, вершинами которого являются наименования физических объектов В, а дугами входные А и выходные С потоки вещества, энергии и сигналов. Во многих случаях ФПД легко построить с помощью потоковой ФС путем замены наименований элементов или физических операций на наименования объектов В. Описание ФПД, как правило, содержит изображение принципиальной схемы ТО, в которой в упрощенно идеализированной форме показаны основные конструктивные элементы, обеспечивающие реализацию ФПД, и указаны направления потоков и основные физические величины, характеризующие используемые физико-технические эффекты. Принципиальная схема облегчает последующую разработку (конструирование) технического решения.

Техническое решение (ТР). Оно представляет собой конструктивное оформление ФПД или ФС. ТР конкретного ТО, как правило, описывается в виде двухуровневой структуры через характерные признаки ТО в целом и его элементов. При этом используют следующие группы признаков:

- указание (перечень) основных элементов;
- взаимное расположение элементов в пространстве;
- способы и средства соединения и связи элементов между собой;
- последовательность взаимодействия элементов во времени;
- особенности конструктивного исполнения элементов (геометрическая форма, материал и т.д.);
- принципиально важные соотношения параметров для ТО в целом или отдельных элементов.

В зависимости от вида рассматриваемого ТО элементом может быть часть детали, деталь, узел, блок, агрегат, техническая система (ТС), комплекс ТС. При описании ТР некоторых ТО может использоваться только часть признаков.

Техническое решение ТО может быть описано с любой степенью детализации. Для этого используют иерархический набор двухуровневых описаний технических решений на естественном языке, дополняемое, как правило, графическим изображением: сначала описывают ТР устройства в целом, затем ТР каждого блока, затем – каждого узла и т. д.

ТР представляет собой безразмерное описание ТО, которое может иметь различные реализации по параметрам. К параметрам относятся размеры ТО и его элементов, количественные характеристики входных и выходных потоков и другие важные измеряемые свойства. Например, двигатель внутреннего сгорания при одинаковом ТР имеет десятки модификаций по размерам, частоте вращения, мощности и другим параметрам.

Проект. В отличие от ТР в проекте указываются значения параметров ТО и всех элементов до деталей. Необходимо отметить, что здесь под проектом подразумевается комплект чертежей и конструкторской документации, содержащий всю необходимую информацию для изготовления и эксплуатации ТО. В зависимости от сложности ТО описание проекта составляет от нескольких до сотен томов, т. е. проекты ТС – это многотомные уникальные

собрания сочинений, как правило, недоступные широкому читателю, но осязаемые в виде готовых изделий и сооружений.

Для сложных ТО часто предварительно разрабатывают менее детальные проекты (техническое предложение, эскизный проект, технический проект и т. д.). В этих промежуточных проектах степень детальности описания ТР обычно возрастает от технического предложения к рабочим чертежам. С понижением сложности ТО число промежуточных проектов сокращается.

4 Конструктивная эволюция технических объектов

Критерии развития являются одновременно важнейшими показателями, или критериями качества, т. е. имеют большое значение при оценке качества технических объектов. Значение критериев развития особенно важно для специалистов, которые стремятся при разработке новых изделий превзойти уровень лучших мировых достижений или приобрести изделия на уровне лучших мировых достижений. Для решения этих задач критерии развития играют роль компаса, указывающего направления магистрального прогрессивного развития изделий и технологий.

Поскольку любой технический объект, как правило, имеет несколько критериев развития, то принцип прогрессивного развития для каждого нового поколения технические объекты заключается в улучшении одних и не ухудшении других критериев.

Наборы критериев развития для различных классов технических объекты в значительной степени совпадают, поэтому в целом развитие техники в большой мере подчинено, можно сказать, единому набору критериев, определяющих развитие техники.

На рисунке 4.1 показана систематика критериев развития технические объекты, реализующих различные функции.

Этот единый набор включает следующие четыре группы критериев:

- функциональные критерии, характеризующие важнейшие показатели реализации функции технические объекты;
- технологические критерии, связанные только с возможностью и простотой изготовления технические объекты;
- экономические критерии, определяющие только экономическую целесообразность реализации функции с помощью рассматриваемого технические объекты;
- антропологические критерии, связанные с вопросами человеческого фактора или воздействия положительных и отрицательных факторов на людей, вызванного созданным технические объекты.



Рисунок 4.1 — Систематика критериев развития техники

Функциональные критерии. Для каждого ТО функциональные критерии развития представляют собой количественную характеристику основных показателей реализации функции ТО. Эти критерии выявляют на основе анализа описания его функций. Так как функции ТО характеризуются самыми различными показателями, то практически невозможно дать исчерпывающий перечень функциональных критериев. В связи с этим рассмотрим только наиболее часто действующие. Среди них можно выделить три группы критериев, которые представлены в таблице 4.1: производительности, точности и надежности.

Критерий производительности всегда может быть измерен или вычислен. Структура формулы для вычисления критерия и единица измерения производительности могут быть самыми различными. Примеры приведены в таблице 6, где приняты следующие обозначения: T – время; V – объем; S – площадь; L – расстояние; G – грузоподъемность; v – скорость; M – момент на валу; ω – угловая скорость; Q – расход; h – высота подъема; N – мощность.

Критерий производительности представляет собой интегральный показатель уровня развития техники, непосредственно зависящий от ряда параметров, существенно влияющих на производительность труда. Эти параметры представляют собой частные функциональные критерии. К ним относятся:

- скорость обработки объекта (скорости движения транспортной машины, рабочих органов машины, протекания химической реакции, число оборотов или операций в единицу времени и т. п.);
- физические и химические параметры (температура, давление, напряжение и др.), определяющим образом влияющие на интенсивность обработки объекта;
- степень механизации труда;
- степень автоматизации труда.

Таблица 4.1 – Формулы критерия производительности

Наименование ТО	Структура формулы	Единица измерения
Автомобиль	$G \cdot v$	т·км/ч
Двигатель внутреннего сгорания	$M \cdot \omega$	Н·м/с
Трансформатор	N	кВ·А
Машиннотракторный агрегат	S/T	га/ч
Бульдозер	$V \cdot L/T$	м ³ ·м/ч
Чайник	V/T	л/ч
Насос	$Q \cdot h$	л·м/с

Критерий механизации равен отношению механической работы, выполняемой только ТО, ко всей механической работе, выполняемой суммарно ТО и человеком (коллективом людей) при получении определенной продукции.

Критерий автоматизации равен отношению числа управляющих операций, выполняемых только ТО, к общему числу управляющих операций, выполняемых суммарно ТО и человеком при получении определенной продукции.

Критерий непрерывности процесса обработки, связанный с получением определенной готовой продукции, равен отношению числа операций, выполняемых с использованием непрерывных процессов, к общему числу операций с использованием непрерывных и прерывистых процессов воздействия на предмет обработки. Критерий непрерывности процесса обработки лежит основе одного из главных способов повышения производительности труда.

Критерии точности включают следующие частные критерии:

- точности измерения;
- точности попадания в цель;
- точности обработки материала или вещества;
- точности обработки потока энергии;
- точности обработки потока информации.

Для этих частных критериев имеются развитые способы измерения и оценки точности, которые легко найти в специальной литературе.

Критерии надежности для различных ТО также широко освещены в специальной литературе и включают частные критерии:

- безотказности;
- долговечности;
- способность к длительному хранению;
- ремонтпригодности.

Под надежностью ТО подразумевают способность без отказов выполнять свою функцию с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени. Критерий надежности возрастает с увеличением времени и вероятности безотказной работы.

Критерии производительности, точности и надежности представляют собой монотонно возрастающие функции. Актуальность и вес этих критериев всегда были выше по сравнению с другими группами критериев (см. табл. 4.2) и со временем продолжают возрастать.

Технологические критерии. Эти критерии главным образом обеспечивает всестороннюю экономию живого труда при изготовлении ТО и подготовке их к эксплуатации. Они направлены на экономию материалов, зависящую от технологических факторов, что опять же вносит определенную долю в экономию живого труда. Можно выделить четыре технологических критерия.

Критерий трудоемкости изготовления ТО. Критерий равен отношению суммарной трудоемкости T_C проектирования, изготовления и подготовки к эксплуатации изделия к его главному показателю эффективности Q , т. е. представляет собой удельную трудоемкость изготовления на единицу получаемой эффективности: $K_T = T_C/Q$

Главный показатель эффективности Q выбирают таким образом, чтобы критерий K_T объективно отражал прогрессивное развитие рассматриваемых ТО. Критерий K_T представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений ТО ведется по одному и тому же показателю эффективности Q .

Критерий трудоемкости является одним из самых древних, поскольку он действует и в сильной степени влияет на развитие ТО, начиная с каменного века, с первых искусственно изготавливаемых орудий – ручных рубил. Актуальность этого критерия на протяжении всей истории техники всегда была и остается весьма высокой и неизменной.

Имеются все основания утверждать, что критерий K_T проявляет свое действие и влияние (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО.

Критерий технологических возможностей. Любой ТО, разработанный только с учетом функциональных и антропологических критериев (требований), может содержать не более пяти типов элементов (агрегатов, узлов, деталей):

- стандартные или покупные элементы, получаемые в готовом виде;
- унифицированные элементы, заимствованные из существующих ТО;
- оригинальные (новые) элементы, изготовление которых не вызывает затруднений (могут быть изготовлены на имеющемся оборудовании), но требует разработки и отработки технологии их изготовления;
- оригинальные элементы, изготовление которых вызывает значительные, но преодолимые трудности (требуется разработка новой технологии с предварительным изготовлением сложной технологической оснастки, приобретение дефицитного оборудования и т. п.);
- оригинальные элементы, изготовление которых вызывает принципиальные, пока непреодолимые трудности (отсутствует в принципе или нельзя приобрести необходимое технологическое оборудование или материалы, требуется предварительное проведение НИР и ОКР и т. п.).

Критерий технологических возможностей отражает простоту и принципиальную возможность изготовления ТО. На практике широко используют частные случаи этого обобщенного критерия: критерий стандартизации и критерий унификации. Но в любой форме представления он изменяет свои значения на отрезке $0 \leq K_{T.B.} \leq 1$. Хотя улучшение критерия связано с возрастанием значения $K_{T.B.}$, все же его нельзя отнести к монотонно возрастающим функциям: часто в новых поколениях ТО для улучшения более важных критериев приходится ухудшать критерий технологических возможностей.

Критерий технологических возможностей отражает фактор наследственности в технике, аналогичный фактору наследственности в живой природе, определяемому законом Дарвина. При переходе от одного поколения ТО к другому критерий $K_{T.B.}$ заставляет в наибольшей мере сохранять и использовать проверенные практикой функциональные элементы,

отработанную технологию их изготовления и существующее технологическое оборудование.

За каждое конструктивное изменение в новом поколении ТО приходится «платить» значительными дополнительными затратами, связанными с изменением технологического процесса и созданием соответствующего технологического оборудования, приспособлений и инструмента, при наличии риска, что новые элементы не оправдают себя на практике.

Критерий технологических возможностей имеет отношение к любому классу ТО и начал оказывать влияние на развитие техники с конца XVIII века, когда значительно возросла сложность ТО и, в достаточной степени, развилось «машинное производство машин», орудий труда и оружия, выпускаемых большими сериями. Актуальность критерия технологичности сильно возросла в первой половине прошлого века и продолжает расти.

Критерий использования материалов. В процессе обработки исходного материала и заготовок, используемых для изготовления элементов ТО, появляются обрезки, стружка и другие отходы. В результате масса готовых деталей и масса ТО получается меньше массы израсходованных материалов. В связи с этим потери черных металлов в машиностроении составляют 20 – 25 %, отходы металла в стружку при обработке резанием – до 28 %. В целом коэффициент использования металла не превышает 0,55.

Таблица 4.2 – Примеры показателя эффективности ТО

Наименование ТО	Показатели эффективности	
	Наименование	Размерность
Двигатели, генераторы, т. п.	Мощность	кВт
Средства транспорта	Масса груза	т
	Число пассажиров в единицу времени	(чел.км/ч)
Экскаваторы, другие обрабатывающие машины	Производительность	м ³ /ч, м/ч
		шт./ч
Автомобильные, железнодорожные мосты	Полезная нагрузка	Н
Муфты, редукторы	Крутящий момент	Н.м
Сельскохозяйственные плуги	Ширина захвата	м
Оружие и артиллерийские системы	Энергия пули, снаряда	Дж

Критерий использования материалов. В процессе обработки исходного материала и заготовок, используемых для изготовления элементов ТО, появляются обрезки, стружка и другие отходы, в результате масса готовых деталей и, соответственно, масса ТО получается меньше массы израсходованных материалов. В связи с этим потери, например, черных металлов в машиностроении составляют 20 – 25 %, отходы металла в стружку при обработке резанием – до 28 %. В целом коэффициент использования металла не превышает 0,55.

Доля отходов в большей мере зависит от технологических процессов и технологического оборудования, существует и действует технологический критерий использования материалов $K_{и.м.}$ равный отношению массы изделия G к массе израсходованных материалов P . При этом покупные комплектующие элементы не учитываются.

Критерий $K_{и.м.}$ можно назвать коэффициентом полезного использования материалов, поскольку по содержанию, характеру и диапазону изменения он близок к энергетическому коэффициенту полезного действия.

Критерий расчленения ТО на элементы. Почти каждый ТО можно выполнить из существенно меньшего числа элементов (узлов и деталей), чем он сделан на самом деле. Например, некоторые простые узлы можно изготовить в виде одной неразъемной детали, отдельные узлы объединить одной станиной и т. п. Такая минимизация числа элементов дает, казалось бы, определенный выигрыш за счет исключения элементов сопряжения и соединения: уменьшается общая масса изделия, повышается его жесткость и надежность, уменьшается трудоемкость механической обработки и сборки. Однако такое кажущееся упрощение конструкции, наряду с указанными положительными моментами, часто приносит несоизмеримо большие потери. Расчленение часто сокращает время и трудоемкость разработки и доводки изделия в целом: в каждом новом изделии, как бы хорошо оно ни было спроектировано, имеются более и менее совершенные узлы. Поэтому в процессе разработки и доводки нового изделия экономичнее и проще устранять недостатки отдельных более простых узлов, чем сложных узлов или изделия в целом. Расчленение ТО на узлы и детали облегчает и расширяет унификацию и стандартизацию с присущими им преимуществами, позволяет чрезмерно сложные по конструкции элементы собирать из простых однотипных элементов.

Следует отметить, что при чрезмерно мелком дроблении ТО на элементы многие из этих достоинств оборачиваются недостатками.

Кроме указанных технологических причин, на расчленение ТО влияют функциональные, экономические и антропологические факторы. Это влияние рассматривается при анализе соответствующих критериев.

Таким образом, всегда существует оптимальное расчленение ТО на узлы и детали, которое значительно упрощает технологию разработки, доводки, изготовления, ремонта и модернизации изделий, является основой для унификации и стандартизации. Критерий K_p расчленения ТО на элементы

обеспечивает в каждом новом поколении изделий приближение к оптимальному разделению на элементы.

Экономические критерии. Важность этих критериев подтверждена всей историей развития нашей цивилизации: новая техника внедряется только при экономической целесообразности или когда обладание ей престижно.

Критерий расхода материалов. Всесторонняя экономия материалов при разработке и изготовлении ТО вызвана рядом факторов. К основным причинам уменьшения расхода материала относятся:

- снижение стоимости ТО, так как стоимость материалов в ТО составляет от 25 до 65 % их себестоимости;

- снижение транспортных и погрузочно-разгрузочных расходов при перевозке исходного сырья и материалов для изготовления ТО и готовых ТО к месту их использования;

- экономия энергии при эксплуатации ТО (в частности, транспортные и транспортно-технологические машины и комплексы), в которых значительная часть энергии затрачивается на обеспечение поступательного, возвратно-поступательного, вращательного и других видов механического движения.

Критерий расхода материала K_m равен отношению массы технической системы G к ее главному показателю эффективности Q : $K_m = G/Q$, т. е. представляет собой удельную массу материалов на единицу получаемой эффективности. В случаях использования в ТО материалов со значительно различающейся стоимостью K_m оказывается малочувствительным к изменению массы дорогих материалов, которые обычно применяют в небольших количествах. В таких случаях рекомендуется определять приведенную массу G_n как для критерия использования материалов.

Критерий K_m , как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений ТО ведется по одному показателю эффективности Q . Критерий K_m проявляет свое действие и влияние по отношению к любому классу ТО.

Критерии расхода энергии. При изготовлении и/или эксплуатации ТО, расходуется определенное количество энергии. Удовлетворение возрастающих потребностей людей жестко ограничивается имеющимися энергетическими возможностями, поэтому затраты энергии всегда стремятся свести к минимуму. Критерий расхода энергии: $K_э = (W_n + E)/TQ$, где W_n – полная затрата энергии за время эксплуатации ТО; E – затраты энергии при изготовлении ТО; T – время эксплуатации ТО.

Приведенное выражение рекомендуется использовать в случаях, когда величины W_n и E соизмеримы. Для многих ТО $W_n \gg E$. В таких случаях используется более простая формула критерия: $K_э = W/Q$, где W – затраты энергии при эксплуатации ТО в единицу времени.

Ввиду того, что большинство конструктивных мероприятий по улучшению критерия сводится к повышению доли энергии, используемой непосредственно для выполнения полезной работы, в инженерной практике применяют еще одну модификацию критерия расхода энергии, называемую коэффициентом

полезного действия. Эта модификация критерия равна отношению полезной работы (энергии) W_0 к затраченной работе (энергии) W : $K_3 = W_0/W$. Коэффициент полезного действия (КПД) в какой-то мере можно назвать частным случаем критерия расхода энергии. Несмотря на частный характер критерия, он имеет самостоятельное значение и особенно удобен при разработке улучшенных (по энергетическим показателям) модификаций ТО.

Критерии расхода энергии, как правило, представляют собой монотонно убывающую во времени функцию при условии, что сравнение различных поколений ТО ведется по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Критерий КПД является монотонно возрастающей функцией, которая принимает значения в интервале $0 < K_3 < 1$; при этом подразумевается сравнение ТО с одинаковыми физическими принципами действия. История техники знает немало случаев, когда переход на более перспективный источник энергии происходил со снижением КПД. Ярким примером может служить переход в XVIII веке от водяных колес с КПД порядка 60–70 % к паросиловым установкам с КПД 0,6–0,7 %.

Критерий расхода энергии является также одним из самых древних, поскольку, начиная с каменного века, люди стремились при получении единицы продукции минимизировать затраты энергии. Актуальность этого критерия (в большей или меньшей мере) по отношению к любому классу ТО на протяжении всей истории техники была и остается весьма высокой и неизменной.

Критерий затрат на информационное обеспечение. В последнее время в связи с широким использованием вычислительной техники появились и возросли затраты на подготовку и обработку информации при создании и эксплуатации многих ТО. Эти затраты становятся сопоставимыми с затратами на материалы и энергию, а прибыли от них быстро возрастают. Это обусловило необходимость введения критерия затрат на информационное обеспечение в виде отношения: $K_{и.о.} = S/Q$, где S – затраты на подготовку и обработку информации, включающие стоимость или эксплуатацию вычислительной техники, разработку (или аренду) программного и информационного обеспечения и т. д.

Критерий представляет собой монотонно убывающую функцию. Однако критерий может иметь скачки, когда значительные дополнительные затраты S связаны с переходом на принципиально новую перспективную вычислительную технику, которая сразу не дает опережающего повышения эффективности ТО.

Критерий габаритных размеров ТО. Снижение габаритных размеров ТО и их элементов связано в первую очередь с получением следующих выгод:

- уменьшение площади и объема зданий и помещений, в которых постоянно или временно находятся ТО;
- уменьшение площади земли, занимаемой непосредственно ТО или зданиями, в которых находятся ТО;
- увеличение полезного объема в ТО типа транспортных средств;

- сокращение расходов по защите ТО (расходы на материал корпуса, кожухи, чехлы, лакокрасочные покрытия и т. п.) и уходу за ними;
- сокращение расходов по транспортированию ТО.

Критерий габаритных размеров равен отношению основных габаритных размеров технического объекта V к его эффективности: $K_G == V/Q$.

Если наиболее важным является снижение объема ТО, то $V = LBH$; если снижение занимаемой площади представляется более важным показателем, чем объем, то $V = LB$, если наиболее важным из габаритных параметров является уменьшение некоторого линейного размера, то $V = L$ (L, B, H – соответственно длина, ширина и высота ТО). За эффективность Q принимают те же показатели, что и в критерии использования материалов.

Критерий K_G , как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии сопоставления различных поколений ТО по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Актуальность этого критерия все время монотонно возрастает.

Критерий K_G имеет влияние на развитие подавляющего большинства ТО за исключением тех, у которых уменьшение габаритных размеров функционально ограничено, например, размерами человека, животных и других объектов, имеющих неизменные размеры.

Антропологические критерии. Группа антропологических критериев обеспечивает по возможности наибольшее соответствие и приспособление ТО к человеку, снижение дискомфорта и повышение положительных эмоций, снижение или исключение вредных и опасных воздействий ТО на человека.

Критерий эргономичности. Эффективность многих ТО в значительной мере зависит от их приспособленности к психофизиологическим качествам человека-оператора, использующего или управляющего ТО, т. е. от степени использования физических, психических и интеллектуальных возможностей человека-оператора в системе человек – машина.

Свойство системы человек – машина изменять свою эффективность в зависимости от степени использования возможностей человека-оператора называют эргономичностью. Эффективность ТО при этом в первую очередь выражается через функциональные критерии развития ТО, например, производительность, надежность, точность и др.

Критерий эргономичности для конкретного ТО равен отношению реализуемой эффективности системы человек – машина к максимально возможной эффективности этой системы. Он представляет собой зависящую от времени монотонно возрастающую функцию, стремящуюся к своему пределу, равному единице. Критерий эргономичности можно интерпретировать как коэффициент полезного действия человека в системе человек – машина, учитывая, что граница и характер изменения значений этого критерия такие же, как у энергетического коэффициента полезного действия.

Критерий эргономичности действует с древнейших времен по отношению ко всем ТО, с которыми взаимодействует человек-оператор. Актуальность и значимость этого критерия оставалась стабильной до начала XIX века. Начиная

со второй половины XIX века, в результате быстрого возрастания разнообразия и сложности машин, станков, аппаратов ожесточились и расширились требования к человеку-оператору. Особенно усилился этот процесс во второй половине XX века. Возрастание актуальности и значимости критерия эргономичности в прошедшем столетии вызвало формирование и развитие новой научной дисциплины – эргономики, основная прикладная ориентация которой заключается в проектировании и создании оптимальных по эффективности сложных человеко-машинных систем.

Критерий красоты. Эстетическое влияние ТО изложено в разделах по технической эстетике и художественному конструированию.

Критерий безопасности. Многие ТО, а также выпускаемая ими продукция и используемое сырье оказывают или могут оказать на работающих и окружающих людей различные вредные или опасные воздействия:

- повреждение или поражение органов, приводящие к временной потере трудоспособности;
- тяжелые повреждения или поражения, приводящие к постоянной потере трудоспособности (перевод на инвалидность);
- летальный исход.

В связи с этим существует критерий безопасности, под действием которого ТО в своем развитии имеет тенденцию понизить или исключить вредные и опасные воздействия на окружающих людей.

Критерий безопасности ТО можно определять по формуле:

$$K_B = \sum_{i=1}^n \beta_i \gamma_i \frac{S_i}{S_i^N}, \quad (4.1)$$

где n – число вредных и опасных факторов; β_i – весовой коэффициент i го фактора, который выбирается в соответствии с градацией по тяжести вредных и опасных воздействий ТО при условии, что $\sum \beta_i = 1$; γ_i – весовой коэффициент i го вредного или опасного фактора, который принимает следующие значения: $\gamma_i = 1$ при $S_i = S_i^N$, $\gamma_i = 1/\min(\beta_i)$, S_i – величина i го вредного или опасного фактора, вызванного рассматриваемым ТО (это может быть вероятность легкой или тяжелой травмы, уровень радиации, звуковая или вибрационная нагрузка, концентрация отравляющих веществ в воздухе и т. д.); S_i^N – нормативное (предельно допустимое) значение i го вредного или опасного фактора (будем так задавать значения величин S_i и S_i^N , чтобы всегда иметь $S_i^N > 0$, а допустимое значение $S_i \leq S_i^N$).

Для каждого нового класса ТО требуется проведение специальных исследований и обоснований для выбора совокупности факторов S_i , их нормативных значений S_i^N и весовых коэффициентов β_i .

Очевидно, что при условии соблюдения нормативов, когда все $S_i \leq S_i^N$, критерий K_B принимает значения $0 \leq K_B \leq 1$. При нарушении любого из нормативов получаем $K_B > 1$ и, если нарушение связано с фактором, имеющим относительно большой вес β_i то $K_B \gg 1$.

При проведении оценки вредных действий ТО на окружающих людей часто наряду с рассматриваемым ТО аналогичные вредные воздействия оказывают и другие существующие ТО. В таких случаях рассматривают вопрос не только о невозможности создания проектируемого ТО, но и об исключении существующих ТО, имеющих свою долю в нарушении нормативов.

Критерий безопасности имеет отношение ко всем классам ТО, которые своим функционированием, выпускаемой продукцией или используемым сырьем оказывают или могут оказать на окружающих людей вредное или опасное воздействие.

Критерий экологичности. Экологичность (сохранение окружающей среды) предусматривает регулирование взаимоотношения между естественной природой и ТО с точки зрения комфортабельности и возможности жизни людей.

Критерий экологичности в общем виде можно выразить зависимостью

$$K_{ЭК} = (S_H + S_K) / S_0, \quad (4.2)$$

где S_H – площадь территории (суши и воды), на которой по одному или нескольким факторам имеются недопустимые (выше нормы, но ниже критических) загрязнения или изменения; S_K – площадь территории, на которой по одному или нескольким факторам имеются критические загрязнения и изменения, при которых жизнь человека становится смертельно опасной или невозможной; S_0 – вся площадь страны (или интересующего региона, области и т. д.), которая должна быть постоянной величиной.

К факторам загрязнения и изменения среды относятся:

- инородные примеси, вносимые в атмосферу, воду и землю в виде *новых* веществ, физических полей и воздействий; различные газы и пыль, выделяемые заводами и транспортными машинами; загрязнение воды и земли промышленными сбросами, пестицидами; радиоактивное, шумовое и тепловое загрязнение среды и многое другое;

- изменения в неживой природе в виде отклонений от естественной нормы концентрации веществ, характеристик физических полей и воздействий, рельефа и структуры поверхности земли и др.; изменения в живой природе в виде отклонений от естественной нормы числа особей существующих видов на единицу площади, исчезновения существующих видов или появления новых.

- XIX веке техногенная нагрузка на природную среду возрастала, а в первой половине XX века стала ускоренно расти за счет составляющей S_K . В это время собственно стали вводить соответствующее законодательство.

Жесткое влияние критерия КЭК не подразумевает абсолютного прекращения нежелательных загрязнений и изменений природы, поскольку первейшие потребности растущего народонаселения нельзя удовлетворить, не производя таких изменений. Этот критерий в первую очередь должен влиять на выбор средств минимального воздействия на природу, на серьезное обоснование нормативов загрязнения и изменения среды, нарушение которых приносит несоизмеримо больший вред по сравнению с пользой или вообще

недопустимо. Под средствами минимального воздействия на природу понимается также широкое использование компенсационных мероприятий, которые обеспечивают в целом уменьшение или стабилизацию критерия $K_{ЭК}$. Например, одновременно с созданием ТО, которые повышают критерий экологичности, исключают некоторые существующие ТО или проводят специальные мероприятия по восстановлению природы и т. д.

Сфера действия критерия экологичности весьма широкая. Он имеет отношение ко всем классам ТО, производство и функционирование которых загрязняет и изменяет природу. При решении очень многих задач поиска более эффективных конструкторско-технологических решений нужно стремиться понизить $K_{ЭК}$ инженерными средствами.

Сформулируем условия и требования, которым должны удовлетворять параметры, относящиеся к критериям развития технических объектов. Иначе говоря, определим условия и требования, с помощью которых для любого класса технических объектов можно выделить его критерии развития.

Условие измеримости. За критерии развития могут быть приняты только такие параметры технического объекта, которые допускают возможность количественной оценки по одной из шкал измерений: шкале отношений, шкале интервалов, шкале порядка. Предпочтение отдается шкале отношений, но, если она неприемлема, то шкале интервалов и в последнюю очередь шкале порядка.

Условие сопоставимости. Критерий должен иметь такие единицы измерения, которые позволяют сопоставлять технические объекты для разных времен и стран. Лучше всего подходят безразмерные величины и удельные величины, с помощью которых можно сопоставлять технические объекты соответственно с различными функциями и с одинаковой функцией или близкими функциями.

Условие исключения. За критерии могут быть приняты такие параметры технического объекта, которые в первую очередь характеризуют его эффективность и оказывают определяющее влияние на его развитие. Если эти параметры не принимать во внимание при создании новых поколений технических объектов (такой мысленный эксперимент нетрудно провести), то это может привести к следующему:

- возникновению нежелательных путей развития рассматриваемого класса технических объектов;
- полному отсутствию развития;
- значительно меньшей мере удовлетворения потребностей человека (пользователя);
- полному неудовлетворению.

Условие постоянства. За критерии могут быть приняты такие параметры технических объекты, для которых всегда имеет место условие исключения.

Условие минимальности и независимости. Вся совокупность критериев развития должна содержать только такие, которые не могут быть логически выведены из других критериев или не могут быть их прямым следствием.

После выделения набора критериев развития для интересующего класса технические объекты конструктор или изобретатель должен дать описание каждого критерия по следующему плану:

1. Сущность критерия, время и причины его возникновения.
 2. Формула или способ измерения критерия, включая указание шкалы или единицы измерения.
 3. Диапазон и характер изменения значений критерия во времени.
 4. Оценка степени общности критерия по трехбалльной шкале:
 - а) критерий имеет отношение к рассматриваемому классу технических объектов с одинаковыми или близкими функциями;
 - б) критерий имеет отношение к нескольким классам технических объектов с различными функциями, но определенными общими свойствами;
 - в) критерий имеет отношение к техническим объектам с любой функцией.
- Оценка степени общности критерия указывает на возможности заимствования улучшенных технических решений из других областей техники.
5. Оценка изменения относительной значимости (актуальности) критерия в прошлом и обозримом будущем по трехбалльной шкале:
 - а) актуальность возрастает;
 - б) остается неизменной;
 - в) снижается.

5 Законы техники в инженерном творчестве

Строение и развитие каждого ТО и техники в целом подчиняются определенным законам и закономерностям, которые указывают на устойчивые качественные и количественные причинно-следственные связи и отношения, имеющие место у класса ТО и техники в целом, а также на изменение во времени этих связей и отношений. Законы и закономерности по характеру и определенности описания объектов и явлений техники должны быть близки к законам и закономерностям, известным в биологии, физике и химии, следовательно – должны формулироваться на уровне законов природы.

Закономерности строения и развития техники имеют отношения к ТО с одинаковой или близкими функциями. Законы техники имеют отношение к любому ТО или ко многим классам ТО, имеющим различные (сильно отличающиеся) функции.

К законам и закономерностям строения ТО относят устойчивые признаки в конструктивной и потоковой ФС, в физической структуре (ФПД) и ТР, которые существуют и остаются неизменными на протяжении многих поколений в историческом развитии ТО.

К законам и закономерностям развития техники относятся определенные устойчивые изменения какого-либо критерия развития (показателя качества) или какого-либо количественно выражаемого конструктивного признака на протяжении многих поколений ТО. Законы развития отражают одинаковые

(аналогичные) изменения в конструктивной и потоковой ФС, в физической структуре и ТР для многих классов ТО с различными функциями.

Привязка законов и закономерностей к конкретному классу ТО позволяет определить наиболее правильные структурные свойства, облик и характеристики ТО в следующих поколениях. Ниже приведены гипотезы некоторых законов и закономерностей техники, а так же их практическое использование при проектировании.

Закон прогрессивной эволюции техники. Действие закона прогрессивной эволюции в мире техники аналогично действию закона естественного отбора Дарвина в живой природе. Он отвечает на вопросы, почему происходит переход от предшествующего поколения ТО к следующему улучшенному поколению; при каких условиях, когда и какие структурные изменения происходят при переходе от поколения к поколению.

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

а) при неизменном физическом принципе действия и техническом решении улучшаются параметры ТО до приближения к глобальному экстремуму по значениям параметров;

б) после исчерпания возможностей цикла а) происходит переход к более рациональному техническому решению (структуре), после чего развитие опять идет по циклу а). Циклы а) и б) повторяются до приближения к глобальному экстремуму по структуре для данного принципа действия. При этом значения критериев развития, как правило, изменяются в соответствии с S образной кривой и на последнем этапе происходит переход к более рациональному физическому принципу действия, после чего развитие опять идет по циклам а) и б). S-функция имеет вид:

$$K = L(a + e^{be^{-\beta t}}) \quad (5.1)$$

где L, a, b, β – коэффициенты, определяемые по статистическим данным; t – время.

Циклы а) – в) повторяются до приближения к глобальному экстремуму по принципу действия для множества известных физических эффектов.

При этом в каждом случае перехода от поколения к поколению в соответствии с частными закономерностями происходят изменения конструкции, корреляционно связанные с характером дефекта у предшествующего поколения, а из всех возможных изменений конструкции реализуется в первую очередь то, которое дает необходимое или существенное

устранение дефекта при минимальных интеллектуальных и производственных затратах.

Используемое в формулировке закона понятие «научно-технический уровень» имеет отношение к стране или региону и к определенному моменту времени. Оно включает используемые ТО, технологии, источники энергии, материалы и вещества, информацию об используемых в прошлые времена, а также о новых (пока не реализованных) ТО, технологиях, источниках энергии, материалах и веществах; информацию о физико-технических эффектах, которые используются или могут быть использованы в технике.

Социально экономическая целесообразность создания и использования ТО указывает на то, что, во-первых, изготовление и практическое использование ТО экономически возможно и выгодно; во-вторых, не ухудшает антропологических критериев развития техники.

Суть закона состоит в том, что в ТО с одинаковой функцией каждый переход от поколения к поколению вызван устранением возникшего главного дефекта (дефектов), связанного с улучшением какого-либо критерия (показателя) развития при наличии определенных технико-экономических условий. При анализе всех переходов от поколения к поколению, т. е. истории конструктивной эволюции определенного класса техники, можно наблюдать следующие закономерности иерархического исчерпания возможностей конструкторско-технологических решений на трех уровнях (рис. 5.1).

На 1-м уровне улучшаются параметры используемого ТР. Когда изменение параметров мало что дает, изменения осуществляют на 2-м уровне путем перехода к более эффективному ТР без изменения физического принципа действия (ФПД). Затем, при исчерпании параметров, переходят на более прогрессивное ТР. Указанные циклы на 1–2м уровнях происходят до тех пор, пока в рамках используемого ФПД уже не находят ТР, обеспечивающих улучшение интересующих показателей. После этого наступает революционное изменение на 3-м уровне – переход на новый, более прогрессивный ФПД и т. д. При этом в каждом случае перехода от поколения к поколению действуют весьма определенные частные закономерности изменения конструкций, которые с большой вероятностью конкретизируют направление и характер изменения ТО в следующем поколении.

Самое важное приложение закона прогрессивной эволюции заключается в построении на его основе методологии системного иерархического выбора глобально оптимальных конструкторско-технологических решений, связанных с разработкой новых изделий или технологического оборудования, основанной на сознательном использовании закона в управлении прогрессивной эволюции ТО в целях ее ускорения.

На первом этапе для заданной функции (требований и условий) выбирается наиболее рациональная функциональная структура разрабатываемого прибора, машины или технологического комплекса. На втором этапе для выбранной структуры определяется наиболее эффективный физический принцип действия. На третьем этапе осуществляют поиск наиболее

рационального технического решения для выбранного принципа действия. Четвертый этап – моделирование принятого технического решения и оптимизация его параметров.

Методология системного иерархического выбора «запрещает» останавливаться на частных улучшенных решениях, как это часто делается на практике. Она ориентирована на изучение и использование всех возможных путей улучшения. Если при этом решение каждой задачи будет выполняться с достаточно полным информационным обеспечением и будет находиться глобально оптимальное решение, то можно гарантировать, что разработанное изделие будет на уровне лучших мировых достижений.

Следует иметь в виду, что в законе прогрессивной эволюции иерархическое исчерпание конструкции не действует формально. Эта закономерность действует при соблюдении следующего условия: если при наличии необходимого научно-технического потенциала переход к новому техническому решению или принципу действия обеспечивает получение дополнительной эффективности, существенно превышающей дополнительные интеллектуальные и производственные затраты, то может произойти скачок к новому техническому решению или принципу действия без исчерпания возможностей предыдущего технического решения или принципа действия.

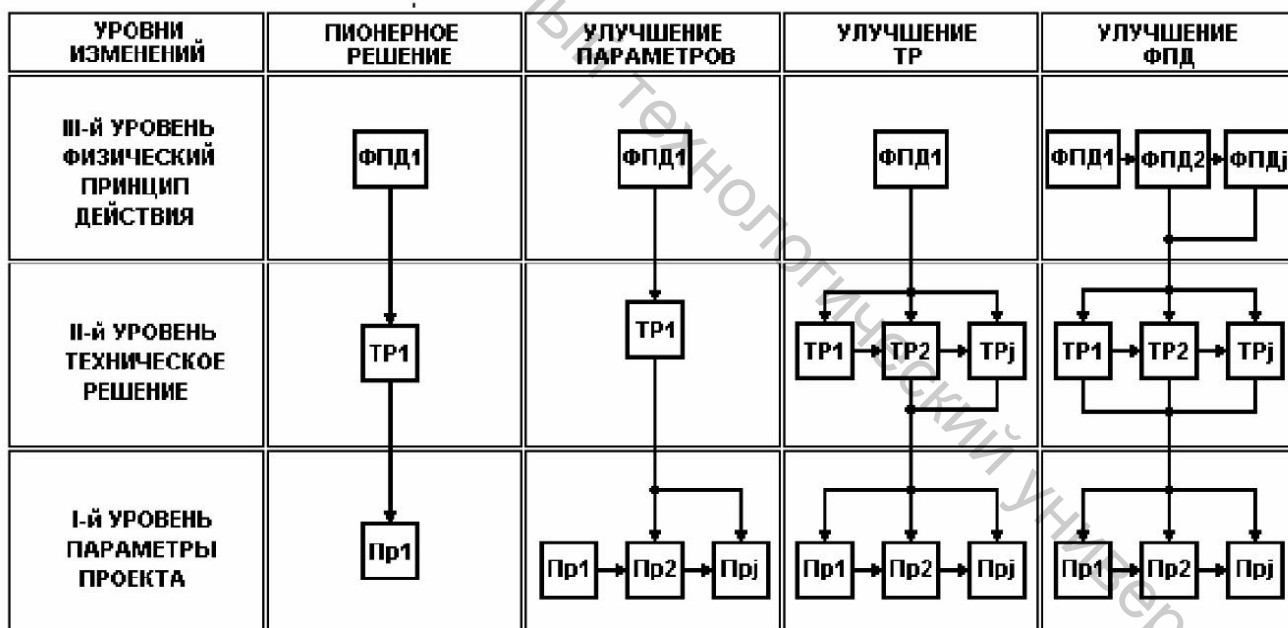


Рисунок 5.1 – Иерархическое исчерпание возможностей ТО и технологий

Закон прогрессивной эволюции включает действие частных закономерностей изменения конструкций, которые с довольно высокой вероятностью указывают возможные направления изменения технического решения для устранения обнаруженного дефекта или улучшения соответствующего критерия развития.

Закон прогрессивной эволюции целесообразно использовать на начальных стадиях проектирования новых поколений ТО, при выполнении работ по анализу и осмысливанию истории техники, прогнозированию развития техники.

Закон соответствия между функцией и структурой. На протяжении многих веков изучали и обсуждали на философском уровне многочисленные факты удивительных соответствий между выполненными функциями любого органа живого организма и его структурой (строением, конструкцией, конструктивными признаками). Такие же соответствия отмечались в ТО целом и их составных частях машин и сооружений.

Суть закона заключается в том, что в правильно спроектированном ТО каждый элемент от сложных узлов до простых деталей и каждый конструктивный признак имеют вполне определенную функцию (назначение) по обеспечению работы ТО. Если лишить такой ТО какого-либо элемента или признака, то он или перестанет работать (выполнять свою функцию), или ухудшит показатели своей работы. В связи с этим у правильно спроектированных ТО нет «лишних деталей». Закон соответствия между функцией и структурой лежит в основе всей познавательной деятельности, связанной с анализом и изучением существующих ТО и всей проектно-конструкторской деятельности по созданию новых ТО.

Закон соответствия между функцией и структурой ТО: каждый элемент ТО или его конструктивный признак имеют хотя бы одну функцию по обеспечению реализации функции ТО, т. е. исключение элемента или признака приводит к ухудшению какого-либо показателя ТО или прекращению выполнения им своей функции. Совокупность всех таких соответствий в ТО представляет собой функциональную структуру в виде ориентированного графа, который отражает системную целостность ТО и соответствие между его функцией и структурой (конструкцией).

6 Приемы разрешения технических противоречий

Первый прием – принцип дробления

Принцип дробления реализуется следующими частными подприемами:

- а) разделить объект на независимые части;
- б) выполнить объект разборным;
- в) увеличить степень дробления (измельчения) объекта.

Можно привести следующие примеры применения этих подприемов:

Пример 1. Разделение судов водонепроницаемыми перегородками на отдельные отсеки, что повышает непотопляемость судна.

Пример 2. Разделение пневматических шин для автомобиля на независимые секции, сообщающиеся между собой однонаправленными клапанами, что позволяет накачивать шину через один штуцер, но при проколе любой секции все остальные остаются под давлением и колесо остается работоспособным (патент США № 2859791).

Указанные два примера иллюстрируют подприём **а**.

Иллюстрацией подприёма **б** может служить:

Пример 3. А.с. СССР № 168195. С целью быстрого и удобного ремонта режущей кромки ковша одноковшового экскаватора при её повреждении, последняя выполняется из отдельных съёмных секций. В этом случае повреждённая секция легко заменяется запасной.

Иллюстрацией применения подприёма **в** может служить:

Пример 4. А.с. СССР № 184219. Способ взрывного разрушения горных пород, отличающийся тем, что с целью получения мелких фракций породы взрывной заряд разделяется на микрочастицы, взрывающиеся последовательно друг за другом.

Здесь для лучшего дробления породы при взрыве взрывной заряд разделяется на части, которые взрываются в определённой последовательности.

Второй приём – принцип вынесения

Данный принцип состоит в том, чтобы отделить от объекта мешающую часть (или мешающее свойство) или, наоборот, выделить нужную часть (нужное свойство).

Пример 1. А.с. СССР № 153533. Рентгеновский аппарат для флюорографии грудной клетки, отличающийся тем, что с целью защиты от рентгеновских лучей жизненно важных органов пациента, он снабжен защитными свинцовыми экранами, защищающими от излучения голову, позвоночный столб и органы внутренней секреции, расположенные ниже грудной клетки.

Суть изобретения проста: выделяется и блокируется защитными экранами наиболее вредная часть потока рентгеновского излучения. Остается лишь та часть, которая выполняет полезную функцию диагностики.

Пример 2. Для измерения микромошных электрических сигналов электронные широкополосные милли и микровольтметры снабжаются выносными «пробниками», представляющими собой первый каскад усилителя, помещённый в этот пробник, соединяемый с основным электронным блоком прибора экранированным кабелем. Это позволяет устранить влияние электромагнитных помех, которые неизбежно индуцировались бы в проводе, соединяющем источник сигнала со входом вольтметра. А при использовании пробника этот провод укорачивается до минимума – его роль выполняет заострённый электрод-наконечник, выступающий из пробника всего на 1,52 см. А на выходе пробника сигнал уже существенно усиливается по мощности, да ещё защищается от воздействия помех экраном кабеля.

Третий приём – принцип местного качества

Принцип реализуется с помощью следующих подприёмов:

а) перейти от однородной структуры объекта (или внешней среды, или какого-либо внешнего воздействия) к неоднородной;

б) разные части объекта должны выполнять различные функции;

в) каждая часть объекта должна находиться в условиях, наиболее благоприятствующих её работе.

Пример 1. Многие детали машин должны быть одновременно износоустойчивыми и ударопрочными. Для повышения износоустойчивости трущиеся поверхности детали должны обладать высокой твёрдостью, а для сохранения высокой ударопрочности материал детали должен обладать хорошей пластичностью. При сохранении однородной структуры материала детали эти два требования несовместимы. Поэтому в машиностроении разработаны разнообразные технологии поверхностного упрочнения деталей: закалка токами высокой частоты, цементация (насыщение углеродом) и азотирование (насыщение азотом) поверхностных слоев детали, поверхностный наклёп, лазерная и плазменная обработка поверхностей и т. д. Этим достигается высокая твёрдость (а значит, и износостойкость) поверхностных слоев детали при сохранении высокой пластичности внутренних слоев, что обеспечивает ударопрочность детали. (Пример иллюстрирует одновременно и подприём а, и подприём б).

Пример 2. В точных электронных измерительных приборах для устранения температурных погрешностей наиболее ответственные узлы прибора помещаются в термостат – герметичный отсек, где с высокой точностью принудительно поддерживается постоянная температура (пример иллюстрирует подприём в).

Пример 3. В лампочках накаливания для предотвращения быстрого перегорания нити накаливания последняя помещается в герметичный стеклянный баллон, наполненный инертным газом. Данный пример также иллюстрирует подприём в, но касается он замены внешней среды (вместо воздуха, в котором накалённая нить будет интенсивно окисляться и перегорать, она помещается в инертный газ).

Четвёртый приём – принцип асимметрии

Принцип реализуется следующими подприёмами:

- а) перейти от симметричной формы объекта к асимметричной;
- б) если объект уже асимметричен, то увеличить степень асимметрии.

В силу чисто психологических факторов (человек сам симметричен) конструктор при проектировании объектов стремится к симметрии. В то же время отказ от симметрии часто позволяет достичь положительного эффекта.

Пример 1. У первых автомобилей рулевое колесо и, соответственно, место водителя располагались симметрично по центральной продольной оси автомобиля (по аналогии с расположением места кучера в каретах). Это приводило к нерациональному использованию внутреннего пространства автомобиля (терялось одно дополнительное посадочное место рядом с водителем) и ухудшались условия обзора дороги. Сейчас все автомобили имеют несимметричное (левостороннее или правостороннее) расположение места водителя.

Пример 2. Тиски со смещёнными относительно станины губками позволяют зажимать в вертикальном положении длинномерные заготовки.

Пример 3. Патент США № 3435875. Асимметричная автомобильная шина, у которой наружная боковая поверхность делается повышенной прочности, что

увеличивает её срок службы и сопротивляемость ударам и трению о бордюрный камень тротуаров.

Пятый приём – принцип объединения

Включает два частных подприёма:

а) соединить однородные или предназначенные для выполнения смежных операций объекты;

б) объединить во времени однородные или смежные операции.

Пример 1. Задача. А.с. СССР № 235547. С целью увеличения производительности роторного экскаватора при разработке мёрзлых грунтов предлагается оборудовать ротор экскаватора газовыми горелками, укрепленными по обеим сторонам ротора, что позволяет объединить в одном агрегате и во времени функции разогрева грунта и его выемки.

Пример 2. В роторных автоматических комплексах совмещаются во времени технологические операции и операции транспортировки обрабатываемого изделия от одного обрабатывающего инструмента к другому, т. е. инструмент перемещается вместе с самим изделием до следующей позиции, а потом возвращается на исходную позицию и обрабатывает следующее изделие. Это позволяет существенно повысить производительность таких систем по сравнению с обычными автоматическими линиями.

Шестой приём – Принцип универсальности

Этот принцип заключается в том, что объект выполняет несколько различных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах, а в ряде случаев и сокращается длительность всего цикла операций, выполняемых данным объектом. Одним из принципов достижения универсальности является рассмотренный выше принцип объединения.

Пример 1. Задача. А.с. СССР № 160100. Способ транспортирования табачных листьев к сушильным установкам с помощью трубопроводного гидротранспортёра, отличающийся тем, что с целью одновременного осуществления промывки листьев и фиксации их цвета в гидротранспортёре используют воду, нагретую до 80 – 85 °С.

Здесь совмещены три операции: промывка табачных листьев, их нагрев для фиксации цвета и транспортировка их к сушильным установкам.

В данном примере этот принцип тесно увязан с предыдущим (принципом объединения), поскольку универсальность достигнута объединением трёх операций в одну, но технологически все эти три операции реализуются одновременно на одной и той же установке (гидротранспортёре).

Седьмой приём – принцип «матрёшки»

Принцип состоит в том, что один объект располагается внутри другого объекта, который, в свою очередь, размещается внутри третьего и т. д.

Примерами могут служить:

Пример 1. А. С. СССР № 110596. Способ хранения и транспортировки разнородных по горючести нефтепродуктов в корпусе плавучей ёмкости (танкера), отличающийся тем, что с целью уменьшения потерь тепла высоковязкими продуктами (из-за чего их вязкость существенно повышается и

препятствует нормальной выгрузке) их хранение производят во внутренних отсеках плавучей ёмкости, а снаружи располагаются отсеки для хранения невязких сортов нефтепродуктов.

Благодаря высокой теплоёмкости наружных отсеков, заполняемых невязкими нефтепродуктами, внутренние отсеки за время транспортировки не успевают охладиться.

Пример 2. Для борьбы с пылью в горных выработках на рабочие органы буровых и подрезных машин подают воду в виде конуса из мелких капель. Чем мельче капли воды, тем эффективней они поглощают пыль. Однако при мелкодисперсном распылении воды в зоне работы этих машин образуется достаточно густой туман, ухудшающий видимость в рабочей зоне. Предлагается с целью устранения тумана окружать конус мелкодисперсных брызг слоем брызг из крупных капель путём использования распыляющих форсунок определённой конструкции.

Восьмой приём – принцип антивеса

Принцип реализуется двумя подприёмами:

- а) компенсировать вес объекта соединением с другим объектом, обладающим подъёмной силой;
- б) компенсировать вес объекта взаимодействием со средой за счёт аэро- и гидродинамических сил.

Примеров здесь множество. Первый подприём реализуется в судах, аэростатах, дирижаблях, поплавковых уровнемерах, клапанах и регуляторах. Второй подприём – в авиации, глссерах, судах на подводных крыльях, «плавающих» магнитных головках жёстких магнитных дисков для записи цифровой информации, в которых постоянный минимальный зазор между головкой и поверхностью диска обеспечивается за счёт аэродинамических сил, воздействующих на головку при раскрутке диска.

Девятый приём – принцип предварительного антидействия

Суть его состоит в том, что если по условиям задачи объект должен совершать какое-то действие, то для уменьшения влияния рабочих нагрузок надо заранее совершить антидействие.

Самым ярким примером реализации этого принципа является использование предварительно напряжённых железобетонных конструкций, которые при той же несущей способности легче обычных железобетонных конструкций на 30 – 50 %.

Десятый приём – принцип предварительного действия

Реализуется с помощью двух возможных подприёмов:

- а) заранее выполнить требуемое действие (полностью или хотя бы частично);
- б) заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие без затрат времени на доставку в нужное место.

В качестве яркого примера использования первого приёма можно привести следующую детективную историю:

На спиртзаводе обнаружили, что при доставке спирта потребителю, производимой с помощью автоцистерны, потребителем регулярно обнаруживалась недостача в 15 – 20 л. При этом пломбы на люке цистерны, конечно, были не повреждены. Проверили дозирующую аппаратуру на заводе-изготовителе и у потребителя – погрешности оказались в пределах нормы и не превышали 0,51 л на всю цистерну. Проверили цистерну на утечку – ни малейшей капельки. Наняли охранников, которые сопровождали цистерну на всем пути следования от загрузки до выгрузки, – никакого результата. На всем пути следования цистерна нигде не останавливалась, никто к ней не подходил, а при выгрузке опять оказалась недостача в 20 л. И так продолжалось регулярно. Наняли частного детектива, но и он оказался бессилён...

Загадка разрешилась случайно. Однажды рабочий, опуская в люк пустой цистерны загрузочный шланг, уронил в неё выпавший из кармана пломбир, которым он должен был опломбировать люк после загрузки. Пришлось ему с фонариком спускаться в цистерну и в ней он вдруг обнаруживает подвешенную на тросике ёмкость вместимостью как раз в 20 литров. Воришка использовал именно данный подприём. Когда цистерна наполнена спиртом и во время загрузки и выгрузки она тщательно охраняется и незаметно похитить спирт невозможно. Но когда она пуста, никто её не охраняет. В это время подвесить в ней ведро (а точнее, специально сделанную утяжелённую снизу, чтобы не всплывала при загрузке цистерны, ёмкость) никто не мешает. При загрузке цистерны заполняется и эта ёмкость. Но при выгрузке цистерны эта ёмкость остаётся заполненной. Далее остается только дождаться момента, когда возле пустой цистерны никого нет, вытащить эту ёмкость, перелить из неё спирт и повесить пустую на место.

Примерами использования второго подприёма могут служить радиорелейные линии телевизионного вещания, сеть сотовой телефонной связи, где ретранслирующие станции находятся друг от друга в пределах уверенного приёма радиосигнала.

Одиннадцатый приём – принцип «заранее подложенной подушки»

Этот принцип реализует поговорку: «Знать бы, где упасть, так соломки бы подстелил». Где упасть – действительно трудно узнать заранее (хотя если маршрут уже знакомый, то эти места с достаточной долей вероятности определить можно). Но в технике самые ненадёжные места чаще всего известны заранее. А если их отказ может привести к серьёзным последствиям, то всегда должны предусматриваться аварийные меры для предотвращения этих последствий.

Пример: Патент США № 2879821. Патентуется безопасная автомобильная шина, в которую вставлен жёсткий резиновый диск, который в случае прокола или прорыва камеры позволяет некоторое время продолжать движение без угрозы аварии (конечно, амортизационные свойства шины при этом существенно ухудшаются, но заноса автомобиля и повреждения покрышки при этом не происходит), и автомобиль без замены колеса может доехать до ближайшей станции техобслуживания.

Двенадцатый приём – принцип эквипотенциальности

Принцип состоит в том, чтобы изменить условия работы объекта таким образом, чтобы при его перемещении не приходилось совершать работу, связанную с изменением его потенциальной энергии.

Чаще всего речь идет о гравитационной потенциальной энергии, в этом случае принцип сводится к тому, что центр тяжести объекта при его работе не перемещается в вертикальном направлении. Поле, в котором перемещается объект, может быть любой природы: электрическое, магнитное. В любом случае, чтобы затрачивать минимум энергии на своё перемещение, объект должен перемещаться по эквипотенциальной линии поля.

Пример 1. А. С. СССР № 110661. Контейнеровоз, в котором груз не поднимается в кузов, а устанавливается на грузовую площадку, расположенную на минимальной высоте, а для его погрузки и выгрузки используется специальный гидропривод, что позволяет обходиться без подъёмного крана. Кроме того, благодаря низкому расположению центра тяжести контейнеровозу обеспечивается большая устойчивость.

Пример 2. А. С. СССР № 264679. Устройство в виде рольганга для пресса, исключая необходимость поднимать и опускать тяжёлые прессформы при установке и снятии их с пресса.

Тринадцатый приём – принцип «сделать наоборот»

Принцип объединяет в себе несколько подприёмов:

а) вместо действия, диктуемого условиями задачи, выполнить обратное действие;

б) сделать движущуюся часть объекта (или взаимодействующей с ним внешней среды) неподвижной, а неподвижную – движущейся;

в) перевернуть объект «вверх ногами» или вывернуть его «наизнанку».

Пример 1. Классическая конструкция магнитоэлектрического измерительного механизма состоит из неподвижной магнитной системы и подвижной рамки с током, которая может поворачиваться в воздушном зазоре магнитной системы благодаря взаимодействию проводников с током и магнитного поля постоянного магнита. Однако такая конструкция наряду с достоинствами имеет и существенные недостатки: низкую перегрузочную способность (а значит, и низкую надёжность), большие габариты и массу магнитной системы, технологическую сложность конструкции (а значит, и высокую стоимость). Если же катушку с током сделать неподвижной, а в её полости установить лёгкий подвижный постоянный магнит, то все эти недостатки устраняются (хотя по ряду других характеристик, в том числе и точности, такая конструкция уступает классической).

Пример 2. В железнодорожном транспорте вагон устанавливается на колёса, которые катятся по рельсам, проложенным по поверхности земли. При этом приходится выравнивать рельеф местности, создаются проблемы пересечений с другими дорогами, под железнодорожные пути отчуждаются значительные территории. Указанные недостатки в значительной степени устраняются в монорельсовом транспорте, где вагон подвешивается к колёсам,

расположенным сверху вагона, и катятся они по одному рельсу, проложенному на опорах на высоте нескольких метров (а при необходимости и десятков метров) над землей. Это даёт несомненные преимущества при прокладке транспортных магистралей по сильнопересечённой местности и в условиях городской застройки.

Четырнадцатый приём – принцип сфероидальности

Данный принцип включает в себя следующие подприёмы:

- а) перейти от прямолинейных частей объекта к криволинейным, от плоских поверхностей – к сферическим, от частей, выполненных в виде параллелепипеда, – к шаровым конструкциям;
- б) использовать ролики, шарики, спирали;
- в) перейти от прямолинейного движения к вращательному, использовать центробежную силу.

Наглядными примерами использования данного принципа являются роликовые и шариковые подшипники; шаровые опоры, обеспечивающие три степени свободы, шариковые авторучки, роликовые электроды для контактной сварки листовых материалов, обеспечивающие вместо точечной сварки сплошной сварной шов, и т. п. Примером, иллюстрирующим подприём **в**, может служить центробежный регулятор скорости вращения, являющийся регулятором прямого действия и широко применявшийся для стабилизации скорости вращения ещё до появления электронных регуляторов (например, такие регуляторы использовались в патефонах для стабилизации скорости вращения диска, приводимого в движение пружинным двигателем).

Пятнадцатый приём – принцип динамичности

Принцип включает в себя следующие подприёмы:

- а) характеристики объекта (или внешней среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы;
- б) разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга;
- в) если объект неподвижен, то сделать его подвижным.

По подприёму **а** ярким примером являются самолёты с изменяющейся геометрией крыла. На низкой скорости (при взлете и посадке) стреловидность крыла очень мала, благодаря чему даже при малой скорости крыло обладает большой подъемной силой. При достижении же высокой скорости подъемная сила становится избыточной, что позволяет увеличить стреловидность крыла, благодаря чему существенно снижается лобовое сопротивление самолёта и при той же тяговой силе двигателей скорость существенно возрастает.

Примерами, иллюстрирующими подприём **б**, могут служить телескопическая антенна для радиоприёмника и телескопическое удилице, позволяющие регулировать их длину, благодаря тому, что их делают из нескольких частей, которые могут перемещаться друг относительно друга.

И, наконец, примером применения подприёма **в** может служить сканирующая система, которая используется, например, для ультразвуковой дефектоскопии плоских или протяжённых изделий. Сам ультразвуковой

преобразователь является точечным, и для контроля всей поверхности изделия его необходимо перемещать, что и выполняет система сканирования.

Шестнадцатый приём – принцип частичного или избыточного действия

Когда трудно или не экономично получать точно 100 % требуемого эффекта, то задача может существенно упроститься, если обеспечивать нужный эффект частично или с избытком.

Пример 1 иллюстрирует принцип частичного действия. А. С. СССР № 181897. Способ борьбы с градом с помощью реагента, обеспечивающего быструю кристаллизацию паров воды, отличается тем, что с целью сокращения расхода реагента осуществляют кристаллизацию не всего облака, а его крупнокапельной части, в которой и образуется град.

Пример 2 иллюстрирует принцип избыточного действия. А.с. № 262333 (СССР). Устройство для равномерной подачи жидких или сыпучих веществ при их неравномерном поступлении в накопитель, который состоит из дозирующей воронки, расположенной в накопительной ёмкости, и насоса (или транспортёра в случае сыпучих веществ), перемещающего вещество из накопительной емкости в воронку. При загрузке вещество поступает в воронку и при её переполнении переливается (пересыпается) через её края в накопительную емкость. Оттуда постоянно действующий насос (транспортёр) вновь направляет это вещество в воронку. Таким образом воронка всегда оказывается полностью заполненной, обеспечивая постоянное гидростатическое давление в питающей трубе, благодаря чему и обеспечивается равномерная подача этого вещества.

Семнадцатый приём – принцип перехода в другое измерение

Данный принцип может осуществляться с помощью нескольких подприёмов:

а) перейти от движения или размещения объектов в одном измерении (в линию) к двум измерениям (в плоскости), а от двух измерений – к трём (в трёхмерном пространстве);

б) использовать многоэтажную компоновку объекта вместо одноэтажной;

в) наклонить объект или положить его на бок;

г) использовать обратную сторону имеющейся площади.

Примеры:

По подприёму **а** – планарное размещение активных полупроводниковых структур на поверхности кремниевого кристалла при изготовлении интегральных схем.

По подприёму **б** – этажерочное размещение слотов (электронных модулей) в сложной электронной системе, обеспечивающее сочетание высокой плотности компоновки электронных элементов и узлов: с возможностью лёгкой замены любого модуля.

По подприёму **в** – наклонная конструкция бетономешалки обеспечивает наиболее качественное и наименее энергоёмкое перемешивание бетонной смеси (для перемешивания бетонной смеси используются гравитационные силы

при вращении наклонённой ёмкости бетономешалки относительно её продольной оси).

По подприёму г – переход от односторонних печатных плат к двусторонним позволил не только уменьшить их необходимые габариты для размещения того же количества электронных компонентов, но и обойтись без навесных проводов, которые были неизбежны в односторонних платах. С целью дальнейшего повышения плотности компоновки электронных схем в настоящее время широко применяются многослойные печатные платы, что иллюстрирует уже сочетание с подприёмом а. Другим примером реализации подприёма г является ленточный шлифовальный станок, у которого шлифовальная лента имеет двустороннее покрытие абразивным материалом и соединена в виде петли Мёбиуса, что позволяет вдвое увеличить срок службы ленты без увеличения габаритов станка.

Восемнадцатый приём – использование механических колебаний

Примеров использования механических колебаний в технике великое множество, поскольку механические колебания позволяют резко уменьшить трение между сопрягающимися деталями или частицами вещества, добиться качественного уплотнения сыпучих смесей или бетонной массы, а придание колебаний высокой частоты инструменту позволяет резко снизить усилие резания. Использование же механического резонанса позволяет многократно уменьшить энергетические затраты на возбуждение колебаний. Поэтому много и подприёмов, использующих этот принцип. Среди них наиболее эффективны следующие:

а) если такое движение уже совершается, то увеличить его частоту (включая ультразвуковой диапазон);

б) использовать резонансные колебания.

Использование высокочастотных механических колебательных систем в виде маятников различных конструкций позволило создать механические часы, которые на протяжении, по крайней мере, 200 лет занимали главенствующее положение среди приборов измерения времени, да и сейчас сохраняют сильные позиции. Высокочастотные (ультразвуковые) колебания можно сфокусировать в узкий пучок и использовать для дефектоскопии материалов и изделий (ультразвуковая дефектоскопия) или для медицинской диагностики (ультразвуковая томография). Возбуждение ультразвуковых колебаний в смеси различных жидкостей и взвесей позволяет получать столь мелкодисперсные эмульсии и взвеси, которые не отстаиваются (т. е. не разделяются на фракции) в течение многих часов после приготовления. На резонансе механических колебательных систем основаны практически все музыкальные инструменты. Эти примеры далеко не исчерпывают всего многообразия использования механических колебаний в технических устройствах, но и из них уже видно, насколько эффективным является этот приём.

Деятнадцатый приём – Принцип периодического действия

Данный принцип включает следующие подприёмы:

а) перейти от непрерывного действия к периодическому (импульсному);

б) если действие уже осуществляется периодически, то изменить его период;

в) использовать паузы между импульсами для другого действия.

Переход от непрерывного действия к импульсному позволяет накапливать и резко высвобождать энергию, что во многих случаях даёт эффект, которого невозможно достичь при непрерывности действия. Примерами могут служить забивание гвоздя молотком, рубка дров топором, ковка металлических изделий, штамповка и глубокая вытяжка. Последняя основана на том, что при очень быстрой (ударной) деформации многие металлы переходят в сверхпластичное состояние. Благодаря тому, что накопленная энергия высвобождается в течение очень коротких интервалов времени, при этом развиваются колоссальные усилия, получить которые в статических условиях очень сложно и потребует во много раз больших затрат энергии. Все данные примеры иллюстрируют подприём **а**. На нём основаны все машины и механизмы ударного действия. Он же реализуется при взрывах, а значит, в любом огнестрельном оружии. Формирование очень коротких импульсов электромагнитного поля лежит в основе радиолокации, а акустических импульсов – в основе гидролокации и эхолотов.

Примером по подприёму **б** может служить использование собственного механического резонанса в механических системах периодического действия. Это также позволяет во много раз сократить энергетические затраты на совершение необходимого действия (например, использование механического резонанса ударника и бойка в пневматических отбойных и клепальных молотках).

Иллюстрацией применения подприёма **в** может служить пример.

А. С. СССР № 336120. Способ автоматического управления термическим циклом контактной точечной сварки, основанный на измерении термо-ЭДС в зоне сварки, отличающийся тем, что при сварке импульсами повышенной частоты измеряют термо-ЭДС в паузах между импульсами сварочного тока.

Этот же приём эффективно используется в цифровых многоканальных системах связи с временным уплотнением, когда по одной и той же линии связи производится передача кодированной информации от нескольких источников и при этом сигнальные импульсы от одного источника информации располагаются в паузах между сигнальными импульсами от других источников. Для обеспечения возможности выделения сигналов от каждого источника информации на приёмном конце линии связи по этой же линии кроме информационных передаются ещё синхронизирующие импульсы.

Двадцатый приём – принцип непрерывности полезного действия

Принцип заключается в том, чтобы объект (а желательно и все его части) непрерывно работал с полной нагрузкой. При этом холостые, промежуточные и подготовительные операции должны быть по возможности устранены.

Этот принцип обеспечивает максимальную производительность и экономичность технологического оборудования, если сами технологические процессы достаточно медленны.

Примером может служить непрерывное выращивание полупроводниковых кристаллов, которое увеличивает производительность технологического процесса, по сравнению с периодическим, в несколько раз.

Запатентованный способ непрерывной разливки стали позволяет многократно снизить энергопотребление при получении проката за счёт устранения промежуточных операций, во время которых слитки металла то остужают, то вновь нагревают.

Принцип непрерывности полезного действия наиболее широко применяется в химической и нефтехимической технологии.

Двадцать первый приём – принцип «проскока»

Принцип заключается в том, что процесс или отдельные его этапы (вредные или опасные) ведутся на большой скорости, чтобы нежелательные эффекты не успели себя проявить.

Пример 1. Патент ФРГ № 1134821. Устройство для разрезания пластмассовых труб. Устройство отличается тем, что нож, разрезающий пластмассовую трубу, движется настолько быстро, что труба при её разрезании не успевает деформироваться.

Пример 2. А.с. СССР № 338371. Способ обработки древесины при производстве шпона путём прогрева, отличающийся тем, что с целью предотвращения ухудшения качества шпона прогрев осуществляется кратковременным воздействием факела пламени газа с температурой 300 – 600 °С непосредственно в процессе изготовления шпона. Ранее прогрев осуществлялся длительным пропариванием заготовок, который помимо нагрева древесины повышал её влажность, что снижало качество шпона.

Пример 3. Способ получения тонких магнитных лент с аморфной структурой, отличающийся тем, что ленту получают непосредственно из расплава, выливая его тонкой струёй на поверхность быстро вращающегося охлаждаемого барабана. Охлаждение расплава при этом происходит настолько быстро, что кристаллы металла не успевают вырасти, а их размеры настолько малы, что их не видно даже под микроскопом, что и даёт возможность говорить об аморфной структуре металла в получаемой ленте (хотя на самом деле кристаллы есть, но они микроскопических размеров).

Во всех приведённых примерах вредные эффекты процессов не успевают себя проявить из-за высокой скорости ведения процесса. В первом случае вредным эффектом является деформация краёв рассекаемой трубы. Во втором случае вместо длительного процесса предварительного прогрева древесины путём пропаривания заготовки для снятия шпона (его длительность определяется тем, что необходимо прогреть всю толщину заготовки, без чего шпон будет ломаться и крошиться) предлагается прогревать только верхний слой заготовки непосредственно в процессе производства шпона, а поскольку этот процесс достаточно быстрый, то необходимо высокотемпературное воздействие, которое может обеспечить факел пламени. Но чтобы древесина при этом не успела загореться или обуглиться, воздействие пламени должно

быть весьма кратковременным, что как раз и обеспечивается высокой скоростью процесса снятия шпона с вращающейся заготовки.

В третьем случае вредным эффектом при охлаждении расплава является его кристаллизация. Причём, чем медленнее происходит охлаждение, тем крупнее вырастают кристаллы и тем хуже становятся магнитные свойства получаемой металлической ленты. Их можно несколько улучшить путём последующей горячей или холодной прокатки. Предлагаемый способ позволяет настолько увеличить скорость охлаждения расплава, что кристаллы не успевают образоваться, и получается лента с псевдо-аморфной структурой, магнитные свойства которой в несколько раз лучше, чем у обычной, получаемой из того же сплава.

Двадцать второй приём – принцип «обратить вред в пользу»

Принцип включает в себя следующие подприёмы:

а) использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта;

б) устранить вредный фактор за счёт сложения с другими вредными факторами;

в) усилить вредный фактор до такой степени, чтобы он стал полезным.

Подприём **а** широко используется для повышения коррозионной стойкости изделий из металлов и сплавов путём оксидирования, пассивирования и диффузионного насыщения их поверхностных слоев атомами различных элементов из внешней среды. В результате такого усиленного воздействия специально подобранной внешней среды в условиях повышенной температуры на поверхности изделия происходит образование прочной и коррозионностойкой оксидной плёнки, или его поверхностный слой насыщается атомами других элементов, что приводит к преобразованию структуры поверхностного слоя и придаёт ему желаемые свойства, включая и коррозионную стойкость.

Иллюстрацией использования подприёма **в** может служить следующий пример.

А. С. СССР № 409938. Способ восстановления сыпучести смёрзшихся насыпных материалов, отличающийся тем, что смёрзшийся материал подвергают воздействию сверхнизких температур (поливают жидким азотом). При глубоком охлаждении кристаллы льда, которые являются причиной смерзания насыпного материала, разрушаются, и материал восстанавливает свою сыпучесть. Здесь для получения положительного эффекта усилили вредный фактор – охлаждение до отрицательных температур, которое приводит к замерзанию влаги, содержащейся в насыпном материале (причём даже если в самом материале этой влаги было очень мало, то она при охлаждении конденсируется из окружающей атмосферы), до значений ниже 100 °С, при которых ледяные кристаллы теряют свою прочность.

Ярким примером, сочетающим применение подприёмов **а** и **в**, является история изобретения электроэрозионного (электроискрового) способа обработки металлов супругами Б.Р. и И.Н. Лазаренко. Они долго работали над

проблемой борьбы с электроэрозией в контактах сильноточных реле и других электроконтактных устройств. Для изготовления контактов были испробованы самые тугоплавкие и сверхтвёрдые сплавы. Контактную пару пробовали помещать в вакуум, инертные газы, масло и другие жидкости. Все оказалось безрезультатно. Электроэрозия разъедала любые сплавы, а в жидкой среде даже усиливалась. Виновником электроэрозии оказались искры, возникающие между контактами в моменты замыкания и размыкания контактов, к которым прикладывается электрическое напряжение. Убедившись, что электроэрозия с почти одинаковой лёгкостью разрушает любые металлы и сплавы от самых мягких до самых твёрдых, исследователи решили использовать это явление для обработки любых электропроводящих материалов. Оставалось только найти условия, при которых этот процесс протекал наиболее интенсивно. Так и был изобретён способ электроискровой обработки металлов, который вскоре получил широкое распространение, особенно для обработки высокотвёрдых сплавов, плохо поддающихся механической обработке.

Двадцать третий приём – принцип обратной связи

Это фундаментальный принцип теории управления, и применяется он чрезвычайно широко как в природных (в частности, биологических), так и в технических системах.

При положительной обратной связи регулирующий эффект многократно усиливается, и при достижении определённой глубины обратной связи система теряет устойчивость, в ней возникают автоколебательные процессы.

При отрицательной обратной связи регулирующий эффект уменьшается, но зато система приобретает устойчивость к любым воздействующим факторам.

Если говорить о технических системах, то особенно широко этот принцип используется в системах автоматического регулирования и электронике. Положительная обратная связь используется для создания генераторов разнообразных переменных сигналов и релаксационных устройств (триггеров, мультивибраторов, компараторов и др.). Отрицательная обратная связь позволяет обеспечить устойчивость систем автоматического регулирования, повысить стабильность характеристик электронных усилителей и других электронных устройств.

Двадцать четвёртый приём – принцип «посредника»

Принцип заключается в том, что для передачи определённого действия на объект используют промежуточный объект-посредник, передающий или переносящий действие на первый объект. Этот промежуточный объект может присоединяться к первому объекту постоянно или временно.

Пример 1. Патент РФ № 2164023. Первичный преобразователь ударноакустического дефектоскопа, содержащий ударную систему электромагнитного типа и приёмную систему магнитоиндукционного типа, отличающийся тем, что ударная и приёмная системы геометрически совмещены путём введения телопосредника, выполненного в виде шарика с отшлифованным верхним сегментом, впаянным в центр мембраны из

ферромагнитного материала. Данная мембрана является чувствительным элементом магнитоиндукционной приёмной системы, который служит для передачи ударного импульса от ударника в контролируемое изделие и восприятия возбуждаемых в изделии упругих колебаний.

Благодаря тому, что упругие колебания, возбуждаемые в контролируемом изделии, снимаются с той же точки изделия, по которой наносится удар, обеспечивается существенное улучшение чувствительности и локальности контроля, т. е. обнаруживаются более мелкие и глубинные дефекты, а их местоположение и границы определяются более точно.

Пример 2. А. С. СССР № 178005. Способ нанесения антикоррозионного покрытия на защищаемую поверхность, отличающийся тем, что с целью равномерного покрытия внутренних поверхностей сложных деталей через последние продувают нагретый воздух, насыщенный парами ингибитора.

Двадцать пятый приём – принцип самообслуживания

Принцип состоит в том, чтобы объект сам себя обслуживал, выполняя вспомогательные и даже некоторые восстановительные операции, а также в использовании отходов энергии основного процесса для выполнения вспомогательных процессов.

Примерами могут служить:

- электробритвы с самозатачивающимися лезвиями, для чего предохранительную сетку делают из сплава, обладающего абразивными свойствами (например, титанового сплава), и ножи, скользя по ней, всё время затачиваются;

- самосмазывающиеся механизмы, в которых масло подаётся к трущимся поверхностям за счёт центробежной силы, возникающей во вращающихся частях механизма, или за счёт разбрызгивания движущимися частями механизма;

- современное огнестрельное оружие, в котором выброс стреляной гильзы, подача в затвор из магазина следующего патрона и взвод боевой пружины осуществляется автоматически во время выстрела, для чего используется энергия отдачи при выстреле.

Отходы тепловой энергии от основного процесса широко используются во всех тепловых энергетических установках и в мощных двигателях внутреннего сгорания для предварительного подогрева рабочего тела (воздуха или воды) отработанным паром или выхлопными газами, что существенно повышает коэффициент полезного действия этих установок.

Остроумный способ охлаждения мощных диодов предложен в а. с. СССР № 108625. Способ отличается тем, что диод конструктивно объединяется с термопарой, рабочим током которой является прямой ток диода. При этом «горячий» спай термопары выводится на радиатор, а «холодный» контактирует с полупроводниковым кристаллом диода. При прохождении прямого тока через диод кристалл будет охлаждаться тем сильнее, чем больше ток.

Двадцать шестой приём – принцип копирования

Принцип заключается в том, чтобы вместо недоступного, сложного или неудобного для непосредственного использования объекта использовать его упрощённые копии (в том числе оптические).

Пример 1. Государственные эталоны физических величин уникальны и труднодоступны. Поэтому непосредственные измерения с их использованием производятся очень редко. Вместо них для точных измерений используются эталоны-копии, рабочие эталоны и образцовые меры разных классов (в зависимости от требуемой точности измерений).

Пример 2. При обычной рентгенографии на рентгенограмме невозможно определить, на какой глубине от поверхности объекта расположены те или иные структуры, выявленные на снимке. Стереоскопическая рентгенография, использующая наложение двух пучков рентгеновских лучей, позволяет получать объёмные изображения структур, на которых можно различить более близкие к поверхности и более глубинные структуры. Однако точное определение глубины расположения тех или иных структур и в этом случае невозможно, а для хирурга это очень важно. Аксёновым Ф.И. предложен остроумный способ точного определения размеров и глубины расположения структур на стереоскопических рентгенограммах. Для этого изображение рентгенограммы совмещается со стереоизображением решётчатого куба, каждое ребро которого представляет собой масштабную линейку по соответствующей пространственной координате.

Двадцать седьмой приём – дешёвая недолговечность взамен дорогой долговечности

Если какая-то часть объекта при его работе подвергается большей нагрузке и износу, чем все остальные, то во многих случаях не целесообразно пытаться путём использования дорогостоящих материалов и технологий повысить её надёжность и долговечность до уровня всех остальных частей объекта. Более целесообразно сделать эту часть легко заменяемой и дешёвой и по мере износа заменять её новой. Именно поэтому в таких массовых отраслях машиностроения и приборостроения, как автомобилестроение, производство бытовой техники и электроники, налажено производство запасных частей к производимой продукции, что облегчает ремонт этой техники путём замены вышедших из строя частей. В данном случае основным критерием применения данного принципа является экономическая эффективность. Однако этим применение данного принципа не исчерпывается. Кроме экономических критериев могут использоваться и другие.

В частности, в пищевой промышленности широко используются одноразовые упаковки для расфасовки и доставки до потребителя молочных продуктов, прохладительных напитков, пива, консервов и т. п. В этом случае определяющими являются не только экономические критерии, но и удобство расфасовки и доставки продуктов, их сохраняемость, удобство использования потребителем и т. п.

В общественном питании и медицине широкое применение находят предметы одноразового пользования: одноразовая посуда, бумажные салфетки

и полотенца, одноразовые шприцы и т. п. Здесь уже определяющими являются критерии гигиены и безопасности.

Двадцать восьмой приём – замена механической схемы электрической, оптической пневматической, гидравлической и т. д.

При такой замене обеспечивается лучшая управляемость системы, большая функциональная гибкость и более высокая надёжность. Помимо этого, зачастую получается и существенный экономический выигрыш.

Электронные системы автоматического регулирования и управления в настоящее время нашли широчайшее применение во всех отраслях народного хозяйства и активно проникают туда, где традиционно применялись механические или электромеханические системы. Примером могут служить электронные системы приготовления, впрыска и зажигания топливной смеси в двигателе автомобиля.

Гидравлические системы широко применяются в трансмиссиях, когда необходимо передавать значительные усилия с изменением их направлений и величины. В тех же автомобилях они применяются в тормозной системе, гидроусилителях руля и т. п.

Пневматические системы автоматического регулирования нашли применение в пожаро- и взрывоопасных условиях.

Но помимо замены физического принципа действия системы этот приём включает в себя и другие подприёмы, связанные с использованием вместо механических устройств различных физических полей. Из них наиболее широко используются следующие:

а) использование электрических, магнитных и электромагнитных полей для взаимодействия с объектом;

б) переход от неподвижных полей к движущимся (вращающимся, бегущим), от статических – к динамическим (меняющимся во времени и в пространстве);

в) использование магнитных полей в сочетании с дисперсными ферромагнитными частицами.

Пример 1. А. С. СССР № 154459. Неизнашиваемая винтовая пара, состоящая из винта и гайки, выполненных из магнитомягкой стали с резьбой прямоугольного и трапецеидального профиля, нарезанной таким образом, что винт может свободно продольно перемещаться в полости гайки (гребешки резьбы винта и гайки не задевают друг друга). В винтовые пазы винта или гайки (т. е. в не вращающуюся часть пары) закладываются витки обмотки, через которую пропускается электрический ток. Магнитный поток будет максимальным, когда зазор между гребешками резьбы винта и гайки будет минимальным. Поэтому при включённом токе винт и гайка расположатся таким образом, чтобы гребешки винта и гайки полностью совместились, что и будет соответствовать минимальным воздушным зазорам между ними. При вращении винта гайка будет перемещаться вдоль него, чтобы эти зазоры всегда оставались минимальными, но механического контакта между ними не будет, а значит, они не будут изнашиваться. При выключении же тока гайка может

свободно перемещаться вдоль винта (без вращения) и при включении тока может быть зафиксирована в любом другом месте. Здесь вместо механического контакта между резьбой винта и гайки (который неизбежно сопровождается трением и износом трущихся поверхностей) используется магнитное поле.

Пример 2. Электрические фильтры для дымовых труб.

Вместе с газообразными продуктами сгорания в трубу вылетает множество мелких твёрдых частиц (золы, сажи, несгоревшей угольной пыли, которые сильно загрязняют окружающую местность. Применять для их улавливания обычные фильтры невозможно, так как, во-первых, они резко снижают тягу в трубе, во-вторых, поры фильтра быстро забиваются этими частицами, в-третьих, сами фильтры быстро прогорают в потоке горячих газов (даже если их делать из металлических сеток). Поэтому в настоящее время используют электростатические фильтры. Они работают следующим образом. В дымовой трубе устанавливаются электроды, на которые подаётся высокое постоянное напряжение. В образующемся электростатическом поле твёрдые частицы заряжаются за счёт осаждения на них ионов газа, а выше по трубе устанавливаются электростатические ловушки, которые улавливают эти заряженные частицы и складывают их в специальный бункер.

Пример 3. А. С. СССР № 144500. Способ интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменниках, отличающийся тем, что в пространстве теплообменника создаётся вращающееся магнитное поле, а в поток теплоносителя вводятся ферромагнитные частицы, которые, перемещаясь под действием магнитного поля, интенсивно перемешивают теплоноситель, увеличивая интенсивность теплообмена.

Двадцать девятый приём – использование пневмо- и гидроконструкций

Примеров использования этого приёма можно привести множество: надувные матрасы и лодки, спортивные мячи, пневматические шины для автомобилей, велосипедов и мотоциклов, трубопроводный пневмо и гидротранспорт для перемещения сыпучих веществ, грунта, угля и т. п. Это все примеры использования пневмо и гидроконструкций с оболочками.

Однако существуют пневмо и гидроустройства без оболочек.

Пример 1. Воздушно-пузырьковый волнолом. Для защиты гавани от волн по периферии акватории гавани прокладывают по дну перфорированные трубы, в которые нагнетается воздух. Вырываясь из отверстий труб, пузырьки воздуха поднимаются вверх и гасят волны. Пример 2. Тепловые воздушные завесы в вестибюлях метро, где обычные двери плохо защищают от проникновения холодного воздуха, так как из-за интенсивного потока пассажиров они практически всё время открыты.

Пример 3. Гидро-реактивные (водомётные) движители для мелководных судов.

Пример 4. Суда на воздушной подушке.

Тридцатый приём – использование гибких оболочек и тонких плёнок

Этот приём можно расчленить на две модификации:

а) вместо обычных жёстких конструкций использовать гибкие оболочки и тонкие плёнки;

б) изолировать объект от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких плёнок.

Гибкие оболочки широко используются в воздухоплавании (воздушные шары) в качестве тары для жидких и сыпучих продуктов (вместо бутылок и коробок). Тонкие плёнки используются для магнитной звукозаписи, для микроминиатюризации электронных схем (толстоплёночная и тонкоплёночная технологии).

Для изоляции от внешней среды используются плёночные покрытия для парников и теплиц, гидроизолирующие плёнки для фундаментов зданий и оросительных каналов, плёночные покрытия пищевых продуктов.

В сочетании с предыдущим приёмом гибкие оболочки используются в надувных конструкциях (например, аварийные надувные трапы для пассажирских самолётов).

Тридцать первый приём – применение пористых материалов

Здесь можно рассматривать два частных подприёма:

а) выполнить весь объект пористым или использовать дополнительные пористые элементы;

б) если объем уже выполнен пористым, то заполнить поры каким-либо веществом.

Использование пористых строительных материалов (пенобетон, шлакобетон, шлакоблоки и др.) позволяет существенно уменьшить вес зданий с одновременным улучшением теплоизоляционных и звукоизоляционных свойств стен.

Пористые материалы используются в тех случаях, когда необходимо обеспечить возможность газообмена с внешней средой. Наконец, пористые материалы за счёт капиллярного эффекта могут обеспечить циркуляцию и перемещение жидких веществ без всяких труб и насосов (как и деревья, где влага и растворённые в ней питательные вещества могут подниматься по волокнам древесины на высоту в десятки метров). В керосиновой лампе по волокнам фитиля поднимается и горит керосин.

Интересными примерами применения пористых веществ являются фломастеры и так называемые молекулярные фильтры. Во фломастерах из пористого вещества сделан сам пишущий стержень и контактирующий с ним стержень с более крупными порами, который является резервуаром красящего вещества. Молекулярные фильтры представляют собой мембраны с микроскопическими порами, которые проницаемы для воды и низкомолекулярных веществ, но непроницаемы для многоатомных молекул с большим молекулярным весом, что позволяет отделять одни вещества от других.

Тридцать второй приём – принцип изменения окраски

Он состоит из следующих подприёмов:

а) изменить окраску объекта или внешней среды;

- б) изменить степень прозрачности объекта или внешней среды;
- в) для наблюдения за плохо видимыми объектами или процессами использовать красящие добавки;
- г) вместо красящих добавок использовать люминофоры или радиоактивные изотопы.

В природе окраска биологических объектов (в растительном и животном мире) играет весьма важную роль. Зелёная окраска растительного покрова обеспечивает преимущественное поглощение определённой части спектрального состава солнечного излучения, т. е. несёт функциональную нагрузку. Окраска животных служит и для маскировки, и для привлечения особей противоположного пола.

Очевидно, и в технике окраска должна играть немаловажную роль. Речь здесь не идёт о цветовой гамме одежды и предметов обихода. Это дело вкуса и моды. Отметить можно лишь те случаи, где окраска объектов играет функциональную роль. Солнечные коллекторы, предназначенные для аккумуляирования солнечного тепла, окрашивают в глубокий чёрный цвет, чтобы интенсивно поглощались все спектральные составляющие солнечного излучения. Но когда солнце заходит, то для предотвращения быстрой потери тепла за счёт инфракрасного излучения, их желательнее закрывать зеркальными экранами (зеркальной поверхностью внутрь), которые бы отражали инфракрасное излучение обратно к коллектору. Для выделения той или иной части спектра видимого света широко применяются светофильтры. Для защиты помещений от прямых солнечных лучей на окнах применяют жалюзи и занавески преимущественно светлых тонов, хорошо отражающие солнечные лучи. Уже имеются, например, здания с регулируемой прозрачностью окон. Пример использования люминофорной добавки рассматривался в примере по обнаружению протечек в холодильных агрегатах. Люминесцентные добавки применяются для поверхностной дефектоскопии материалов и изделий, делая хорошо видимыми даже мельчайшие поверхностные дефекты. Метод «меченых атомов» (с использованием радиоактивных изотопов) широко применяется в биологических исследованиях (например, для определения скорости проникновения лекарственных веществ в различные органы).

Тридцать третий приём – принцип однородности

Принцип состоит в том, что объекты, взаимодействующие с данным объектом, должны быть сделаны из того же материала (или близкого по свойствам).

Иллюстрацией принципа однородности могут служить:

Пример 1. А. С. СССР № 456679. Способ получения постоянной литейной формы путём образования в ней рабочей формы по эталону методом литья, отличающийся тем, что с целью компенсации усадки изделия, полученного в этой форме, эталон и форму выполняют из материала, одинакового по свойствам с изделием.

Пример 2. А. С. СССР № 180340. Способ очистки газов от пыли определённого состава, отличающийся тем, что этот газ пропускают через

расплав вещества, из которого состоят частицы этой пыли. В этом случае частицы, проходя через горячий расплав, тоже расплавляются, но при этом совершенно его не загрязняют, т. к. состоят из того же вещества, а газ полностью очищается. Необходимо лишь поддерживать данное вещество в расплавленном состоянии.

Тридцать четвёртый приём – принцип отброса и регенерации частей

Принцип включает в себя следующие подприёмы:

а) выполнившая своё назначение или ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена (израсходована, растворена, испарена, видоизменена) непосредственно в ходе работы объекта;

б) расходуемые части объекта должны восстанавливаться (а ещё лучше – самовосстанавливаться) непосредственно в ходе работы объекта.

Иллюстрацией применения подприёмов могут служить:

Пример 1. Многоступенчатая ракета-носитель. Отработавшие ступени ракеты (состоящие в основном из баков с топливом) после израсходования из них топлива отбрасываются, облегчая остальную часть ракеты.

В этом примере отработавшие части ракеты просто выбрасываются и потом сгорают в атмосфере или падают на землю.

Пример 2. Метод точного литья по выплавляемым моделям, который состоит в том, что эталон для изготовления формы делается из легкоплавкого материала (парафина, воска и т. п.). Перед литьём эталон не извлекается из формы, что позволяет точно сохранять форму полости. Расплавленный металл заливается в эту форму, расплавляет эталон (вещество которого вытекает из специально предусмотренного отверстия) и занимает его место. После затвердевания металла форма разрушается или разъединяется на составные части и извлекается готовая отливка, а вытекшее из формы легкоплавкое вещество служит для изготовления новых эталонов.

Здесь уже выполнившая своё назначение модель не просто выбрасывается, а утилизируется с целью её последующего восстановления, хотя непосредственно в ходе работы такого восстановления не происходит.

Пример 3. Патент ФРГ № 957596. Способ литья металлов под воздействием ультразвука, отличающийся тем, что наконечник ультразвукового излучателя, непосредственно контактирующий с расплавленным металлом, изготавливается из того же металла и принудительно охлаждается. Тогда в начале процесса, когда металл ещё очень горячий, наконечник частично расплавляется, но в конце процесса, когда температура расплава понижается, на него под воздействием принудительного охлаждения наплавляется новый слой металла, т. е. происходит его самовосстановление. Воздействие ультразвуком в процессе кристаллизации металла приводит к образованию мелкокристаллической структуры, что существенно улучшает его механические и магнитные свойства.

Здесь уже непосредственно при протекании рабочего процесса происходит самовосстановление (регенерация) израсходованной части объекта.

Тридцать пятый приём – изменение агрегатного состояния объекта

Это весьма мощный приём, так как при изменении агрегатного состояния кардинально изменяются свойства всех веществ. Мало того, что из твёрдого оно становится жидким, а из жидкого газообразным (или наоборот), но при этом сильно меняется его объём, теплоёмкость, теплопроводность и другие физические свойства.

Широко известными примерами применения этого приёма является использование специальной тары для удобства хранения и транспортировки сжиженных газов, которые в сжиженном состоянии занимают во много раз меньший объём (в космических ракетах в качестве окислителя топлива используется жидкий кислород, что позволяет запастись его в достаточных количествах в ограниченном объёме; широко используется транспортировка сжиженного природного газа в танкерах). Однако можно привести пример, где использование сжиженного газа не только уменьшает его объём, но и позволяет выполнять другие функции.

Пример 1. А. С. СССР № 111144. Аппарат для индивидуальной газотепловой защиты, состоящий из герметизированного комбинезона, шлема, соединительного кольца, дыхательного мешка, маски и размещённого в подкостюмном пространстве резервуара жидкого кислорода, отличающийся тем, что отработанный в холодильной системе газ используется для дыхания.

Такие аппараты необходимы для спасателей, работающих в горных выработках при возникновении в них пожаров, а также для пожарников и ремонтников металлургических печей (ремонт внутренней футеровки металлургических печей, выложенной огнеупорным кирпичом, должен проводиться регулярно, а ждать для этого полного остывания печи пришлось бы неделями из-за её огромной массы). Традиционно такие аппараты включали в свой состав дыхательный кислородный аппарат, работающий по замкнутому циклу, с подпиткой кислородом от баллона со сжатым кислородом и очисткой от углекислого газа с помощью известковых фильтров, и холодильный агрегат, обеспечивающий охлаждение подкостюмного воздуха. Оба агрегата являются достаточно тяжёлыми (не менее 15 кг каждый), плюс ещё вес самого костюма и инструментов, которыми должен работать спасатель. В итоге работать в них было очень тяжело, да и холодильного вещества, в качестве которого чаще всего использовался сухой лёд (твёрдая уголекислота) или жидкий аммиак, хватало лишь на полчаса работы.

Ценность данного изобретения состоит в том, что в нём эти два агрегата объединены в один. Жидкий кислород используется и для обогащения воздуха кислородом, и для его охлаждения, что позволило в полтора раза уменьшить начальный вес аппарата (а по мере расходования жидкого кислорода, запас которого составлял 12 кг, этот вес непрерывно снижался), допустимая температура окружающей среды увеличилась со 100 до 200 °С, а время непрерывной работы увеличилось до четырёх часов.

Это изобретение, сделанное Г.С. Альтшуллером и Р. Шапиро, и является ярким примером использования не одного, а нескольких приёмов, когда достигаемый общий эффект от использования каждого из них не просто

суммируется, а умножается. В данном случае здесь используется не только приём 35, но и приёмы 5 и 6 (объединение и универсальность), приём 25 (самообслуживание), приём 34 (принцип отброса и регенерации частей) и, как будет показано далее, приём 36 (применение фазовых переходов).

В самом деле, жидкий кислород одновременно является и эффективным охладителем и используется для приготовления дыхательной смеси (принцип универсальности), что позволило объединить холодильный агрегат с дыхательным аппаратом (принцип объединения). При этом испаряющийся жидкий кислород, выполнив функцию охлаждения, согревался (принцип самообслуживания) и использовался для дыхания, а выдыхаемый воздух выводился наружу, облегчая общий вес снаряжения (принцип отброса и регенерации частей).

Пример 2. Газоконденсационные датчики-реле температуры. Они содержат термобаллон, частично заполняемый легкоиспаряющейся жидкостью и соединённый гибким капилляром с сильфоном или ёмкостью с упругой мембраной, которые вместе с термобаллоном образуют герметичную термосистему. Термобаллон помещается в камеру с регулируемой температурой (например, холодильную камеру холодильника), а подвижная стенка сильфона (или мембрана) контактирует с исполнительным устройством термореле. При повышении температуры в холодильной камере часть жидкости, заполняющей термобаллон, испаряется и повышает давление насыщенных паров в термосистеме, что приводит к перемещению стенки сильфона (или прогибу мембраны), в результате чего срабатывает исполнительное устройство термореле. При понижении температуры в холодильной камере, часть паров конденсируется, их давление уменьшается и система возвращается в исходное состояние.

Аналогично работает автомобильный термостат, только в качестве термочувствительного вещества используется твёрдое легкоплавкое вещество (типа парафина или воска), которое при определённой температуре расплавляется, резко увеличивая свой объём и приводя к открытию регулирующего клапана, направляющего охлаждающую двигатель жидкость в радиатор, где она интенсивно охлаждается и далее охлаждает двигатель.

Тридцать шестой приём – применение фазовых переходов

Данный принцип родственен предыдущему, но отличается от него тем, что, во-первых, фазовые переходы – понятие более широкое, чем изменение агрегатного состояния вещества (хотя включает в себя и агрегатные переходы), а во-вторых, этот приём использует не столько различие физических свойств вещества в различных агрегатных (или фазовых) состояниях, сколько те физические явления, которые сопровождают переход вещества из одного состояния в другое. В частности, для ферромагнитных материалов очень важным является переход через точку Кюри, когда они теряют ферромагнитные свойства. Кроме того, этот приём следует понимать более широко, т. е. изменять можно не только агрегатное состояние, но и различные физикохимические параметры объекта. Например, для растворов можно в

широких пределах изменять концентрацию или добавлять в них другие вещества, для газов, помимо концентраций и химического состава, можно в широких пределах менять их температуру и давление.

В частности, в приведенном выше примере 2 (газоконденсационного датчика-реле (температуры и автомобильного термостата) в чистом виде используется приём 35, так как для совершения рабочего действия используется различие объёмной плотности рабочего вещества в жидком и газообразном состоянии или в твёрдом и жидком состоянии. А использование того же перехода из жидкого состояния в газообразное в холодильных агрегатах будет уже примером применения приема 36, так как здесь использован физический эффект, сопровождающий этот переход (поглощение большого количества тепла из окружающего пространства), а не само различие свойств рабочего вещества в этих двух агрегатных состояниях. В приведенном выше примере совместно используются оба указанных приёма. В самом деле, жидкий кислород используется вместо сжатого газообразного не только потому, что занимает меньший объём при той же массе (приём 35), но и потому, что при его испарении поглощается большое количество тепла из окружающего пространства (приём 36).

В термомагнитных реле используется фазовый переход в структуре ферромагнитных материалов, происходящий при их нагреве до определённой температуры (точки Кюри), при котором они теряют свои ферромагнитные свойства. Это приводит к срабатыванию электромагнитного исполнительного устройства, магнитопровод которого нагревается до точки Кюри.

Полиморфизм, т. е. способность кристаллизации твёрдых веществ в нескольких формах, присущ многим веществам. Широко известным примером является углерод, который может кристаллизоваться в виде графита, имеющего слоистую структуру, с настолько слабыми связями между отдельными слоями, что его используют для изготовления грифелей карандашей, и в виде алмаза с тетрагональной кристаллической решёткой, который является самым твёрдым природным веществом на земле. Менее известен полиморфизм олова, которое может существовать в двух видах: белого олова (с удельной плотностью 7,31) и серого олова (с удельной плотностью 5,75). Очевидно, что переход из первого состояния во второе будет сопровождаться существенным увеличением объёма, что может быть использовано для достижения термомеханического эффекта.

Подобные структурные превращения, не связанные с изменением агрегатного состояния, имеют место при переходе некоторых веществ при сверхнизких температурах в сверхпроводящее состояние. Если ранее считалось, что в сверхпроводящее состояние могут переходить только металлы, которые переходят в сверхпроводящее состояние при температурах, близких к абсолютному нулю, то не так давно были созданы керамики, переходящие в сверхпроводящее состояние при температурах порядка 200 К. А разработанная в настоящее время теория сверхпроводимости позволяет надеяться, что будут созданы высокотемпературные сверхпроводники, имеющие температуру перехода порядка +20 °С. Но уже сейчас изготавливаются мощные

сверхпроводящие трансформаторы и электромагниты, функционирующие при температуре жидкого азота (195 °С) и даже жидкого метана (161 °С). Это все примеры использования приёма 36.

Тридцать седьмой приём – применение термического расширения

Здесь можно рассматривать два составляющих подприёма:

- а) использовать термическое расширение (или сжатие);
- б) применить в одном устройстве несколько материалов с сильно различающимися коэффициентами термического расширения.

Подприём **а** применяется чрезвычайно широко. Примерами могут служить жидкостные термометры, горячая посадка для получения неразъёмных соединений (когда втулка перед посадкой на вал нагревается, её отверстие увеличивается и вал свободно проходит в него, а при охлаждении отверстие сжимается и плотно охватывает вал, образуя прочное неразъёмное соединение без всякой сварки).

Подприём **б** применяется в термобиметаллических устройствах, широко используемых для построения термореле.

А. С. СССР N 312642. Многослойная втулка, состоящая из надетых друг на друга концентрических втулок, выполненных из сплавов с различными коэффициентами температурного расширения, подобранных таким образом, чтобы у наружных слоев он был выше, чем у внутренних. Тогда в горячем состоянии эта втулка легко собирается, а при охлаждении эти слои плотно охватывают друг друга, создавая сильные внутренние напряжения, упрочняющие всю конструкцию. В холодном состоянии такую втулку разобрать на составляющие её кольца невозможно. Но при достаточном нагреве между отдельными слоями вновь появляются зазоры, и втулка легко разбирается.

Тридцать восьмой приём – применение сильных окислителей

Здесь также можно выделить несколько подприёмов, в зависимости от способов получения сильного окислителя:

- а) заменить обычный воздух обогащенным кислородом (вплоть до чистого кислорода);
- б) воздействовать на воздух (или кислород) ионизирующим излучением для получения атомарного (O) и ионизированного (O²⁺) кислорода, который является более сильным окислителем, чем молекулярный кислород;
- в) использовать озонированный кислород (O⁺), являющийся ещё более сильным окислителем.

Использование сильных окислителей позволяет интенсифицировать окислительные реакции, в том числе и реакции горения, и достигать при этом высоких температур, недостижимых при горении в обычном воздухе. В металлургии кислородное дутьё (воздух, обогащенный кислородом) позволяет почти вдвое сократить цикл выплавки стали, использование чистого кислорода в газовой сварке позволяет поднять температуру факела почти до 3000 °С. Можно также привести пример, не связанный с горением.

А. С. СССР № 261859. Способ получения тонких плёнок феррита путём химических газотранспортных реакций в окислительной среде, отличающийся тем, что с целью интенсификации окисления и увеличения однородности плёнок процесс осуществляют в среде озона.

Тридцать девятый приём – применение инертной среды

Здесь можно выделить две разновидности:

- а) заменить обычную среду инертной;
- б) вести процесс в вакууме.

Этот приём является антиподом предыдущего и применяется в тех случаях, когда надо предотвратить окислительные реакции. С этой целью в лампах накаливания стеклянные колбы заполняются инертным газом. С этой же целью, чтобы предотвратить окисление металла в зоне сварки, электроды для электродуговой сварки покрывают специальной обмазкой, которая, расплавляясь при сварке, предохраняет сварочный шов от воздействия кислорода воздуха.

Использование же вакуума позволяет не только предотвратить окислительные реакции, но и не допустить загрязнения рабочей зоны различными веществами из окружающей среды. Сюда относятся все технологические процессы выращивания полупроводниковых кристаллов и изготовления из них интегральных микросхем и других полупроводниковых приборов.

Сороковой приём – применение композиционных материалов

Композиционные материалы – это составные материалы, которые обладают свойствами, не присущими каждой из их составных частей в отдельности. Современные технологии позволяют получать широкий набор композиционных материалов с разнообразными свойствами.

К таким материалам относятся пластмассы, армированные стекловолокном (стеклоткани и стеклотекстолит, нашедшие исключительно широкое применение в электротехнической промышленности и электронном приборостроении), высокопрочные конструкционные материалы на основе пластмасс, армированных углеродными нитями (углепластики) и металлическими нитями. Композитными являются многие материалы, получаемые методом порошковой металлургии (в том числе такие широко применяемые, как ферриты). К классу композитных материалов относятся и современные металлокерамические материалы, обладающие исключительной прочностью и жаростойкостью.

Кроме композиционных материалов всё большее применение в технике и строительстве находят многослойные композиционные конструкции, которые сочетают высокую прочность с малым весом, пожаробезопасностью, устойчивостью к атмосферному и химическому воздействию, обладают хорошими теплоизолирующими свойствами и другими ценными качествами. В авиации и космической технике широкое применение получили многослойные сотовые и металлопластиковые конструкции. Список и области применения композиционных материалов и конструкций продолжают быстро расширяться.

Поэтому применение новых композиционных материалов и конструкций часто позволяет успешно разрешать возникшие технические противоречия в изобретательских задачах.

7 Стандарты на решения изобретательских задач

Для определённых классов задач должны существовать характерные для них комбинации приёмов, которые гарантируют получение решений высоких уровней. Такие комбинации приёмов, пригодные для решения определённых классов задач, были действительно обнаружены и получили название **стандартов на решение изобретательских задач**.

Характерными особенностями этих стандартов являются следующие:

- в их состав входят не только отдельные приёмы, но и физико-технические эффекты;
- приёмы и эффекты, входящие в стандарт, образуют целостную систему, т. е. должны применяться в определённой последовательности;
- система приёмов и эффектов, образующая стандарт, направлена на устранение физических противоречий, типичных для данного класса задач;
- отчётливо прослеживается связь стандартов с основными законами развития технических систем.

Всего разработано уже более 50 стандартов. Однако большая их часть имеет очень узкую специализацию, а некоторые ещё недостаточно апробированы в практической изобретательской деятельности.

Стандарт 1. Если объект трудно обнаружить в какой-то момент времени и если в него можно заранее ввести какие-то добавки, то задача решается предварительным введением в объект добавок, которые создают легко обнаруживаемое (чаще всего электромагнитное, включая и световое излучение) поле или легко взаимодействуют с внешней средой, обнаруживая себя, а следовательно, и тот объект, куда эти добавки были введены.

Аналогично решаются задачи на измерения, если их удаётся представить в виде последовательности задач на обнаружение.

Примером может служить решение (добавка люминофора в рабочее вещество холодильника для обнаружения и локализации протечек).

В данном решении используется приём 32 (принцип изменения окраски) в сочетании с эффектом люминесценции (излучения в видимом диапазоне световых волн) веществ-люминофоров при их облучении в ультрафиолетовом диапазоне волн.

Можно привести ещё аналогичные задачи:

Задача 1.1. Качество притирки одной поверхности к другой проверяют, нанося на одну из поверхностей тонкий слой краски и проверяя равномерность отпечатка на другой поверхности после их прижатия друг к другу. Для поверхностей высших классов чистоты наносимый слой краски должен быть очень тонким (десятые доли микрометра). Отпечаток при таком тонком слое

краски невозможно различить на поверхности металла (такой тонкий слой краски практически прозрачен). Как быть?

Решение данной задачи аналогично предыдущей – надо использовать люминесцентную краску и рассматривать отпечаток в темноте при ультрафиолетовом облучении.

Но данный стандарт предусматривает применение приёма 32 не только в сочетании с эффектом люминесценции, но и с любыми другими эффектами, которые создают легко обнаружимое (или измеримое в задачах на измерение) поле. Примером может служить следующая задача.

Задача 1.2. Необходимо измерить температуру на поверхности малого объекта. Контактные методы измерения не подходят, так как, во-первых, трудно обеспечить хороший тепловой контакт между поверхностью объекта и термодатчиком, что приводит к недопустимо большим систематическим погрешностям; во-вторых, при малых размерах объекта размеры даже миниатюрных термодатчиков соизмеримы с размерами самого объекта, поэтому чем лучший тепловой контакт обеспечен между ними, тем сильнее будет искажаться температура объекта за счёт дополнительной поверхности охлаждения и теплоёмкости подсоединённого к нему термодатчика, что приведёт к большой методической погрешности. Что можно предложить?

Применение данного стандарта к этой задаче предполагает введение в объект какой-то добавки, которая создаёт хорошо обнаруживаемый эффект, интенсивность которого зависит от температуры. Оказывается, существуют краски, которые меняют свой цвет при определённой температуре. Температура цветового перехода различных отечественных термохимических индикаторных красок лежит в пределах 318... 1103 К (+45...+830 °С), при этом температурный интервал цветового перехода составляет 2 – 5 К. В этих же пределах лежит и разброс температуры перехода для красок одного и того же типа. Но такие краски позволяют фиксировать только момент достижения объектом определённой температуры (какова будет температура цветового перехода, зависит от типа применяемой краски). Следовательно, такие краски можно применять лишь для индикации нагрева до определённой температуры, а не для её измерения в каком-то достаточно широком диапазоне. Можно, конечно, различные участки контролируемого объекта покрасить различными термокрасками, имеющими различные температуры цветового диапазона, в требуемом интервале температур, но это технологически неудобно и неточно, поскольку градация температур цветового перехода таких красок составляет 20– 50 К.

Более подходят для данной задачи жидкокристаллические термоиндикаторы (ЖКТИ). Они поставляются в виде густой жидкости, которая наносится на контролируемую поверхность тампоном или кистью, а также в виде самоклеящихся плёнок с микропорами, заполненными ЖКТИ. По мере повышения температуры слой ЖКТИ показывает следующую последовательность цветов: красный, жёлтый, зеленый, голубой, фиолетовый. Подбирая состав ЖКТИ, можно регулировать и интервал, и температуру начала

цветоизменения. В России освоен выпуск ЖКТИ для диапазона температур 296...428 К (+23 ... +155 °С) при полном интервале цветовых переходов 5 К (т. е. 1 градус на каждый цветопереход). Это значит, что погрешность измерения температуры таким методом составит не более 0,5 градуса (правда, весь интервал измеряемых температур составит 5 градусов). Но зато даже на малой поверхности можно не просто определить среднюю температуру, а распределение температуры по поверхности. Чувствительность ЖКТИ может быть повышена на порядок и более, вплоть до 0,01 на цветовой переход, однако соответственно сузится и полный диапазон цветопереходов.

Эта же задача решается в следующем изобретении:

Задача 1.3. А. С. СССР № 415516. Для измерения температуры в труднодоступном месте на контролируруемую поверхность наклеивают алмазное зерно и измеряют показатель преломления светового луча, проходящего через алмаз, который зависит от его температуры.

В принципе, эта же задача может быть решена, если на поверхность объекта нанести магнитный порошок (добавленный в лак) или наклеить топкую магнитную пленку и измерять изменения магнитной проницаемости магнитного слоя, которые существенно зависят от температуры. Такие измерения вполне возможно осуществить бесконтактным методом с помощью магнитной головки, аналогичной магнитофонной. Здесь уже индицирующим полем является не световое, а электромагнитное (хотя свет – это тоже электромагнитное поле, только более коротковолновое).

Стандарт 2. Если нужно сравнить объект с эталоном, чтобы выявить отличия, то задача решается оптическим совмещением изображения объекта с эталоном или изображением эталона.

В этом стандарте использован приём 26 (принцип копирования). Подприём **б**, входящий в этот принцип, и составляет суть этого стандарта: заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изображениями). Использовать при этом изменение масштаба (увеличить или уменьшить копии).

Примером использования данного стандарта может быть следующее изобретение.

Задача 2.1. А.с. СССР № 350219. Для контроля точности сверловки переходных отверстий в печатной плате совмещают жёлтое изображение контролируемой печатной платы с синим изображением эталона. Если изображения печатной платы и эталона полностью совмещаются, то на экране будет зелёное изображение с белыми точками в местах отверстий. Если на каком-то участке совмещение отсутствует (например, на контролируемой плате отсутствует одно из отверстий), то в этом месте мы получим жёлтую точку, если же просверлено лишнее отверстие (или оно сместилось относительно эталона), то в этом месте получится синяя точка, а в том месте, где оно должно быть (т. е. где оно расположено на эталоне), – жёлтая точка.

В данном случае совместно с приёмом 26 используется эффект смешения различных цветов, который позволяет с одного взгляда находить отличия изображения контролируемого объекта от изображения эталона.

Стандарт 3. Если два подвижных относительно друг друга вещества должны соприкасаться и при этом возникает вредное явление, то задача решается введением между ними третьего вещества, являющегося видоизменённым состоянием одного из этих веществ или обоих вместе.

Фактически этот стандарт полностью соответствует правилу разрушения вредного веполя. Если же его конструировать из приёмов, то его можно представить в виде последовательного использования приёма 35 (изменение агрегатного состояния объекта) или 36 (применение фазовых переходов) и приёма 34 (принцип отброса и регенерации частей), а также приёма 11 (принцип «заранее подложенной подушки»). Эти приёмы могут сопровождаться разнообразными физико-техническими эффектами, зависящими от физической природы конкретных объектов, участвующих в задаче.

Задача 3.1. Для защиты подводных крыльев от эрозии, возникающей при высокой скорости движения судна на подводных крыльях из-за явления кавитации, на них предлагается намораживать самовосстанавливающийся слой льда, являющегося другим агрегатным состоянием окружающей среды – воды. Для получения этого слоя использован приём 35, выполняет он защитную функцию, предохраняя металл крыла от эрозии (приём 11). Поскольку при движении судна он все время частично разрушается (из-за воздействия всё той же эрозии и таяния), а под действием холодильного раствора, циркулирующего внутри полости крыла, непрерывно регенерируется, то это означает использование приёма 34.

Задача 3.2. Защита расплавленного шлака от застывания при перевозке. Такую защитную функцию выполняет слой шлаковой пены, представляющей собой видоизмененное состояние обоих контактирующих веществ – расплавленного шлака и воздуха.

Задача 3.3. Необходимо регулировать поток железорудной пульпы (взвесь измельченной железной руды в воде), транспортируемой по трубопроводу. Попытки использования вентилях и задвижек обычных конструкций не увенчались успехом: при малых зазорах они быстро забивались частичками руды, а при больших запорные детали быстро изнашивались, поскольку частички железной руды обладают абразивными свойствами. Задвижки приходилось заменять почти каждый день. Что можно сделать?

Бесполезно пытаться защитить истираемые детали задвижки каким-то сверхстойким защитным слоем. Во-первых, это дорого, а во-вторых, пульпа все равно этот слой разрушит, хотя срок службы несколько увеличится. Кардинальным решением проблемы, очевидно, является создание самовозобновляющегося защитного слоя. В соответствии с данным стандартом этот слой необходимо сделать из самой пульпы, каким-либо образом видоизменив её. Как создать такой слой? Пульпа состоит из воды и частичек железной руды. Раз есть вода, то её можно заморозить и превратить в твёрдое вещество – лёд, слой которого будет защищать ответственные части задвижки и непрерывно возобновляться, если эти части искусственно охлаждать.

Однако на этот раз оно не единственное и не лучшее (для регенерации слоя льда соответствующие части регулирующего устройства необходимо непрерывно охлаждать, для чего необходимо тратить значительную энергию, да и конструкция устройства существенно усложняется).

Можно использовать вторую составляющую часть пульпы – частички железной руды. Если бы удалось покрыть все контактирующие с пульпой части регулирующего устройства непрерывно возобновляемым слоем неподвижных частичек железной руды, то он справился бы с выполнением защитной функции ещё лучше, чем слой льда. Решение очевидно: все эти части регулирующего устройства достаточно намагнитить (для чего они, конечно, должны быть изготовлены из ферромагнитного материала – стали) и тогда они сами покроются непрерывно возобновляемым слоем ферромагнитных частичек железной руды. И для поддержания этого слоя не понадобится никаких затрат энергии и никакого усложнения конструкции. Решение практически идеальное.

Нельзя ли его развить более широко? Ведь истирается не только запорное устройство, но и сам трубопровод. Можно ли и его защитить слоем намагниченных частичек руды? Конечно, ведь сам трубопровод тоже сделан из стальных труб. Если их перед сваркой трубопровода или даже после его строительства намагнитить радиально мощным импульсом постоянного тока, пропускаемым продольно по трубе, то при закачке пульпы к его внутренней поверхности плотным слоем налипнут частички железной руды, которые и защитят поверхность самой трубы от износа. Причём этот слой будет самовосстанавливаться. Трубопровод будет служить вечно, лишь бы не проржавел снаружи.

Но и это ещё не все. Если уж железорудная пульпа так легко управляется магнитным полем, то нельзя ли использовать это поле и для регулирования её потока, т. е. вообще обойтись без механического вентиля? Вполне возможно. Для этого достаточно в каком-то локальном месте трубопровода создать более мощное и регулируемое поле, и тогда толщина налипшего на стенки слоя ферромагнитных частиц в этом месте трубопровода будет тем больше, чем больше величина поля, и при каком-то его значении проход трубы полностью перекроется слипшимися частичками руды, а при ослаблении поля под действием давления пульпы проход вновь откроется. Как создать такое регулирующее магнитное поле? Тоже очень просто. На коротком участке трубы (по длине, примерно равной её диаметру) намотать на трубу обмотку, по которой пропускать регулируемый постоянный ток, и мы получим дистанционно регулируемый не изнашиваемый и не нуждающийся в периодической чистке электромагнитный вентиль.

Один и тот же стандарт позволил получить два весьма эффективных решения поставленной задачи и попутно решить ещё более важную задачу: защиты от износа всего трубопровода.

Стандарт 4. Если нужно управлять перемещением объекта, в него следует ввести ферромагнитное вещество и использовать для управления магнитное

поле. Фактически и этот стандарт соответствует одному из вепольных преобразований – переходу от веполя к феполю.

Реализуется он путём совместного применения двух приёмов: 24 (принцип «посредника») и 28 а (использование электрических, магнитных и электромагнитных полей для взаимодействия с объектом). При этом в качестве «посредника» должно использоваться ферромагнитное вещество чаще всего в дисперсном состоянии (т. е. дополнительно используется приём 1 – принцип дробления).

Примером может служить задача (получение ворсистого покрытия из расплава полимерного материала) и все другие примеры использования фепольных систем (электромагниты, электромагнитные реле, муфты, клапаны и т. д.).

С помощью данного стандарта эффективно решается еще одна задача.

Задача 4.1. Для гашения вибраций и ударов применяются механические и гидравлические амортизаторы и демпферы. Наиболее эффективными являются гидравлические (жидкостные) демпферы. Но и они имеют существенный недостаток – коэффициент демпфирования практически не удается регулировать (он определяется вязкостью демпфирующей жидкости и зазором между стенками корпуса демпфера и перемещающегося в его полости поршня (или демпфирующего крыла), механически связанного с колеблющимся объектом). В обычных конструкциях демпферов и то, и другое не регулируется, а значит, не регулируется и коэффициент демпфирования (он изменяется лишь при изменении температуры демпфирующей жидкости и по мере износа, но эти изменения не регулируются). Как сделать демпфер с регулируемым коэффициентом демпфирования, не усложняя конструкцию и не снижая надёжности его работы и долговечности?

Ширину зазоров регулировать сложно. Это потребует существенного усложнения конструкции, а значит, снижения надёжности демпфера. Остается регулировать вязкость жидкости. В качестве демпфирующих жидкостей используются технические масла. Их вязкость обычно несколько снижается при повышении температуры жидкости, но в приемлемом диапазоне температур эти изменения незначительны. Да и регулировать температуру рабочей жидкости достаточно сложно (при интенсивной вибрации жидкость сама будет нагреваться от трения и её придётся охлаждать, а при отсутствии вибрации её придётся подогреть для достижения нужной вязкости). Да и диапазон регулирования получается слишком узким. Применим для решения данной задачи рассматриваемый стандарт. Для этого надо в жидкость добавить очень тонкий ферромагнитный порошок, тогда он не будет осаждаться, и мы получим так называемую магнитную жидкость, вязкость которой можно регулировать в очень широких пределах с помощью магнитного поля. При этом достаточно демпферный цилиндр поместить в полость обмотки, через которую пропускать регулируемый ток. Полученное решение соответствует а. с. СССР № 469059.

Стандарт 5. Если нужно повысить технические показатели системы, но это наталкивается на труднопреодолимые препятствия (отсутствие материалов

с необходимыми свойствами, энергетические ограничения, опасность для человека и окружающей среды и т. п.), то следует отказаться от развития данной системы в пользу принципиально новой системы, работающей на других принципах. При этом прежняя система может войти в новую в качестве одной из подсистем.

Этот стандарт непосредственно не базируется на каких-то конкретных эвристических приёмах, а отражает фундаментальный закон развития технических систем. Обычно он применяется для достаточно сложных технических систем, уровень развития которых соответствует третьей стадии, когда каждое последующее улучшение даёт всё меньший эффект, но требует всё больших усилий и затрат. Как правило, к этому времени уже начинается первый этап развития альтернативных систем того же назначения, но на другой принципиальной основе. Правда, технически и, особенно, технологически они ещё весьма несовершенны, но потенциальные возможности у них существенно выше.

Стандарт 6. Если трудно выполнить какую-то технологическую операцию с тонким, хрупким или легко деформируемым объектом, то на время выполнения этой операции объект надо объединить с другим объектом (веществом), делающим его прочным и твёрдым, который после выполнения операции удаляется механическим или химическим путём.

Данный стандарт можно считать соединением приёма 9 (принцип предварительного антидействия) и 24 (на время присоединить к объекту другой объект, удаляемый после совершения нужного действия).

Стандарт широко применяется в технологии и, в частности, в металлообработке: при механической обработке (точении, шлифовании) тонкостенных изделий. Чтобы избежать их деформации при воздействии инструмента, используют технологическую оснастку – оправки, на которые надевается обрабатываемое изделие при обработке и с которой оно снимается после обработки. В тех случаях, когда изделие после обработки невозможно снять с оправки, её удаляют другими способами (делают из легкоплавкого материала и потом выплавляют из изделия или вытравляют химическим способом). Пример:

Задача 6.1. А. С. СССР № 182661. Способ изготовления особо тонкостенных трубок из нихрома с использованием метода волочения, отличающийся тем, что исходные трубки надевают на алюминиевый стержень и вместе с ним пропускают через волочильный стан, после чего зажатый внутри трубки алюминиевый стержень вытравляют в щелочном растворе.

Стандарт 7. Когда надо совместить два взаимоисключающих действия (или два взаимоисключающих состояния объекта), то каждое из этих действий надо сделать прерывистым и совместить их таким образом, чтобы одно действие совершалось в паузах другого. При этом переход от одного действия (состояния) к другому должен осуществляться самим объектом (например, за счёт фазовых переходов, происходящих в нём, при изменении внешних условий). В этом стандарте используется приём 19 (использовать паузы между

импульсами одного действия для совершения другого действия) в сочетании с приёмом 36 (применение фазовых переходов).

Примерами применения данного стандарта могут служить следующие задачи:

Задача 7.1. Радиотелескопы обычно строят на возвышенной местности, чтобы избежать радиотени от окружающих местных предметов (высоких деревьев, строений, холмов и т. п.). Но при грозах это создаёт повышенную опасность попадания молнии в антенну радиотелескопа, так как она является самым высоким предметом, да ещё электропроводящим, в окружающей местности. Если вокруг неё поставить молниеотводы (ещё более высокие проводящие стержни), то они выполняют функцию защиты от молний, но сами будут создавать очень сильную радиотень, т. е. мешать нормальной работе радиотелескопа. Как быть?

Прежде чем приступать к решению данной задачи, необходимо чётко уяснить принцип действия молниеотвода. Молния возникает в тот момент, когда напряжённость электрического поля между заряженным облаком и землёй достигает величины, достаточной для электрического пробоя слоя воздуха между облаком и землёй. При этом наибольшая концентрация электрического поля возникает над выступающими над поверхностью земли проводящими объектами, особенно если их вершины имеют остrokонечную форму, что и реализуется в молниеотводе. Градиент электрического поля над ним максимален, что создаёт благоприятные условия для ионизации воздуха в прилегающем пространстве. Поэтому электрическое сопротивление между землей и заряженным облаком будет минимально именно над молниеотводом, соответственно, и электрический разряд происходит через молниеотвод. Отсюда следует и принципиальное решение задачи: когда грозы нет, молниеотводов быть не должно, чтобы не создавать радиотени, а во время грозы они должны быть, чтобы обеспечить защиту антенны от удара молнии.

Казалось бы, и реализовать его не сложно. Достаточно вокруг антенны радиотелескопа расположить три телескопически выдвигающихся металлических молниеотвода, высота которых при полном выдвигении превосходила бы высоту антенны радиотелескопа, а при полном складывании – не создавала бы радиотени (при этом нижнее колено этих молниеотводов должно закапываться в землю для обеспечения хорошего заземления). Однако простота этого решения только кажущаяся. Дело в том, что антенна современного радиотелескопа – это огромное сооружение высотой в несколько десятков метров.

Следовательно, мачты телескопических молниеотводов при полном выдвигении должны быть ещё выше и полностью выдвигаться во время грозы. Но гроза всегда сопровождается сильным порывистым ветром, а высокие и сравнительно тонкие мачты молниеотводов будут подвергаться большим ветровым нагрузкам. Обычно для придания устойчивости к таким нагрузкам высокие мачты крепят многоярусными растяжками. Но в случае телескопически выдвигающихся мачт это сделать очень сложно, да и сам

механизм выдвижения и складывания мачт реализовать не просто. К тому же кто-то должен вовремя этот механизм включать и выключать. Как видим, решение неэффективное, хотя в его основе лежит тот же приём 19 в, что и в основе рассматриваемого стандарта 7.

Но стандарт 7 кроме данного приёма включает ещё и приём 36, который должен обеспечивать автоматический переход от одного действия (или состояния) к другому. В решении с телескопическими мачтами этого нет. Какой фазовый переход здесь может быть использован? Очевидно, процесс ионизации столба воздуха над молниеотводом. Именно этот процесс происходит непосредственно перед ударом молнии под действием возникающего электрического поля, и именно он обеспечивает попадание молнии в молниеотвод. При нормальном атмосферном давлении ионизация воздуха происходит лишь при очень высокой напряженности электрического поля. Но при снижении давления воздуха напряжённость поля, необходимая для его ионизации, резко уменьшается. Значит, если мы смогли бы существенно (в несколько раз) снизить давление узкого вертикального столба воздуха непосредственно над молниеотводами, то их высоту можно сделать много меньше высоты защищаемого объекта (важно, чтобы высота ионизированного столба воздуха была бы выше, чем высота защищаемого объекта). Роль молниеотвода в этом случае играл бы столб ионизированного воздуха, который возникал бы автоматически непосредственно перед ударом молнии под действием электрического поля заряженного облака. Как это осуществить технически?

Решение приводится в а. с. СССР № 177497: молниеотвод, отличающийся тем, что он, с целью придания ему радиопрозрачности, выполнен в виде изготовленной из диэлектрического материала герметически закрытой трубы, давление воздуха в которой понижено и выбрано из условия наименьших газоразрядных градиентов, вызываемых электрическим полем развивающейся молнии.

Здесь сама молния вызывает «появление» молниеотвода в виде ионизированного столба разреженного воздуха в герметичном пространстве диэлектрической трубы, которая в обычных условиях не создаёт радиотени. Трубу молниеотвода не нужно выдвигать и вдвигать, она установлена стационарно, а значит, легко может быть укреплена с помощью растяжек (только сами растяжки должны быть диэлектрическими – лучше всего для этой цели подходят нейлоновые тросы, которые по прочности почти не уступают стальным и к тому же не подвергаются коррозии).

Задача 7.2. Некоторые электротехнические устройства наземных линий электропередач (например, автоматические разъединители для защиты от перегрузок, вызываемых ударом молнии, от коротких замыканий между линиями и для отключения линии при её порыве) приходится располагать под открытым небом, во всяком случае электрические вводы в эти устройства. При отрицательных температурах они могут обледеневать, что может приводить к коротким замыканиям. Для защиты от обледенения предлагалось надевать на

опасные места накладки из ферритов с большой площадью петли гистерезиса. При перемагничивании такой накладки в переменном магнитном поле промышленной частоты, возникающем вокруг проводов, они нагреваются и, обогревая провод, не допускают его обледенения. Всё было бы хорошо, но на нагрев этих накладок тратится дополнительная энергия и когда надо, и когда не надо (т. е. и при плюсовых температурах, когда никакого обледенения быть не может). Снимать и надевать эти накладки при изменениях погоды слишком хлопотно и дорого. Что можно предложить?

Применение данного стандарта для решения задачи требует поиска таких фазовых переходов, которые при изменениях окружающей температуры автоматически «подключали» и «отключали» эти накладки. Конечно, можно было бы поставить термореле, настроенное на нулевую температуру, которое бы управляло исполнительным устройством, приближающим или отдаляющим ферритовые накладки от провода. Но такое устройство будет достаточно сложным и ненадёжным. Можно ли обойтись без дополнительного устройства, сохранив его функции? Можно было бы, если бы при переходе через нулевую температуру феррит терял свои магнитные свойства. В принципе, такой фазовый переход существует для всех ферромагнетиков, в том числе и для ферритов – это переход через точку Кюри. Но для большинства ферромагнетиков температура этого перехода лежит в области от +150 до +500 °С. Однако существуют и такие ферромагнетики, у которых точка Кюри лежит в диапазоне климатических температур (от 60 °С до +50 °С). К ним относятся сплавы на основе никеля и меди (калмаллои), сплавы железа, никеля и хрома и некоторые другие. На основе таких сплавов могут быть изготовлены и магнитодиэлектрики с точкой Кюри в области 0 °С. Изготовленные из них ферромагнитные накладки будут сами «включаться» при снижении температуры до отрицательной и «отключаться» при плюсовой температуре. Получили решение близкое к идеальному.

Стандарт 8. Если невозможно или затруднительно непосредственно определить изменения состояния (массы, размеров, механического напряжения и т. д.) механической системы, то задача решается возбуждением в ней механических резонансных колебаний, по изменению частоты которых можно определить происходящие изменения.

В основе данного стандарта лежит приём 18 б (использование частоты резонансных колебаний). Однако, чтобы этот приём заработал в полную силу, его надо использовать в сочетании с различными физическими эффектами, влияющими на частоту резонансных колебаний объекта. На частоту резонансных колебаний любой физической системы (не обязательно механической) влияют любые изменения её параметров. Для механических систем такими параметрами могут быть масса, геометрические размеры и форма объекта, механические свойства его материала (в частности, значение модуля упругости), наличие в нём дефектов и механических напряжений и т. д.

Для электрических колебательных систем частота собственных автоколебаний зависит от индуктивности и электрической ёмкости системы. В

свою очередь, эти параметры могут зависеть от химического состава и структурного состояния материала объекта, окружающей температуры, влажности и т. п. Всё это в сочетании с удобством и высокой точностью измерения частоты создаёт предпосылки для многочисленных применений данного стандарта в самых разнообразных измерительных задачах.

Для их решения достаточно возбудить в объектах измерения автоколебания и измерить резонансную частоту этих колебаний. Примерами могут служить струнные датчики для измерения микроперемещений и механических напряжений, резонансные уровнемеры, низкочастотные акустические методы дефектоскопии (не путать с ультразвуковым эхометодом), резонансные методы измерения электрической ёмкости и индуктивности и связанных с ними неэлектрических величин (в частности, ёмкостные резонансные влагомеры) и множество других применений резонансных методов измерений.

Стандарт 9. Если нужно повысить технические показатели системы (точность, быстродействие, производительность и т. п.) и это наталкивается на принципиальные (запрет со стороны законов природы) или труднопреодолимые технические противоречия (резко ухудшаются другие свойства системы), то задача решается переводом системы (или её части) с макроуровня на микроуровень, т. е. система (или её часть) заменяется веществом, способным при взаимодействии с полем выполнить требуемые действия.

Этот стандарт не имеет прямых аналогов-прародителей среди эвристических приёмов устранения технических противоречий. Зато он полностью воплощает в себе один из вышерассмотренных законов развития технических систем – закон перехода с макроуровня на микроуровень. Этот переход часто сопровождается переходом от системы к подсистеме.

Задача 9.1. Одним из необходимых инструментов нанотехнологии является легкоуправляемый двигатель, позволяющий осуществлять микроперемещение зонда (острозаточенной иглы) с точностью до сотых долей нанометра. Ни одна механическая или электромеханическая система не может дать такой точности (лучшие механические и электронномеханические микрометры имеют точность на пять порядков хуже!). Совершенно очевидно, что никакое совершенствование механических систем не сможет обеспечить повышения точности в сто тысяч раз. В лучшем случае может быть достигнуто улучшение в десять раз. Следовательно, для решения задачи необходимо перейти на микроуровень. Какие физические эффекты, совершающиеся на уровне атомов и молекул, могут быть использованы для получения микроперемещений? Самый очевидный из них – это тепловое расширение тел. Нагревая твёрдое тело (стержень) с жёстко закрепленным одним концом, мы будем получать микроперемещение его свободного конца. Оценим достижимую при использовании этого метода точность. Коэффициент линейного теплового расширения твёрдых тел составляет от $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (кварц) до $29 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (цинк). Для других металлов он лежит в пределах $(5 \dots 25) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Даже если взять кварцевый стержень длиной 10 мм, то при нагревании на один

градус мы получим перемещение его свободного конца на 5 нм, что в пятьсот раз больше, чем нам необходимо, а обеспечить более высокую точность регулирования температуры этого стержня весьма сложно (в лучшем случае её можно повысить в 10 раз). Кроме того, быстродействие тепловых процессов даже в малых объёмах невысоко, что также является существенным ограничением.

Другими подходящими эффектами являются магнитоупругий (магнитострикция) и обратный пьезоэлектрический эффекты. В принципе, оба они позволяют получать микроперемещения в нужном диапазоне и являются достаточно быстродействующими. Однако управлять электрическим полем (напряжением на обкладках пьезо элемента) намного проще, чем магнитным, и можно обеспечить более высокую точность. Поэтому в нанотехнологиях преимущественно применяются пьезодвигатели.

Использование эффекта ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для измерения напряжённости магнитного поля позволило сразу в 1000 раз повысить точность измерений.

В дальнейшем на основе этого эффекта были созданы томографы, имеющие ряд важных преимуществ перед рентгеновскими и ультразвуковыми томографами. В частности, только МРТ томографы могут использоваться для диагностики заболеваний мозга.

Одним из новейших направлений развития микро и наноэлектроники является магнитная спинтроника, использующая магнитополупроводниковые наноструктуры с фиксацией направления спина электрона в качестве управляемого параметра. На основе таких структур в настоящее время разрабатываются запоминающие устройства огромной ёмкости, считывающие головки высочайшего разрешения для магнитных дисков, микроминиатюрные датчики магнитного поля и бесконтактные датчики токов, элементы гальванической развязки, спиновые транзисторы и логические элементы на их основе, что открывает перспективы создания сверхбыстродействующего квантового микрокомпьютера.

Стандарт 10. Если для решения задачи нужно ввести добавки, но по условиям задачи это запрещено, то следует использовать обходные пути:

- 1) вместо вещества ввести поле;
- 2) вместо «внутренней» добавки использовать «наружную»;
- 3) вводить добавку в очень малых дозах;
- 4) вводить добавку временно;
- 5) в качестве добавки использовать часть имеющегося (основного) вещества, переведённого в особое состояние;
- 6) вместо объекта использовать его копию, в которую разрешено вводить добавки;
- 7) добавки вводят в виде химического соединения, из которого они в дальнейшем выделяются.

В этом стандарте используется целая совокупность приёмов. К ним можно отнести приёмы: 3 (принцип местного качества), 26 (принцип копирования), 32

в, г, д (использование красящих, люминофорных или радиоизотопных добавок), зб (применение фазовых переходов). Кроме того, могут использоваться третий и четвёртый приёмы устранения физических противоречий:

- разрешение противоречия путём использования переходных состояний одного или обоих конфликтующих элементов, при которых сосуществуют или попеременно проявляются противоположные свойства;

- разрешение противоречия путём, перестройки структуры конфликтующей зоны одного или обоих конфликтующих элементов так, чтобы эта зона наделялась одним свойством, а вся остальная часть элемента – противоположным свойством.

Но самым важным условием успешного применения этого стандарта является хорошее знание различных физических и химических эффектов, поскольку введение добавки всегда связано с физическим или химическим взаимодействием добавляемого вещества с основным или с окружающей средой. Это хорошо видно из следующего примера.

Задача 10.1. Для предохранения трущихся поверхностей деталей механизмов широко применяются металлоплакирующие смазки. Они обычно готовятся путём добавления тонко измельчённого металлического порошка в обычное машинное масло. При работе механизма на трущихся поверхностях деталей создаётся тончайший защитный слой того металла, который добавлен в масло. Причём это самовосстанавливающийся слой, а его толщина саморегулируется. Она не может быть больше величины зазора между трущимися поверхностями, а по мере износа этого слоя он восстанавливается из новых частиц металла, взвешенных в масле. Такая смазка не только защищает детали от износа, но и успешно «залечивает» мелкие поверхностные дефекты на трущихся поверхностях, продлевая в несколько раз ресурс работы механизма. Но для успешного её применения необходимо, чтобы размеры гранул порошка, взвешенного в масле, были бы меньше рабочего зазора между трущимися поверхностями, иначе частицы металла просто не смогут попасть в этот зазор и плакирующий слой не возникнет. Поэтому для точных механизмов, где рабочие зазоры минимальны, такие смазки не применяются, поскольку приготовить металлический порошок с размерами гранул, не превышающими микрометра, практически невозможно. Как создать плакирующие смазки для точных механизмов? В этой задаче явно видно физическое противоречие: частицы металла должны быть в смазке в рабочем зазоре между трущимися поверхностями и их не может там быть, поскольку они крупнее, чем величина зазора. Если рассматривать частицы металла как добавку в основное вещество – масло, то данная задача является типичной для использования стандарта 10: добавка необходима для создания плакирующего слоя, но использовать её нельзя, так как невозможно получить металлический порошок с гранулами столь мелких размеров.

Рассмотрим предлагаемые стандартом обходные пути. Первые четыре способа сразу отпадают. Пятый способ в принципе возможен. Ведь в процессе

трения происходит истирание трущихся поверхностей, и срывающиеся с поверхности частички основного металла будут как раз нужного размера. Но для образования лакирующего слоя этого мало. Лакирующий металл должен быть намного мягче основного металла. В противном случае не только не будет образовываться лакирующего слоя, но, напротив, твёрдые частички основного металла будут действовать как абразив и приводить к ещё более быстрому истиранию трущихся поверхностей (что реально и происходит при сухом трении, и роль смазки здесь состоит не только в уменьшении коэффициента трения, но и в своевременном удалении из рабочего зазора сорванных частиц основного металла).

Можно, правда, предварительно покрыть трущиеся поверхности очень тонким слоем более мягкого металла. Но в этом случае мы вместо поставленной задачи – создания лакирующей смазки для точных механизмов, решаем другую – повышение износостойкости трущихся поверхностей путём их специальной обработки. Шестой способ также явно отпадает, но зато седьмой должен подойти. Если бы мы получили химическое соединение лакирующего металла, которое бы растворялось в масле, а при повышении температуры (которое всегда сопровождает трение) это соединение бы разрушалось, выделяя атомы металла, то задача оказалась бы решена. Действительно, сами металлы в масле не растворяются. Но металлы не растворяются и в воде, хотя есть большое число химических соединений металлов (в частности, их солей), которые прекрасно растворяются в воде, например, поваренная соль содержит металл натрия, который при определённых условиях можно из неё выделить. Но в нашем случае химическое соединение металла должно растворяться не в воде, а в машинном масле – органическом веществе. Известно, что в органическом веществе хорошо растворяются также органические вещества. Следовательно, нам нужна какая-либо соль металла и органической кислоты. Таких солей множество. Остаётся выбрать из них такую, которая разлагается при сравнительно невысокой температуре и содержит достаточно мягкий металл. Здесь уже необходим справочник по органической химии. Наиболее подходящим оказался уксуснокислый кадмий (соль кадмия и уксусной кислоты). Эта соль хорошо растворяется в машинном масле и разлагается при температуре +250 °С. Экспериментальная проверка показала прекрасные результаты, трущиеся поверхности при самых малых рабочих зазорах покрывались тончайшим самовосстанавливающимся лакирующим слоем кадмия. Это и понятно, ведь в истинном растворе мельчайшими частицами растворенного вещества являются его молекулы, а они пройдут в любой микроскопический зазор.

8 Характеристика и отличительные признаки операций Коллера

1. Излучение – поглощение. Излучение будем соотносить с источником энергии, вещества или информации, поглощение – со стоком (местом впадения) энергии, вещества или информации (сигналов). Эти две основные операции,

противоположные друг другу, представляют собой необходимое условие для создания или ликвидации потока (вещества, энергии или информации). Источники и стоки могут быть природные и искусственные (например, источники – солнце, топливо, генераторы; стоки – звукопоглощающее покрытие, заземление и т. п.). Источниками являются также все естественные источники энергии вещества или сигналов. В технических системах стоком в большинстве случаев служит природная окружающая среда. Для практического конструирования ТО обе эти операции, по мнению Р. Коллера, обычно имеют сравнительно небольшое значение.

2. Проводимость – изолирование. Для возникновения потока, кроме наличия источника и стока, требуется, чтобы между ними было проводящее пространство, обеспечивающее движение или распространение потока от источника к стоку (здесь не имеется в виду специальная организация потока, например, с помощью трубопровода).

Примеры проводящего пространства: воздушное пространство электролит и т. п.; примеры изолирования: непрозрачные шторы, изолятор, стенка и т. п.

3. Сбор – рассеяние. Основная операция «сбор» служит для того, чтобы поток (ресурсы) энергии, вещества и сигналов, распространяющийся по всем направлениям (рассредоточенный в пространстве или движущийся широким фронтом) заставить протекать в одном направлении или сосредоточиться (сфокусироваться) в одной точке. Операцию «сбор» осуществляет, например, параболическая антенна, фокусирующая линза, патрубок, через который вытекает жидкость из бассейна.

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

Различие между операциями «сбор – рассеяние» и «излучение – поглощение». Операции «излучение» и «поглощение» соответствуют первому (начальному) и последнему (конечному) участкам в потоке энергии, вещества или информации. До и после этих участков, можно сказать, нет организованного потока. Операции «сбор» и «рассеяние» соответствуют промежуточным участкам потока; до и после этих участков также существует организованный поток.

4. Проведение – непроведение. Операция «проведение» обеспечивает движение сконцентрированного потока по определенному заданному пути (траектории) с помощью технических средств, например, трубопровода, электропровода, шарнира. Непроведение означает, что на естественное направление движения и распространения потока ТО не оказывает никакого влияния (свободно падающая струя воды, летящая пуля, световой луч). Проведение – это движение, ограниченное связями; непроведение – свободное движение.

5. Преобразование – обратное преобразование. Это наиболее распространенные основные операции, противоположные друг другу, обеспечивают изменение свойств энергии, вещества и сигналов.

Под преобразованием энергии понимается превращение одного вида энергии в другой, которое происходит, например, в электродвигателе или двигателе внутреннего сгорания. К различным видам относятся тепловая, кинетическая, потенциальная, звуковая, оптическая и другие виды энергии.

Под преобразованием вещества понимается качественное изменение вещества, добавление или исчезновение определенных свойств вещества (например, изменения агрегатного состояния, нормальная проводимость – сверхпроводимость, немагнитное – магнитное вещество и т. п.).

Под преобразованием сигналов следует понимать операции, при которых одна физическая входная величина превращается в другую выходную физическую величину.

6. Увеличение – уменьшение. Эти основные операции изменяют состояние потока, т. е. значения какой-либо скалярной или векторной физической величины. При этом на входе и выходе имеем одну и ту же физическую величину. Примерами реализации операций «увеличение» – «уменьшение» являются: система рычагов, зубчатые передачи, передачи с изменяемым крутящим моментом, электрические трансформаторы, механические и электрические усилители, вентили, задвижки, регулирующие площадь сечения потока.

7. Изменение направления – изменение направления. Эти основные операции обеспечивают изменение направления векторной физической величины, значение которой остается неизменным. Изменение направления осуществляют: коленчатые равноплечие рычаги, передачи с коническими шестернями, зеркала и отражательные пластины, изогнутые трубопроводы или световоды и т. п.

При реализации операций «изменение направления» и «проведение» в отдельных случаях могут быть использованы одинаковые физические эффекты и соответственно одинаковые конструктивные элементы. Например, световод может применяться для проведения светового пучка и для изменения направления пучка лучей; такую же двойную функцию может иметь резиновый шланг с жидкостью. Это объясняется тем, что конструктивные элементы имеют не одно, а несколько свойств.

8. Выравнивание – колебание. Основная операция «выравнивание» преобразует колеблющийся (пульсирующий или нестационарный) поток в стационарный (электрические выпрямители, муфты свободного хода, обратные запорные клапаны и т. п.). Операция «колебание» производит обратное преобразование (кривошипный механизм, преобразующий равномерное вращательное движение в колебательное, прерыватель, колебательный контур и т. п.).

9. Связь – прерывание. Основная операция «прерывание» аналогично выключателю прерывает (останавливает) поток энергии, вещества или

информации и соответственно прекращает их передачу от одного пункта к другому. Операция «связь», напротив, восстанавливает (возобновляет) движение или передачу энергии, вещества и сигналов в потенциально существующем потоке. Примеры реализации этих операций: выключатели, соединительные муфты, затворы, задвижки, запорные клапаны и т. п.

При реализации операций «связь – прерывание» и «увеличение – уменьшение» в отдельных случаях могут быть использованы одинаковые конструктивные (функциональные) элементы, обеспечивающие реализацию двух основных операций (например, задвижка на трубопроводе т. д.).

10. Соединение – разъединение. Основные операции «соединение – разъединение» имеют отношение к неоднородным потокам (энергий, веществ и сигналов), имеющим различные значения физических величин (массу, плотность, окраску, агрегатное состояние, амплитуду, длину волны, геометрическую форму, размеры и т. д.). Примеры реализации операции «соединение»: смесители механических компонент, частот, электрических сигналов, карбюраторы и насосы, соединяющие энергию и вещество и т. п. Примеры реализации операции «разъединение»: сепараторы, центрифуги, различные фильтры, спектроскопы, сортирующие устройства, гидравлические двигатели, или турбины, радиаторы водяного отопления, разъединяющие энергию и вещество и т. п.

11. Объединение – разделение. Основные операции «объединение – разделение» обеспечивают соответственно объединение нескольких однородных потоков энергии, веществ или сигналов в один поток или, напротив, разделение одного потока на несколько однородных потоков (т. е. устройства, реализующие операции «объединение – разделение», взаимодействуют с такими потоками энергии, веществ и сигналов, в которых параметры потока, кроме количества энергии, вещества или сигналов, до и после устройств объединения – разделения остаются неизменными). Примеры реализации операций «объединение-разделение»: тройники и разветвления в водопроводных, тепловых, газовых, электрических и измерительных сетях передачи с распределением энергии, вещества или сигналов; дифференциалы; устройства для сварки, пайки и резки материалов.

12. Накопление – выдача. Потоки энергии, веществ и информации могут накапливаться и, при необходимости, востребоваться из накопителя. Для этого существуют две основные операции «накопление – выдача». Примеры реализации этих операций: для потоков энергии – механические, гидравлические, пневматические, электрические и тепловые аккумуляторы, для веществ – резервуары, баки, газовые баллоны, бункеры, элеваторы ...; для сигналов – перфокарты, магнитные ленты и диски, фотопленки ...

13. Отображение – обратное отображение. Операция «отображение» применяется в том случае, когда реальный поток энергии, вещества или физических сигналов на входе в процессе преобразования получает информационное отображение на выходе в графическом, числовом и другом виде, удобном для визуальной оценки, наблюдения или расчета. Это может

быть код, запись, изображение числового значения на цифровом индикаторе, показания на шкале прибора, изображение на экране дисплея или телевизора и т. д. «Обратное отображение» связано со случаями, когда на входе задается числовое значение или графическое изображение, а на выходе получается поток реального вещества или энергии.

14. Фиксирование – расфиксирование. Операция «фиксирование» связана с уменьшением числа свободы движения ТО, включая закрепление его в определенной точке пространства и уменьшение числа степеней свободы движения до нуля. Операцию «фиксирование» осуществляют приспособления и объекты, которые закрепляют одни элементы ТО или системы к другим, поддерживают составные части ТО на определенном расстоянии друг от друга, фиксируют заданное положение объекта. Здесь имеется в виду не только уменьшение степеней свободы какого-либо элемента относительно другого, а закрепление его на строго определенном расстоянии. В последнем случае на входе имеется неопределенная координата (одна или несколько), а на выходе – координаты, имеющие для данного технического объекта определенное значение. Операция «расфиксирование» связана с увеличением числа степеней свободы перемещения или с уменьшением определенности положения в пространстве.

Литература

1. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества / Учеб. пособие для студентов втузов. Москва : Машиностроение, 1988. – 368 с., ил.
2. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. Пер. с англ. Москва : Наука, 1974. – 358 с.
3. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках. Пер. с нем. Москва : Радио связь, 1984. – 144 с.
4. Половинкин А. И. Законы строения и развития техники / Учеб. пособие. Волгоград: ВолгПИ, 1985. – 202 с.
5. Каменев А. Ф. Технические системы: закономерности развития. Ленинград : Машиностроение, 1985. – 216 с.
- 6.