

методы
анализа проблем
и поиска решений
в технике

Б.И.Голдовский
М.И.Вайнерман

комплексный метод поиска решений технических проблем



Москва 1990

МЕТОДЫ
АНАЛИЗА ПРОБЛЕМ
И ПОИСКА РЕШЕНИЙ
В ТЕХНИКЕ

Б. И. ГОЛДОВСКИЙ
М. И. ВАЙНЕРМАН

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД
ПОИСКА РЕШЕНИЙ
ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

МОСКВА, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Три отечественных метода отнесены авторами книги «Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа» [12, с. 94] к классу методов направленного поиска: АРИЗ (ТРИЗ), метод поискового физического конструирования и комплексный метод поиска новых технических решений. Первые два метода подробно рассмотрены в соответствующей литературе: [4, 5] и [1, 14]. Комплексный метод освещен и известен гораздо меньше. Восполнить этот пробел призвана данная книга.

Комплексный метод поиска новых технических решений разработан в 1978—79 гг. под руководством Б. И. Голдовского и прошел многолетнюю практическую проверку на задачах из различных отраслей техники, подтвердившую его эффективность.

Основная цель книги — показать на примерах, как решаются задачи с помощью методического подхода вообще и с применением комплексного метода в частности. Однако осветить особенности метода (как и любого объекта) можно только в сравнении с аналогами. Поэтому попутно будет рассказано и о других методах направленного поиска и будет как бы продолжена тема «метододедения», рассмотренная в главе о логике поиска новых решений предыдущей книги авторов «Рациональное творчество» [9].

Следует отметить, что при рассмотрении комплексного метода и примеров его применения необходимо будет постоянно обращаться к книге [9]: и к терминам, и к теоретическим положениям, и к конкретному поисковому аппарату. В этом плане данную книгу можно считать непосредственным продолжением предыдущей, иллюстрирующим изложенные в ней теоретические положения.

Над книгой работали: Б. И. Голдовский — глава 1, 2, 4, приложение 1; М. И. Вайнерман — глава 1, 3, приложение 2.

Авторы выражают искреннюю благодарность В. П. Горбунову, А. П. Сохину и Ю. Н. Шеломку, принимавшим участие в разработке комплексного метода и его практической проверке.

Г л а в а 1

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД, ОТЛИЧАЮЩИЙСЯ ТЕМ...

*или
о гении и злодействе,
о том, чем и почему были неудовлетворены
авторы этой книги,
какое отношение к эвристике имеет команда
«Насыпать порох на полку»,
о месте комплексного метода в ряду других методов,
а в самом конце —
о том, почему точные науки называются точными*

Условные сокращения:

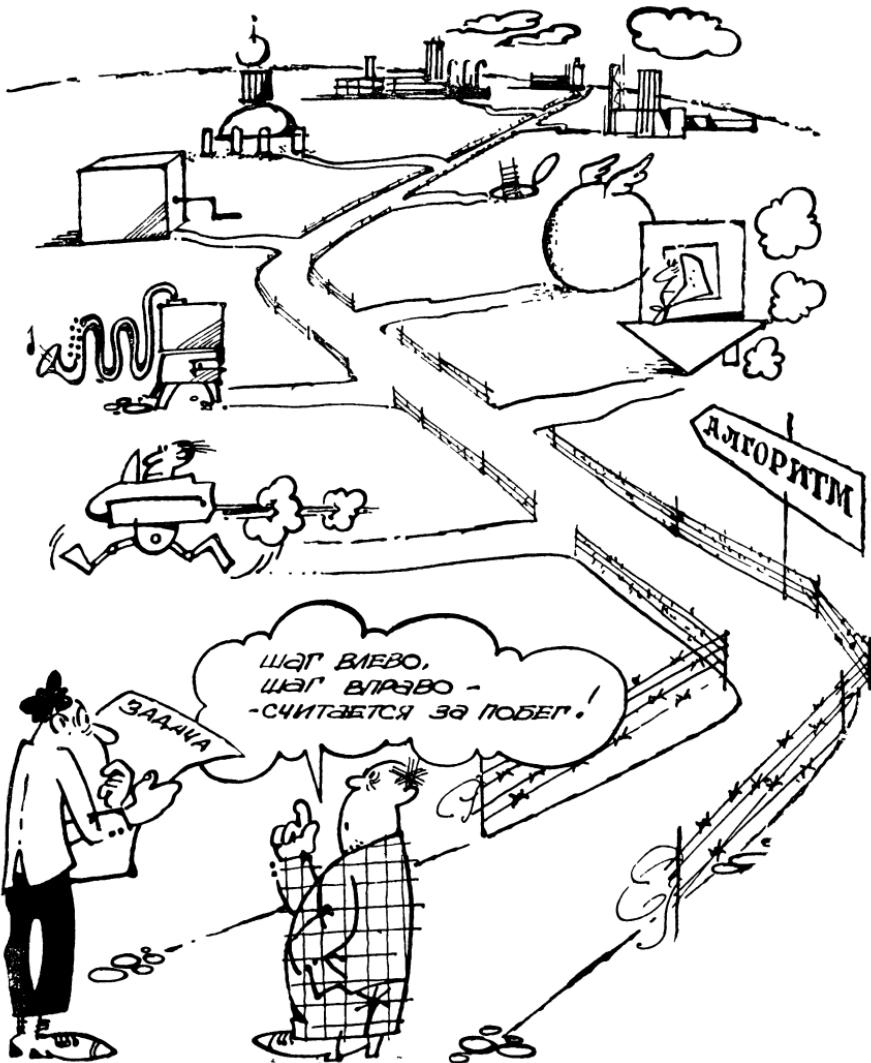
- ТРИЗ — теория решения изобретательских задач
АРИЗ — алгоритм решения изобретательских задач
ТС — техническая система
ТП — техническое противоречие
КМ — комплексный метод

Гений и злодейство, говорят, не совместимы. Но стремление к новому и консерватизм в человеке уживаются вполне. Поэтому любое новшество должно доказывать свое право на существование: «...отличающийся тем, что, с целью...».

Чтобы показать основные особенности комплексного метода поиска новых технических решений, необходимо обратиться сначала ко времени его разработки: к 1978—79 гг. Следует отметить, что авторы приобщились к методам творческого поиска через теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ), которая в начале 70-х годов называлась алгоритмической методикой (по названию метода — алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ) [3], составляющего ее основу). В те годы АРИЗ был практически единственным методом, в котором стремление уменьшить перебор вариантов при поиске реализовывалось наиболее последовательно. Особенно заметный скачок в повышении направленности был сделан в модификации АРИЗ—77 [4]. Но, справедливо отвергая метод проб и ошибок как средство поиска решений, в ТРИЗ одновременно «предали анафеме» перебор вариантов вообще. АРИЗ—77 был построен так, будто всегда получается один вариант решения, предпочтительность которого гарантируется правильностью выполнения формальных правил алгоритма, отражающих в основном внутреннее функционирование системы. Степень направленности метода превысила допустимый уровень, обусловленный достигнутым проникновением в суть процесса поиска новых решений. Метод стал излишне жестким. Фактически алгоритм решения неко-

торых типов задач был распространен на все задачи. Естественно, при использовании АРИЗ—77 для решения задач, особенно практических, стали возникать сбои.

Из числа методов, описанных к тому времени в литературе [6, 7, 11], определенным антиподом АРИЗу среди алгоритмических методов был обобщенный эвристический алгоритм поиска новых технических решений [11]. Он был разработан путем статистической обработки и обобщения различных методик как база для создания специализированных (отраслевых) методов. Наибольшее число операций предназначалось для постановки (переосмысления) задачи и для анализа, выбора и развития решения. В качестве основных средств решения задачи предполагалось использовать массивы физических эффектов и технических решений (не были опубликованы), массив эвристических приемов (420 единиц) и массив поисковых процедур (85 единиц). Поскольку выбор из



массивов решавший задачу человек должен был делать опираясь только на свой опыт и интуицию, направленность поиска этим методом была весьма небольшой.

Неудовлетворенность известными методами, опирающаяся как на результаты их практической проверки, так и на выполненные теоретические разработки, и явились причиной, побудившей авторов к созданию нового метода. За основу был принят АРИЗ. Одновременно были намечены направления разработки, которые обусловили основные отличия этого метода от известных:

- 1) в основу построения нового метода положены не статистика и не анализ «сбоев» в решении задач, а теоретические разработки в области поиска новых технических решений (в первую очередь — разработки логики поиска);
- 2) метод включает аппарат (специализированные блоки) для решения обеих основных классов задач: задач синтеза и задач — противоречий;
- 3) не отказываясь от направленности поиска, вместо использования недостаточно обоснованных формальных правил сделан акцент на выявление сущности конфликта и «развилок» в процессе поиска с сознательным выбором направления решения задачи;
- 4) максимально использован аппарат выявления и разрешения противоречий, в том числе — анализ технической системы (ТС) через логическую структуру технического противоречия (ТП);
- 5) для решения задач синтеза в метод включен аппарат построения структуры и поиска физического принципа действия на базе закономерностей построения ТС (энергетическая полнота и проводимость);
- 6) максимально использована одна из важнейших закономерностей развития технических систем — повышение степени идеаль-



ности ТС, для чего, основываясь на ранее разработанное представление об идеальной системе («системы нет, а функция ее выполняется»), введены в метод принципы идеальности; при выполнении операций синтеза решения, где, как правило, идет отход от идеальности, сделан акцент на использование скрытых или неполезных свойств (ресурсов) элементов системы и ее окружения, а также введен анализ степени идеальности системы.

* * *

Разработанный метод, получивший название комплексный метод поиска новых технических решений (сокращенно — комплексный метод, КМ), представляет собой общетехническую (межотраслевую) методику направленного поиска новых решений и имеет вид эвристического алгоритма.

Эвристический алгоритм представляет собой строго определенную последовательность (систему) предписаний, своего рода алгоритмизированную инструкцию, указывающую, что и как должен делать человек, чтобы решить задачу. При этом (в отличие от алгоритма для ЭВМ) предписания метода являются не строгими, эвристическими. В отличие от алгоритмических методов неалгоритмические эвристические методы структуризованы слабо. В некоторых из них оговариваются только общие принципы и укрупненный план действий. А порядок применения конкретных предписаний не является строгим.

Следует отметить, что алгоритмическая форма метода не гарантирует его направленности. Так, стратегия семикратного поиска [6], имеющая вид эвристического алгоритма и предполагающая применение матриц 7×7 , по механизму поиска близка к морфологическому методу [7, 8], который является методом ненаправленного систематического поиска решений.

Укрупненная схема метода показана на рис. 1. Текст метода приведен в приложениях 1 и 2.

Комплексный метод включает в себя систему предписаний и массивы информации. Предписания метода разделяются на основную последовательность действий и совокупность операторов.

Основная последовательность действий (приведена в приложении 1) описывает операции, составляющие процесс поиска новых технических решений, и делится на шесть этапов. Центральные, «решательные» (второй, третий и четвертый) этапы разделены на два блока. «Блок функционального синтеза технической системы» используется в тех случаях, когда надо построить ТС «с нуля» по заданной главной полезной функции (ГПФ) или достроить две и более подсистемы в имеющейся технической системе. В остальных случаях, при решении задач-противоречий или при достройке одной подсистемы используется «Блок преобразования технической системы». Блоки связаны между собой: если при синтезе многофункциональной системы возникнет подзадача, для ее решения может быть использован «Блок преобразования технической системы».

Операторы представляют собой подробные предписания, либо разъясняющие порядок выполнения отдельных операций основной последовательности действий, либо являющиеся специальными и,

в определенной степени, самостоятельными инструментами для преобразования задачи и синтеза решения, для анализа и синтеза технических систем. Своего рода «миниалгоритмы».

В тексте основной последовательности действий справа от описания операций указаны номера операторов, обращение к которым облегчает выполнение данной операции. Там же указаны и номера массивов информации, которые должны быть использованы при поиске решений.

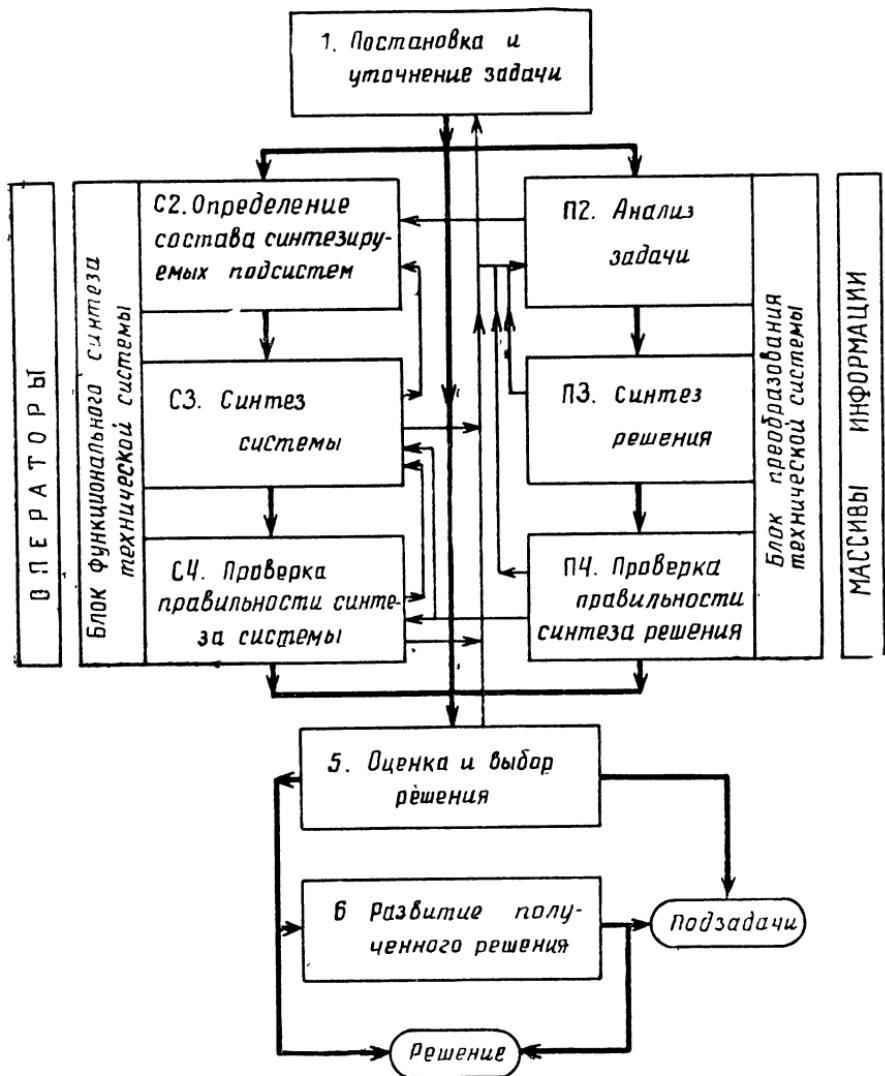


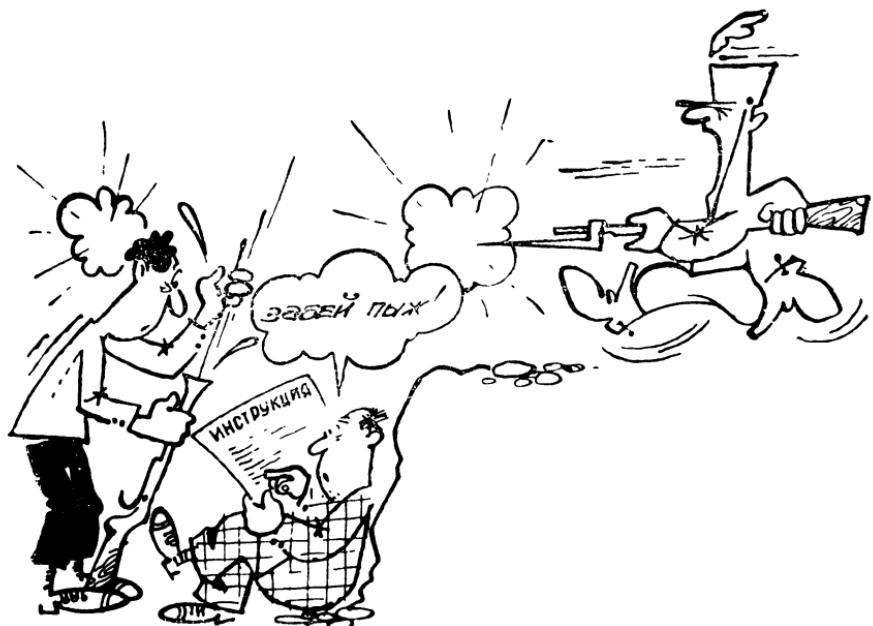
Рис. 1. Структурная схема комплексного метода поиска новых технических решений

Совокупность операторов — одна из особенностей комплексного метода. Она призвана разрешить противоречие, типичное для методов, ориентированных на человека: для облегчения освоения операции метода должны быть «мелкими», простыми, а после освоения слишком дробное деление на операции мешает, тормозит действие. Из истории известно, как подобное противоречие было разрешено в военном деле. При введении огнестрельного оружия его варяжали в боевых условиях сначала по целой системе команд: от «Прочистить ствол шомполом» до «Насыпать порох на полку». Затем в бою перешли к одной команде «Заряжай», а прежнюю совокупность команд оставили только при обучении. Возможность подобного перехода заложена и в комплексный метод: по мере освоения метода операции основной последовательности действий могут выполняться без обращения к соответствующим операторам.

Комплексный метод в полном объеме предназначен для решения сложных задач и для выработки общих навыков поиска новых технических решений. Ряд несложных задач может быть решен непосредственно использованием массивов информации. Отдельные операторы могут использоваться самостоятельно (например, операторы выбора направления решения и сравнения альтернатив). При использовании метода необходимо также руководствоваться четырьмя общими правилами, приведенными в приложении 1 перед текстом основной последовательности.

В приложении 1 указан состав операторов и массивов информации, а также приведен текст пяти операторов, используемых в «решательных» блоках метода. Содержание части операторов фактически изложено в книге [9]:
— суть операторов выявления и разрешения противоречий — в главе 3;
— содержание структурно-энергетического оператора соответствует главе 5.

О содержании блока операторов предметно-функционального анализа можно судить по характеристикам ТС, описанным в главе 2 книги [9], с элементами



тами этого блока можно также познакомиться по книгам [7, 8]. Примеры анализа системы на идеальность и некоторых других аспектов предметно-функционального анализа будут приведены в главе 3.

Оператор определения конечной цели решения предусматривает формирование цели на базе многоаспектного списка целей (с опорой на главные и общие цели). Подход, заложенный в оператор выбора направления решения, соответствует принципам ориентирующего поиска, изложенного в главе 6 книги [9]. (Постановка задачи кратко будет показана в главе 2 и подробно будет рассмотрена в одной из следующих книг серии). Оператор сравнения альтернатив предусматривает применение метода весовых коэффициентов. Пример его использования будет дан в главе 3.

С элементами массива типовых решений можно познакомиться по книге [9]:
— принципы идеальности описаны в главе 4;
— фрагмент массива типовых форм разрешения противоречий дан в приложении 3.

Массив физических явлений и эффектов комплексного метода включает 250 единиц информации с поисковой таблицей. Сокращенный вариант этого массива приведен в приложении 2 настоящей книги. В целом логика комплексного метода соответствует главе 6 книги [9].

* * *

Интересно сравнить комплексный метод с последними модификациями других методов направленного поиска. В обобщенном эвристическом методе [14], (который развивает идеи обобщенного эвристического алгоритма) выделяются два типа задач: устранение недостатков известных технических объектов и поиск принципиально нового объекта (по сути задача-противоречие и задача синтеза). Однако алгоритм поиска одинаков для обеих типов задач, причем структуризация операций невелика. Метод включает восемь массивов информации, из них три общетехнические (физико-технические эффекты (120 ед.), эвристические приемы (180 ед.), методы оценки и выбора вариантов), остальные должны создаваться для каждого вида технических систем. В этой же книге [14] описан формализованный метод синтеза физических принципов действия (поискового физического конструирования). Анализируя методы можно заключить, что направленность поиска при решении задач синтеза у обобщенного эвристического и комплексного методов примерно одинакова, а при решении задач-противоречий направленность поиска у комплексного метода гораздо выше.

Алгоритм решения изобретательских задач АРИЗ-85-В [5] отличается подробной регламентацией перехода от формулировки задачи к физическому противоречию, а также анализом и использованием ресурсов системы и ее окружения. В предписаниях метода, а также в массиве стандартных решений изобретательских задач (76 ед.) [13] приведены эвристики, отражающие закономерности развития состава и структуры технической системы. В методе отсутствует этап постановки задачи, хотя возможен переход к надсистеме и выше, если на уровне системы решения не получено. Вообще логика АРИЗ-85-В предусматривает остановку при получении одного (первого) решения, метод продолжает оставаться излишне жестким. Решение задач синтеза в АРИЗе не предусмотрено, отсутствует также анализ структуры противоречия технической системы.

По степени формализации операций комплексный метод на сегодня является рациональной серединой между обобщенным эвристическим методом (с его низкой направленностью) и АРИЗом (с его избыточной формализацией). Учитывая, что комплексный метод достаточно универсален, а состав поисковых процедур, составляющих метод, минимально необходим и достаточен для решения задач, он удобен не только для поиска решений с заданными условиями реализации, но и для обучения технологии направленного поиска. При большей по сравнению с АРИЗом «переборности» КМ, он, как это ни парадоксально звучит, более точен (корректен), так как степень его направленности более

соответствует уровню современных знаний о технических системах и процессе поиска новых технических решений. Ведь, как писал известный биолог А. А. Любищев в «Уроках истории науки», «точные науки называются точными не потому, что они достоверны, а потому, что в точных науках ученые знают меру неточности своих утверждений» [2].

* * *

В последующих главах будут показаны примеры решения задач с применением комплексного метода. Причем основное внимание будет уделено логике «решательных» блоков метода, для чего рассматриваемые технические системы выбраны по возможности простыми (чтобы читатель не тратил лишних усилий на проникновение в их техническую суть).



Глава 2

КОГДА ЕСТЬ ПРОТОТИП,

или о том,

Как и когда гнутся две пластинки,

Что лучше — вопрос «Зачем?» или «Почему?»,

При каких условиях надо ломать и крашить технические системы,

а также о многом другом, например,

О том, может ли техника угнаться за физикой,

О покушении на свободу творчества,

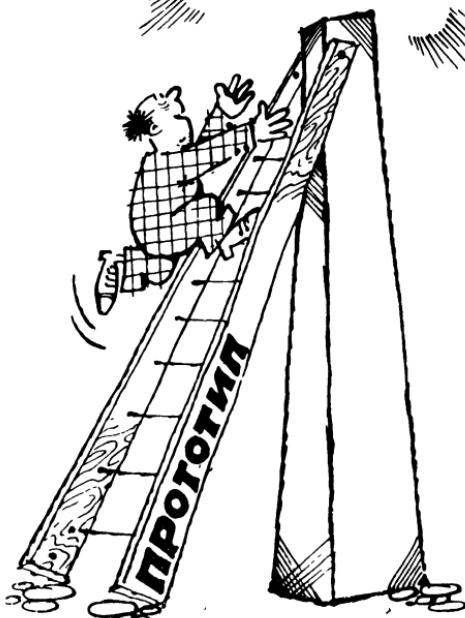
О замыкалке, психологической инерции

И о том, хорошо это или плохо — иметь

тот самый прототип, которому

и посвящена данная глава

ИДЕАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ



Условные сокращения:

ТС	— техническая система
НЭ	— нежелательный эффект
ТП	— техническое противоречие
ПЭ	— положительный эффект
УК	— узловой компонент
МР	— модель решения
ФУР	— физические условия реализации
ФП	— физическое противоречие
ТР	— техническое решение
ПР	— принципиальное решение
ФР	— физическое решение
ПС	— подсистема

На одном электротехническом заводе возникла проблема. В электрической машине, изготавляемой заводом, предусмотрены три средства защиты от перегрузки по току. Биметаллический размыкатель срабатывает через 100 с при перегрузке 50% и через 40 с при перегрузке 100%. При десятикратном токе (0,2 с) защиту обеспечивает электромагнитный размыкатель. Сточратный ток (0,02 с) прерывателя электродинамическим размыкателем. Биметаллический размыкатель завод изготавляет сам, два остальных средства защиты получает с других заводов.

Биметаллический размыкатель включает в себя биметаллическую пластину, замыкающую два электроконтакта. С одним из них пластина соединена жестко, с другим — через подвижный контакт, который рассоединяется при изгибе пластины вследствие нагрева током при перегрузке. Пластина состоит из двух металлических полос с разными коэффициентами теплового расширения, соединенными контактной сваркой. Весь размыкатель закрыт защитным кожухом, воздушный объем которого обеспечивает требуемый отвод тепла от пластины.

Испытания показали, что биметаллическая пластина при стократном токе перегревается и изгибается слишком сильно, из-за

чего разрушается сварное соединение между составляющими ее полосами. Стало ясно, что с биметаллическим размыкателем надо что-то срочно делать. Причем технологии настаивали, чтобы материал полос и способ их соединения (контактной сваркой) не изменялись. А конструктора машины потребовали не менять электрическую схему и не увеличивать габариты защитного кожуха размыкателя. Как быть?

* * *

Описав проблемную ситуацию, мы уже выполнили первую операцию (1.1) этапа «Постановка и уточнение задачи». Кратко пройдем по остальным операциям этого этапа.

- 1.2. Суть конфликта в том, что ТС есть, свою основную функцию выполняет, но выходит из строя при аварийном режиме, т. е. не обеспечивается надежность работы системы.
Конфликт связан с центральной подсистемой ТС (с ее основным функциональным элементом — биметаллической пластиной).
- 1.3. Выход из строя биметаллического размыкателя — это снижение надежности работы самой защиты и защищаемой машины в целом, а также увеличение расходов за замену (починку) размыкателя. Однако в данном случае заменить цель, вытекающую из проблемной ситуации, более общей целью нельзя. Следует лишь заменить название размыкателя на более общее, функциональное. Конечная цель решения: устранить выход из строя слаботочной защиты при действии стократного тока.
- 1.4. Исходя из требований срочности реализации решения и производства желательно в качестве слаботочной защиты оставить биметаллический размыкатель.
- 1.5. Конечная цель решения может быть достигнута следующими путями:
 - уменьшить время срабатывания электродинамического размыкателя до 0,012 с;
 - усовершенствовать биметаллический размыкатель;
 - заменить биметаллический размыкатель каким-либо другим типом слаботочной защиты.

В соответствии с 1.4 третье направление нежелательно (хотя для задачи на перспективу — самое подходящее). Из двух оставшихся направлений заводских технологов и конструкторов в наибольшей степени устроило бы первое. Но с точки зрения срочности внедрения предпочтительнее второе направление: нет уверенности, что резервы совершенствования у электродинамического размыкателя больше, чем у биметаллического, да и организовать корректировку покупного изделия труднее, чем своего. Выбираем второе направление.

1.6. Уточненные ограничения:

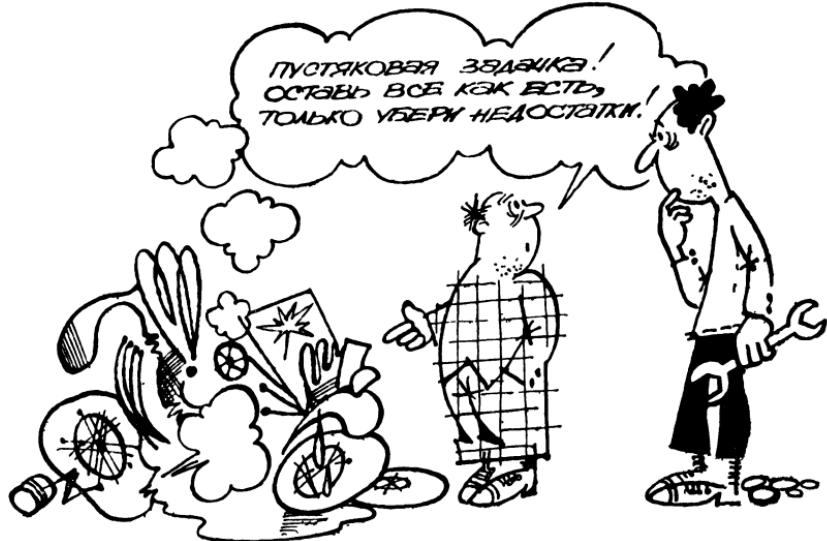
- нельзя изменять принцип действия размыкателя, материал полос биметаллической пластины и способ их соединения (контактной сваркой);
- нельзя изменять габариты кожуха размыкателя;
- нельзя изменять электрическую схему;
- решение должно быть максимально простым, обеспечивающим быструю реализацию,
- чувствительность размыкателя к $1,5 \div 2$ -кратному току должна сохраниться;
- допустимо увеличение стоимости изготовления размыкателя не более, чем на 30%.

1.7. Условия задачи:

Дана ТС, состоящая из биметаллической пластины, замыкающей электроконтакты. Пластина, в свою очередь, состоит из двух металлических полос с разными коэффициентами теплового расширения, соприкасающихся друг с другом по всей стороне наибольшей площади и соединенных контактной сваркой вдоль середины полос по всей длине. Через пластину проходит электрический ток, она нагревается и изгибается. Система хорошо работает при слабом токе и выходит из строя (лопается соединение полос) при прохождении сильного тока.

1.8. Обратимся к массиву типовых решений (см. [9], приложение 3). Наиболее подходящая группа — первая: «Устранение (предотвращение)... вредных последствий взаимодействия». Из приведенных в нем типовых решений первое явно не пригодится, а насчет остальных ясности нет. Необходимо углубиться в задачу, выполнить ее анализ.

Из-за недостаточной глубины анализа нет смысла обращаться и к поиску аналогичных задач.



Поскольку в условиях задачи (1.7) описана ТС, переходим к «Блоку преобразования технической системы». Операции этого блока рассмотрим подробнее.

Блок преобразования технической системы начинается этапом П2 «Анализ задачи». Цель этапа — перейти от формулировки задачи к оперативной модели решения и, затем, к физическим условиям реализации этой модели. При этом, в частности, может быть выявлено физическое противоречие (ФП).

П 2.1. Выявить природу нежелательного эффекта, данного в условиях задачи

Основной целью этой операции является определение типа имеющейся задачи. В соответствии с положениями логики поиска новых технических решений при заданной в условиях задачи ТС возможны три варианта нежелательного эффекта (НЭ):

- 1) НЭ является следствием отсутствия в ТС одной подсистемы;
- 2) НЭ является следствием отсутствия в ТС двух и более подсистем;
- 3) НЭ является следствием обострения технического противоречия (ТП) в ТС.

В соответствии с этим определяется тип имеющейся задачи и дальнейший путь решения. В случае проявления простой задачи синтеза (НЭ первого типа) необходимо перейти к операции П 2.2.

В случае появления сложной задачи синтеза (НЭ второго типа) необходимо перейти к блоку функционального синтеза ТС. При появлении задачи-противоречия (НЭ третьего типа) перед переходом к операции П2.2 осуществляется операция выявления ТП.

Поскольку ТП присущи только работоспособным ТС, то основным критерием, позволяющим отличать задачу синтеза от задачи-противоречия является функциональная полнота рассматриваемой ТС (определенная с помощью одного из операторов предметно-функционального анализа ТС, 01.3).

Строго говоря, критерием работоспособности ТС является не только обеспечение функциональной полноты, но и обеспечение энергетической полноты, преодоление параметрического порога и наличие минимально необходимой степени динамичности и управляемости, т. е. выполнение всех четырех закономерностей построения ТС. Однако, поскольку невыполнение любой закономерности приводит в конечном итоге к невозможности обеспечения какой-либо элементарной функции ТС, анализ на функциональную полноту может быть вполне достаточным, если при этом анализе (с помощью соответствующего оператора) обращать внимание в основном на фактическое выполнение функций ТС.

Кроме того, на данной операции для выявления ТП (разумеется при необходимости) рекомендуется использовать оператор выявления противоречия в ТС (04).

В нашем примере обеспечение функциональной полноты в ТС довольно очевидно: ГПФ этой системы является предохранение

электрической машины от перегрузок (при превышении током номинального значения) и она успешно выполняется. Поэтому перейдем сразу к выявлению ТП: построим причинно-следственную цепочку, начиная с нежелательного эффекта и выявляя причины его появления.

НЭ: выход из строя биметаллической пластины

разрушение соединения полос

большие напряжения в месте соединения

большая разница в удлинениях полос

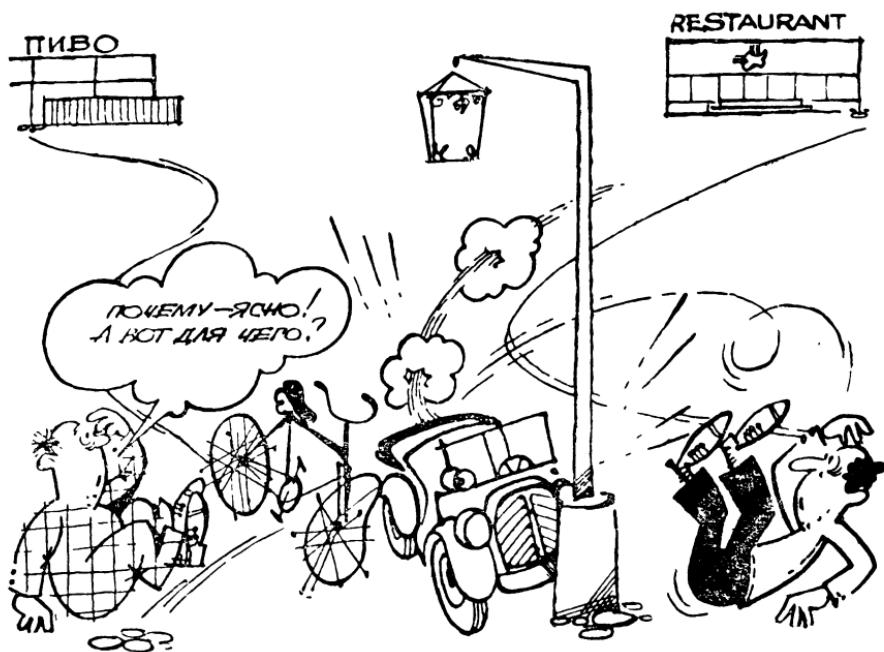
большое удлинение полос

сильный нагрев

выделение большого количества тепла

прохождение сильного тока через пластину.

Каждое из звеньев цепочки (начиная со второго и включая последнее) получено как ответ на вопрос «Почему?», адресованный к предыдущему звену. Между тем для выявления ТП последнее звено должно отвечать на вопросы «Для чего? Зачем?», отражая положительный эффект. Такого звена у нас не получилось. Прохождение сильного тока через биметаллическую пластину обеспечивает существование какого-то ПЭ, но какого — не ясно. В данном случае, чтобы его выявить, надо выйти за рамки рассматриваемой системы в надсистему. Следовательно, противоречие, скорее всего, имеет сложную структуру. Поэтому надо поискать другие положительные эффекты, в первую очередь связанные с данной ТС.



Чтобы найти нужную сторону системы, подвергнем нежелательный эффект инверсии. При каком количественном изменении в ТС пластина останется целой при действии сильного тока? Ясно, что сохранить пластину возможно, если сделать полосы более массивными и, соответственно, менее нагревающимися или выполнить полосы из материалов, имеющих малую разницу в коэффициентах теплового расширения. Другими словами, если понизить чувствительность пластины к действию тока. Но в этом случае получаем новый НЭ: пластина не будет срабатывать при слабом токе, не будет защищать оборудование от небольших перегрузок. Теперь ясно, что еще одна веточка причинно-следственной цепочки выглядит так:

выделение большого количества тепла
высокая чувствительность пластины к току
обеспечение защиты от небольших перегрузок по току.

Полная структура ТП имеет вид, показанный на рис. 2.

Следует отметить, что в приведенной структуре не конкретизированы ПЭ₂ и ПЭ₃, поскольку они связаны с надсистемой, а на изменение надсистемы наложен запрет. В общем случае рекомендуется продлить причинно-следственные цепочки в надсистему и окружение системы, уточняя и углубляя свое представление о конфликте и его причинах. И если при этом выявляются факторы, ставящие под сомнение правильность выбора направления на операции 1.5, надо еще раз рассмотреть возможные пути к решению в надсистеме и уточнить свой выбор (хотя бы на операции П 2.3). Более того, при достаточном навыке анализа системы построение подобной структуры можно выполнять на операции 1.2, а отрицание звеньев этой структуры — на 1.5.

Узловой компонент (УК) — пластина; параметр УК — степень чувствительности к току.

Формулировки ТП:

- ТП₁ «Защита оборудования от небольших перегрузок по току за счет применения чувствительной к току биметаллической пластины приводит к порче последней при сильном токе»;
- ТП₂ «Предохранение биметаллической пластины от порчи при сильном токе за счет уменьшения чувствительности ее к току не обеспечивает защиты оборудования от небольших перегрузок».

П 2.2. Построить модель задачи

Данная операция предполагает упрощение исходной ТС за счет освобождения от лишней, не связанной с НЭ информации. В общем случае на этой операции возможны три типовых модели задачи (см. оператор построения модели задачи, 08 в приложении 1):

- а) «Дано (указать изделие подсистемы). Необходимо построить подсистему, выполняющую функцию (указать.)»
- б) «Даны (указать элементы подсистемы). Необходимо достроить подсистему, выполняющую функцию (указать.)»
- в) «Даны (указать элементы, связанные с противоречием). Необходимо разрешить ТП (указать.)».

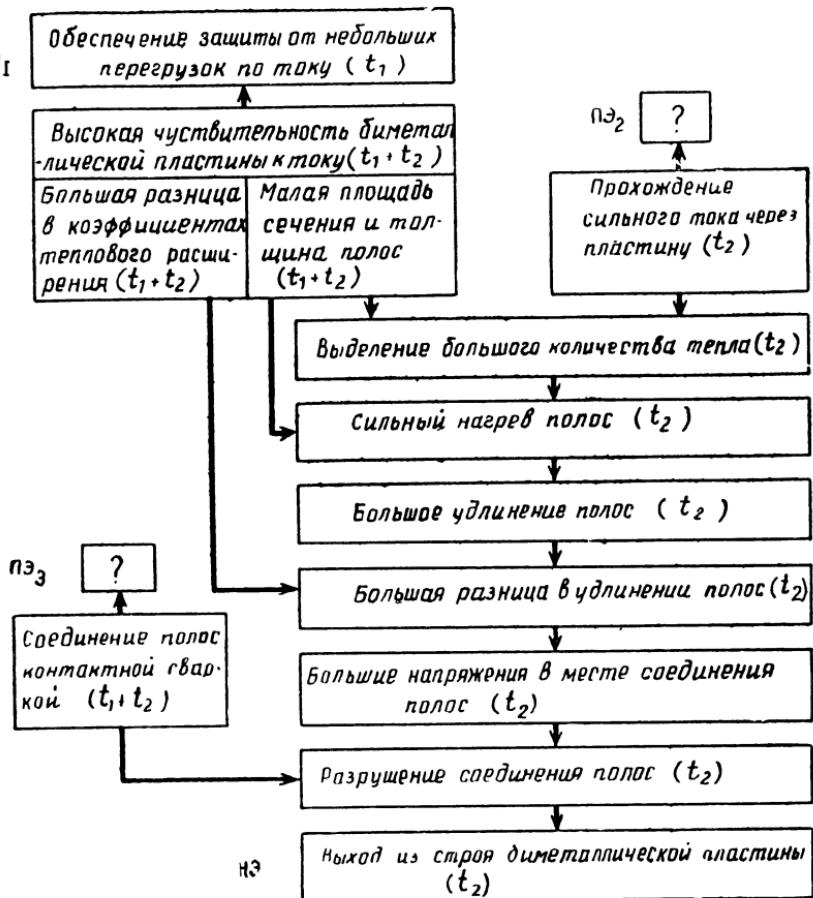


Рис. 2. Структура технического противоречия ТС биметаллическая пластина (ТП₁)

t_1 — время прохождения слабого тока
 t_2 — время прохождения сильного тока

Первые две модели соответствуют задаче синтеза, третья — задаче-противоречию.

Не следует считать, что суть операции П 2.2 заключается лишь в «механическом» освобождении от лишней информации. Здесь имеется возможность не только выбора одной из двух моделей при задаче синтеза, но и смена типа решаемой задачи (переход от задачи — противоречия к задаче синтеза), т. е. переход от модели «в» к модели «а».

Такой переход фактически эквивалентен разрушению имеющейся ТС.

К сожалению на сегодняшний день отсутствуют формальные критерии, однозначно определяющие целесообразность этого перехода. Поэтому надо руководствоваться следующим эвристическим правилом. Идти на разрушение системы следует лишь в том случае, когда история ТС и данные прогнозирования убедительно подсказывают, что принцип действия системы исчерпал себя. Например, НЭ в системе связан с трудностями уплотнения вала, передающего



вращение сквозь стенку из зоны низкого давления в зону высокого давления. При определенном перепаде давления явно более предпочтительно использовать привод, работающий непосредственно в зоне высокого давления. Если исходная ТС приближается к этому «порогу», ее лучше сломать.

В том случае, когда известно, что попытки разрешения ТП, аналогичных выявленному для данной задачи по операции П2.1, как правило, заканчивались неудачей (т. е. когда заранее известно, что ТП — «крепкое», «гиблое»), тоже можно перейти от модели «в» к модели «а».

Вообще говоря, переход к разрушению ТС должен происходить на этапе постановки задачи (см. операцию 1.2 в приложении 1). Однако при постановке задачи слишком быстро и оптимистично, без должной проверки обходных путей, может быть выбрана прямая задача. Кроме того, пока не выявлено ТП, необходимость такого перехода может быть неочевидной. Для таких случаев и служит «развилка» на П2.2.

Во всех остальных случаях, когда целесообразность перехода к разрушению ТС неочевидна, следует оставить модель «в» или «б». Всегда лучше максимально использовать анализ существующего состояния системы. Если дальнейший ход решения подскажет, что лучше было бы сломать ТС, можно вернуться к П2.2 и сменить модель задачи.

Отдельного разговора заслуживает еще одна «развилка», соответствующая модели «в», т. е. задаче — противоречию. Как следует из логической структуры ТП, возможны два состояния ТС: «улучшение А приводит к ухудшению Б» или «улучшение Б приводит к ухудшению А». Выбор состояния ТС — очень важный момент. Он определяет сложность задачи, определяет то, с чем придется бороться: с ухудшением Б или с ухудшением А. Для облегчения выбора есть такая эвристическая рекомендация: чаще всего целесообразно выбирать такое состояние ТС, при котором в наибольшей степени обеспечивается выполнение ГПФ и достижение наибольшей эффективности (наибольшей производительности, экономичности, наивысших пределов использования материалов, энергии и т. д.).

Из двух состояний ТС — работоспособного и неработоспособного — в модели «в» надо выбирать работоспособное состояние. А выбор состояния, соответствующего наибольшей производительности, как правило, приводит к успеху, если изменение параметра УК затрагивает полезный процесс, ускорение которого безусловно предпочтительно.

Можно дать еще две рекомендации. Если обострение ТП связано с тем, что введение большого количества каких-либо добавок в ТС для получения дополнительной способности ухудшает основные способности, следует принять состояние с минимальным количеством добавок, обеспечивая нужные способности за счет лучшего их использования. Это больше соответствует принципам идеальности. Кроме того, при прочих равных условиях надо учитывать и субъективные факторы. Например, если физику приходится выбирать между двумя состояниями: «улучшение физических свойств ухудшает химические» и «ухудшение физических свойств улучшает химические», — то ему можно рекомендовать выбрать второе состояние системы. С устранением ухудшения физических свойств он явно справится лучше.

Вернемся теперь к нашему примеру с биметаллической пластиной. Поскольку на замену принципа действия системы наложен запрет, выбираем модель «в». Причем состояние системы должно соответствовать лучшему выполнению ее ГПФ: пластина чувствительности к небольшому току. Получаем такую формулировку модели задачи:

«Даны чувствительная биметаллическая пластина и проходящий по ней ток. Необходимо разрешить противоречие: чувствительная пластина защищает оборудование от небольших перегрузок, но портится от сильного тока». (Электроконтакты в модель задачи не включены, так как они с противоречием не связаны.)

П 2.3. Определить направление разрешения противоречия

Данная операция (П 2.3) выполняется только в случае выбора на операции П 2.2 модели «в». В остальных случаях осуществляется переход сразу к П 2.4. Для определения направления разрешения ТП в комплексном методе предусмотрено применение оператора отрицания (05.1), суть которого изложена в [9] (глава 3, рис. 7, табл. 1). Каждое из возможных направлений получается путем объединения исходной формулировки звена причинно-следственной цепочки с инверсной формулировкой ближайшего звена вниз по цепочке (ближе к НЭ). Поэтому, чем подробнее составлена причинно-следственная цепочка, тем большее количество путей разрешения ТП можно получить и тем выше вероятность не пропустить оптимальное решение.

Будем намечать направления, опираясь на структуру ТП, соответствующую модели задачи и приведенную на рис. 2. Поскольку высокая чувствительность пластины к току и прохождение сильного тока через пластину заложены в модель задачи, подвергать эти звенья цепочки отрицанию не имеет смысла. Для остальных звеньев получаем следующие направления:

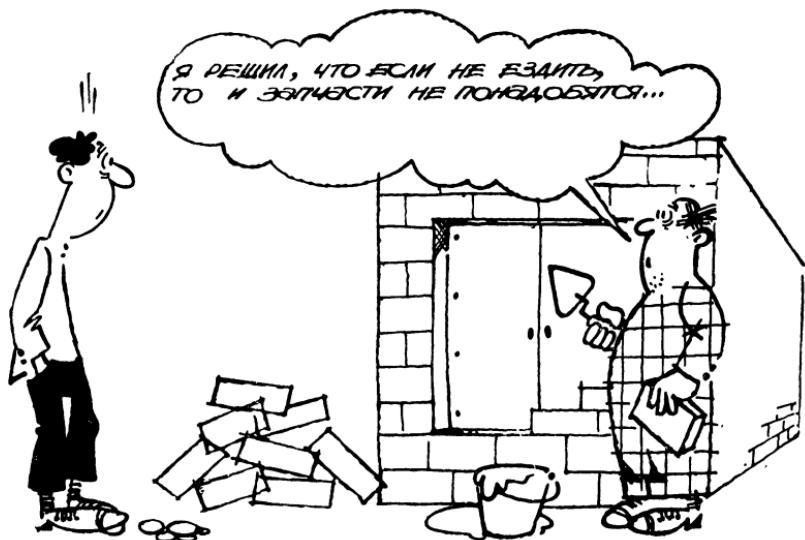
- 1) выделение малого количества тепла при прохождении сильного тока через пластину;
- 2) слабый нагрев полос при выделении большого количества тепла;
- 3) малое удлинение полос при их сильном нагреве;
- 4) малая разница в удлинении полос при большом их удлинении;

- 5) малые напряжения в месте соединения полос при большой разнице в их удлинении;
- 6) соединение полос не разрушается при больших напряжениях в нем;
- 7) биметаллическая пластина не выходит из строя при разрушении соединения полос.

Следует отметить, что четких правил, позволяющих на этой операции выбрать направление, ведущее к оптимальному решению, нет. В общем случае, если ограничения (запреты) не обеспечивают сужение поля поиска до одного направления, надо рассмотреть каждое из всех разрешенных ограничениями направлений. Однако для повышения направленности в этом случае можно использовать следующие эвристические принципы **предпочтительности**:

- 1) если по формулировке направления можно оценить последствия его реализации (хотя бы приближенно), то следует выбирать то направление, которое больше соответствует критерию оптимальности;
- 2) если по критерию оптимальности оценить направления не удается, надо выбирать то из них, последствия реализации которого менее нежелательны;
- 3) если последствия реализации направлений оценить нельзя, то лучше выбирать первое сверху направление из числа разрешенных ограничениями, руководствуясь принципом: «Лучше лечить истоки болезни, чем ее последствия».

Поскольку при постановке задачи было выдвинуто требование максимальной простоты и быстроты реализации решения, целесообразно выбрать такое направление, при котором риск нарушить ограничения (см. операцию 1.6) будет минимальным. Реализация направлений 1 и 2 может потребовать, скорее всего, либо изменения материала полос (что запрещено ограничениями), либо введения в систему дополнительных элементов (что может привести к нарушению запрета на увеличение габаритов кожуха размыкателя). Направления 3 и 4 также «тянут» на изменение свойств материала, на микроуровень. Направления 6 и 7 требуют измене-



ния конструкции пластины и отказа от сварного соединения полос (что противоречит ограничениям). Хотя все эти направления могут дать интересные решения (а направления 3 и 4, вероятнее всего, соответствуют прогрессу в развитии данной ТС), по критерию «минимум риска» выбираем направление 5: «малые напряжения в месте соединения полос при большой разнице в их удлинении».

П 2.4. Построить оперативную модель решения

Оперативная модель решения (МР) по своему смыслу с одной стороны является прообразом будущего решения задачи, а с другой она — предел уточнения задачи, т. е. ее окончательная формулировка. Поэтому, как и всякая задача, формулировка МР содержит цель и ограничения, а как прообраз решения — должна содержать и указание на средство (см. [9], глава 6 рис. 12). Последовательность построения модели решения показана в соответствующем операторе 09 (приложение 1).

Вначале формулируется цель МР. Для нашего примера она соответствует направлению разрешения ТП, определенному на П 2.3. Затем анализируются области пространства, в которых может реализоваться цель. Для задачи на построение или достройку подсистемы выделяется **функциональная зона**. Для случая разрешения ТП выделяется **конфликтная зона** (зона НЭ) и зона ПЭ. У биметаллической пластины обе эти зоны совпадают: область соединения полос между собой. Эта область является и рабочей зоной, где будет осуществляться цель МР. (Правильный анализ областей пространства зачастую обеспечивает разрешение противоречия в пространстве уже на данной операции П 2.4.) Из числа элементов системы в рабочую зону входят прилегающие к соединению части полос, составляющих биметаллическую пластину. Эту часть пластины принимают в качестве элемента модели решения.

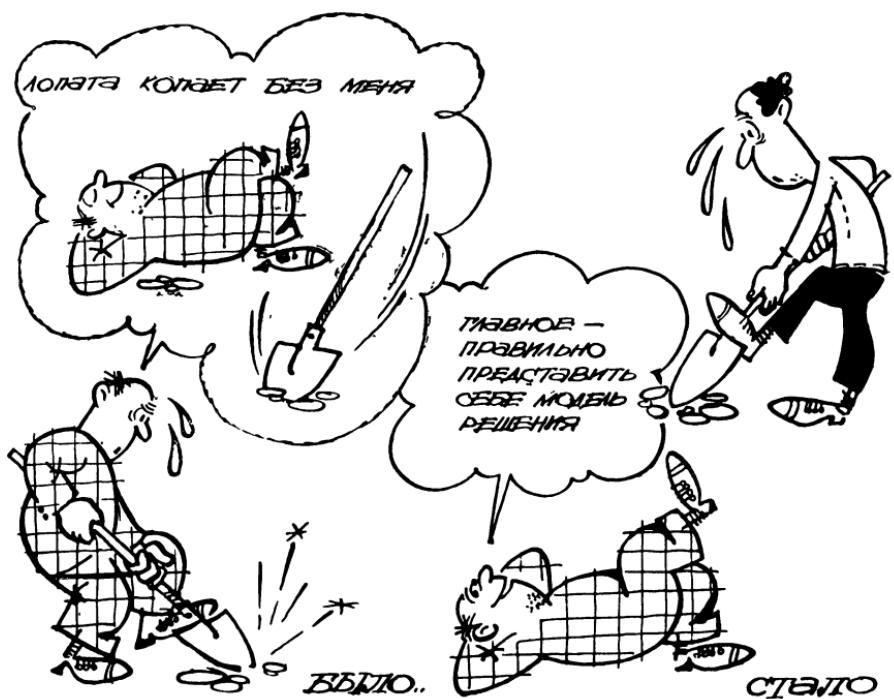
Необходимо отметить, что в общем случае в рабочую зону может входить несколько разных элементов системы, а также часть окружения ТС и внешней среды. В этом случае, если какой-либо элемент (часть элемента, взаимодействие элементов) как необходимое средство достижения цели не оговорен ограничениями, выбор элемента МР довольно затруднителен. Здесь можно использовать такой эвристический подход: выделить среди элементов рабочей зоны наиболее легкоизменяемый (который в наибольшей степени поддается изменению, переделке или замене и изменяемость которого не ограничена ограничениями). К таким элементам вероятнее (но только вероятнее!) можно отнести инструменты, чем изделия, искусственные элементы, чем природные, неподвижные, чем подвижные.

Если выбор элемента затруднен, то в качестве элемента модели решения следует принять всю рабочую зону. Ее можно рассматривать как некоторый элемент «ИКС», которому разрешено придать любые нужные свойства. Последующий анализ позволит конкретизировать средство МР. А если выбранный элемент окажется неудачным, всегда можно вернуться и сменить его.

После того, как выбрано средство, можно уточнить ограничения, то есть условия, выполнение которых обязательно должен обеспечить выбранный элемент. Они зависят от ряда факторов: типа задачи (противоречие или синтез); совпадения или не совпаде-

ния элемента с узловым компонентом, сохранения или исключения УК из системы; от выбора в качестве средства МР рабочей зоны или элемента внешней среды (подробно это показано в таблице п. 9.5 оператора 09, в приложении 1). Такое многообразие вариантов свидетельствует еще об одной «развилке» в ходе поиска, на которую необходимо обратить внимание. Особенно — на исключение из системы узлового компонента. Это серьезная трансформация системы и задачи, аналогичная переходу от модели задачи «в» к модели задачи «б» или «а». Такой переход рекомендуется делать осторожно, если полезность исключения УК из ТС очевидна. В случае сомнения надо проверить оба варианта: с исключением и с сохранением узлового компонента.

В нашем примере элемент МР является частью УК, поэтому уточненное ограничение, естественно имеет вид требования сохранить положительный эффект, т. е. защиту от небольших перегрузок по току (или, что вернее для данной модели решения, высокую чувствительность пластины к току). Остальные ограничения оговариваются общей фразой «не нарушая ограничений и не вызывая других ухудшений». Кроме того, для обеспечения идеальности решения в оперативной модели решения указывается, что цель МР должна достигаться «сама — собой». В результате получаем следующую формулировку оперативной модели решения: «Части полос, примыкающих к соединению, сами обеспечивают малые напряже-



ния в месте соединения полос при большой разнице в их удлинении, сохраняя высокую чувствительность пластины к слабому току, не нарушая ограничений и не вызывая других ухудшений».

П 2.5. Отобразить модель решения графически

На этой операции для наглядности делают условный рисунок, схему или график, на которых показывают два состояния системы: исходное («Было») и соответствующее модели решения («Стало»). Для рассматриваемого примера соответствующие иллюстрации состояния ТС показаны на рис. 3.

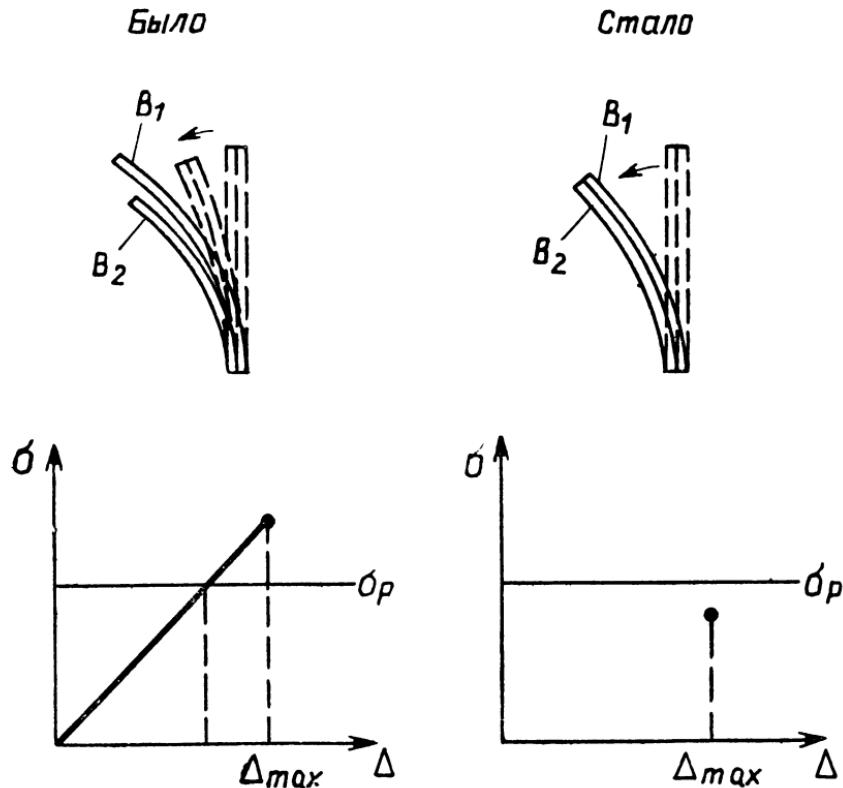


Рис. 3. Иллюстрации к операции П 2.5

B₁, B₂ — вещества полос

Δ — разница в удлинениях полос

σ — напряжение в соединении полос

σ_p — напряжение разрушения

П 2.6. Определить физические условия реализации модели решения

После построения оперативной модели решения необходимо сделать еще шаг по конкретизации задачи и, соответственно, нашего представления о решении: сформулировать физические условия реализации (ФУР) МР. Нужно определить, какими физическими

свойствами должен обладать элемент модели решения (или вся рабочая зона) или какие действия (взаимодействия) он должен осуществлять, чтобы выполнялись цель и ограничения, заложенные в МР. Выявление этих требований, очевидных, исходящих из имеющихся представлений о исходной системе, позволяет сделать модель решения еще более надежным мостиком к решению. При этом необходимо в обязательном порядке углубляться в суть процессов, составляющих внутреннее функционирование системы.

Сначала выявляются ФУР, соответствующие цели МР и условиям ее выполнения, конкретно оговоренным в формулировке модели решения. ФУР, соответствующие требованию МР: «не нарушая ограничения и на вызывая других ухудшений», определяются в том случае, когда уже выявленные свойства или взаимодействия полностью совместимы между собой.

Проверка условий реализации модели решения на совместимость, на непротиворечивость тоже выполняется на этом шаге алгоритма. Цель ее — не пропустить противоречие, которое обязательно должно быть разрешено.

Выявленные несовместимые условия реализации используются на следующей операции для составления формулировки физического противоречия (ФП). Стого говоря, ФП обязательно должно быть получено, если в модель решения заложены требования устранения ТП и элемент МР совпадает с узловым компонентом (или является частью УК), а также если в процессе выделения рабочей зоны не произошло разрешения противоречия в пространстве. Во всех остальных случаях проверку на непротиворечивость надо проводить, дополнительно рассматривая систему и ее окружение, выходя при этом за рамки модели решения (см. [9], рис. 12). Следует также отметить, что анализ ТС применительно к каждой составляющей модели решения (цель МР, условия ее выполнения, ограничения) должен производиться независимо, не глядя на другие составляющие и результаты уже выполненного анализа.

В тех случаях, когда в качестве элемента МР принята вся рабочая зона, на данной операции (П2.6), после составления перечня требуемых свойств или действий всей зоны, целесообразно соотнести их со свойствами и действиями элементов, входящих в рабочую зону, подобрать наиболее подходящий элемент, принять его в качестве элемента МР и, затем, откорректировать применительно к нему перечень физических условий реализации модели решения.

Определяя ФУР, необходимо помнить, что намечаемые свойства или действия должны полностью, гарантированно (на 101%) обеспечивать выполнение требований модели решения (это можно назвать «правилом 101%»).

Итак, свойства, необходимые для обеспечения малых напряжений в зоне соединения полос:

- части полос (ΔB_1 и ΔB_2) не должны взаимодействовать друг с другом;
- часть одной полосы (ΔB_1) не должна «тянуть» за собой часть другой полосы (ΔB_2), а последняя не должна препятствовать перемещению;
- точки одной полосы (ΔB_1) не должны смещаться относительно точек другой полосы (ΔB_2).

Свойства, необходимые для обеспечения большой разницы в удлинениях полос:

- величина перемещения точек одной полосы (ΔB_1) должна быть значительно больше перемещения точек другой полосы (ΔB_2). Для сохранения высокой чувствительности пластины к току:
- части ΔB_1 и ΔB_2 должны взаимодействовать;
- часть ΔB_1 должна «тянуть» за собой часть ΔB_2 , которая должна препятствовать перемещению;
- точки полосы ΔB_1 должны смещаться относительно точек полосы ΔB_2 .

Налицо несовместимость выявленных свойств. При этом необходимо перейти к следующей операции. В противном случае осуществляется переход сразу к П 3.2.

П 2.7. Составить формулировки ФП и выполнить их предварительный анализ

На данной операции мы должны составить предельную формулировку задача — противоречия: физическое противоречие. В нашем случае получается несколько таких формулировок.

ΦP_1 : части полос должны взаимодействовать друг с другом для обеспечения способности изгибаться при слабом токе и не должны взаимодействовать друг с другом для обеспечения малых напряжений;

ΦP_2 : часть одной полосы ΔB_1 должна «тянуть» за собой часть другой полосы ΔB_2 (которая должна препятствовать перемещению) для обеспечения способности изгибаться и части ΔB_1 и ΔB_2 не должны этого делать, чтобы обеспечить малые напряжения;

ΦP_3 : точки полосы ΔB_1 должны смещаться относительно соответствующих точек полосы ΔB_2 для обеспечения изгиба и не должны смещаться, чтобы обеспечить малые напряжения;

ΦP_4 : перемещение точек полосы ΔB_1 должно быть значительно больше перемещения точек полосы ΔB_2 для обеспечения большой разницы в удлинениях и точки полосы ΔB_1 не должны смещаться относительно соответствующих точек полосы ΔB_2 , чтобы обеспечить малые напряжения.

Поскольку все формулировки ФП соответствуют исходному ТП, можно переходить к следующей операции. Если же полученным ФП не соответствует известное ТП, в обострении которого мы уже уверены, необходимо выполнить анализ полученных противоречий и выделить среди них обостренные или обостряющиеся противоречия, т. е. те, которые обязательно должны быть разрешены. Анализ противоречий рекомендуется проводить, объединив их предварительно в единую причинно-следственную структуру.

* * *

Операция П 2.7 — последняя операция этапа «Анализ задачи». Следующий этап — П 3 «Синтез решения». На выходе этапа должно быть получено техническое решение (ТР). А вход, определяемый этапом анализа задачи, может иметь разный вид:

- с операции П 2.6 — в виде совместимых физических условий реализации модели решения;
- с операции П 2.7 — в виде формулировок ФП.

Первый вариант соответствует задачам синтеза, разным по сложности: от небольшого изменения элементов системы или дополнения каким-либо новым средством, реализующим выполнение ФУР, до полного синтеза подсистемы. Второй вариант входа (ФП) представляет собой задачу-противоречие. Решив эту задачу, мы получаем **принципиальное решение** (ПР), которое фактически сводит дальнейший ход синтеза решения также к решению задачи синтеза разной сложности.

В целом процесс синтеза ТР (как и всякий синтез) более «эвристичен», менее строг и формализован, нежели процесс анализа задачи. На этапе синтеза решения обязательно должна привлекаться дополнительная информация, обязательно нужны специальные «подсказки».

П 3.1. Разрешить противоречия и сформулировать принципиальное решение

Цель этой операции (выполняемой при получении ФП на этапе анализа задачи) — найти такой новый принцип организации системы, свойств и взаимодействий входящих в систему элементов, который позволит совместить несовместимые требования, составляющие ФП. При этом не надо пока думать, осуществимы ли практические желательные условия. Надо формулировать необходимые свойства и взаимодействия, не беспокоясь о том, как они будут достигнуты. Главное — чтобы эти условия обеспечивали разрешение ФП.



Разрешение противоречия всегда носит скачкообразный характер. Поэтому на этой операции обязательно используются известные принципы разрешения ФП ([9], глава 3), информация о типовых решениях ([9], приложение 3), а также терминологические преобразования (оператор 012, приложение 1).

Применяя различные преобразования исходной ТС: от изменения в пространстве и во времени до построения специальной подсистемы, принципиальное решение удается найти почти всегда. Однако, в ряде случаев, найденное ПР настолько явно приводит к нарушению ограничений или настолько далеко уводит от идеальности, заложенной в модель решения («элемент сам...»), что считать такое решение приемлемым ни в коем случае нельзя. Кроме того, в некоторых случаях найти принцип разрешения ФП просто не удается. В этих случаях необходимо вернуться к предыдущим операциям (П 2.6, П 2.4, П 2.3, П 2.2), на которых возможны «развилки» и сменить направление к решению (см. приложение 1).

Обратимся теперь к формулировкам ФП, полученным на П 2.7. Все четыре ФП не разрешаются в пространстве, зато разделяются во времени: когда пластина работает в нормальных условиях, при слабом токе, должны выполняться одни требования, а при сильном токе и, соответственно, большой разнице в удлинениях должны выполняться другие, противоположные требования. (Возможность разрешения противоречия во времени видна уже из структуры ТП, представленной на рис. 2). Кроме того, из формулировки ФП₄ видна возможность разрешения в разных отношениях: большой должна быть разница в перемещении точек полос вообще, а малой должна быть разница (не должно быть разницы) в перемещении соответствующих точек.

В результате можно наметить следующие принципиальные решения:

ПР₁: при большой разнице в удлинениях (при большом изгибе, большом токе) полосы (части полос) перестают взаимодействовать друг с другом или степень их взаимодействия сильно уменьшается;

ПР₂: при большой разнице в перемещениях точки полос устанавливаются в положение, соответствующее малому напряжению.

Если полученное ПР не достаточно ясно, рекомендуется повторить анализ, начиная с П 2.4, приняв ПР в качестве модели решения и еще более углубляясь в систему вплоть до микроуровня. Например, для ПР₂: точки полос у соединения сами после больших и разных перемещений устанавливаются в положение малого напряжения. Схемы «Было» и «Стало» для этой модели решения показаны на рис. 4. Из сравнения этих схем получается уточненная формулировка ПР₂: создается предварительная деформация (предварительное напряженное состояние) таким образом, чтобы напряжение в соединении полос не превышало разрушающей величины.

Подобное уточнение для ПР₁ дает два возможных направления:
ПР'₁: при большой разнице в удлинениях (большом изгибе, токе, большой температуре) полосы расцепляются, а при возвращении нормальных условий склеиваются вновь;
ПР"₁ при тех же экстремальных условиях вещество полос в зоне сцепления становится более «ползучим» («текучим»), восстанавливая свои свойства и форму при нормальных условиях.

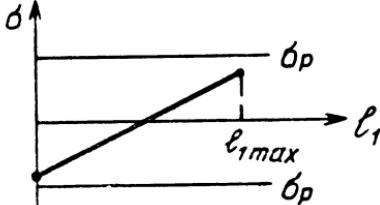
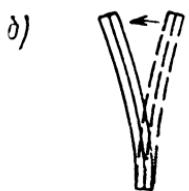
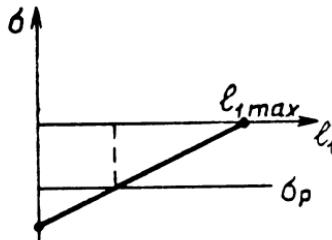
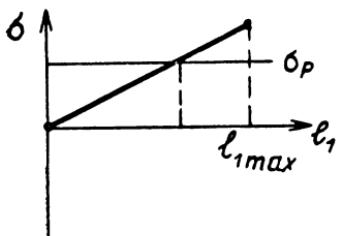
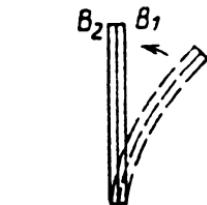
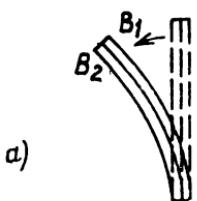
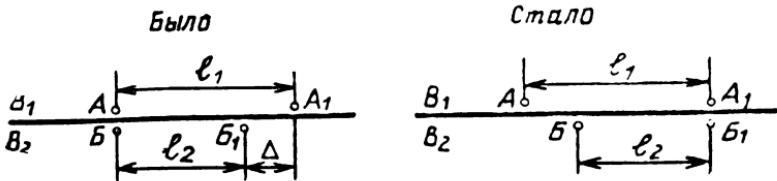


Рис. 4. Повторный анализ ПР₂

а — ситуации «Было» и «Стало»

б — уточнение ПР₂

А, Б — точки полос В₁ и В₂ до перемещения

А₁, Б₁ — то же после перемещения

l₁, l₂ — перемещение точек А и Б

Δ — разница в удлинениях полос

σ — напряжение в соединении полос

σ_p — напряжение разрушения

Если применить терминологический оператор (012, приложение 1), то получаются такие формулировки:

- 1) ненапрягающий изгиб;
- 2) изгиб без взаимодействия;
- 3) ненапрягающее смещение;
- 4) изгиб без смещения;
- 5) разный ход к одному финишу.

Из них пятая формулировка явно соответствует ПР₂. А из второй формулировки можно получить ПР₃: изгиб пластины без взаимодействия полос.

Выполненный анализ системы позволяет применить массив типовых решений более успешно, чем на операции 1.8. Из первой группы типовых решений (см. [9], приложение 3) очевидные подсказки дают решение 1.4 (использовать предварительные антиизменения — совпадает с ПР₂) и 1.5 («одноразовые» пластины — ПР₄).

П 3.2. Сформулировать физическое решение, реализующее модель решения

Цель этой операции — перейти от функции или решения на уровне «принципиально возможно» к решению на уровне «физически реализуемо, разрешено законами природы».

Операция синтеза **физического решения** (ФР) сложна и многоступенчата. В первую очередь формулируются структурные (сначала) и физические (потом) задачи, которые надо решить, чтобы реализовать условия выполнения МР. При этом намечаются в первом приближении воздействия на элемент МР и на его окружение. Затем намечаются возможные структурные решения, по ним уточняются физические задачи, после чего можно переходить к выбору физических средств, позволяющих реализовать намеченные изменения. И только после нахождения подходящего природного явления или эффекта и уточнения в соответствии с ним новой структуры ТС формулируется физическое решение.

Сущность операции синтеза ФР заключается в решении задачи **синтеза**. Причем, если выявляется необходимость синтеза отдельной подсистемы или ее части, нужно перейти к специальной операции П 3.3. А на данной операции (П 3.2) решается задача замены или видоизменения части системы с помощью структурно-энергетического оператора (06) и массива физических явлений и эффектов. В ряде простых случаев физическая суть решения может быть найдена и без применения специальных инструментов.

Операция синтеза ФР, в отличие от предыдущей операции П 3.1, оперирует не идеальными, а вполне реальными средствами. На данной операции в систему приходится что-то добавлять, чем-то воздействовать на элементы. А это неизбежно приводит к отступлению от намеченного ранее идеала. Поэтому в обязательном порядке прежде, чем вводить в ТС что-то новое, надо проверить возможность использования ресурсов, имеющихся в системе и ее окружении, изменив их в допустимых пределах.

Потенциал природных эффектов и явлений велик, но не беспределен. Поэтому иногда подобрать подходящую физику под намеченные принципиальные решения не удается. В этих случаях делается возврат к «развилкам» на П 2.3 и П 2.2 и выбирается другое направление (см. приложение 1).

Вернемся к нашей проблеме и наметим подзадачи, которые должны быть решены для реализации намеченных ПР.

Для ПР_{1'} — изменить физический принцип сцепления полос.

Для ПР_{1''} — изменить вещество полос в зоне сцепления.

Для ПР₂ — в момент соединения полос контактной сваркой создать требуемое удлинение полос.

Для ПР₃ — найти новый принцип действия размыкателя.

Для ПР₄ — изменить окружение биметаллической пластины для ее быстрой замены и материал пластины для снижения затрат.

Если сравнить эти подзадачи с конечной целью (1.3) и ограничениями (1.6), то допустимой останется только одна — соответствующая ПР₂.

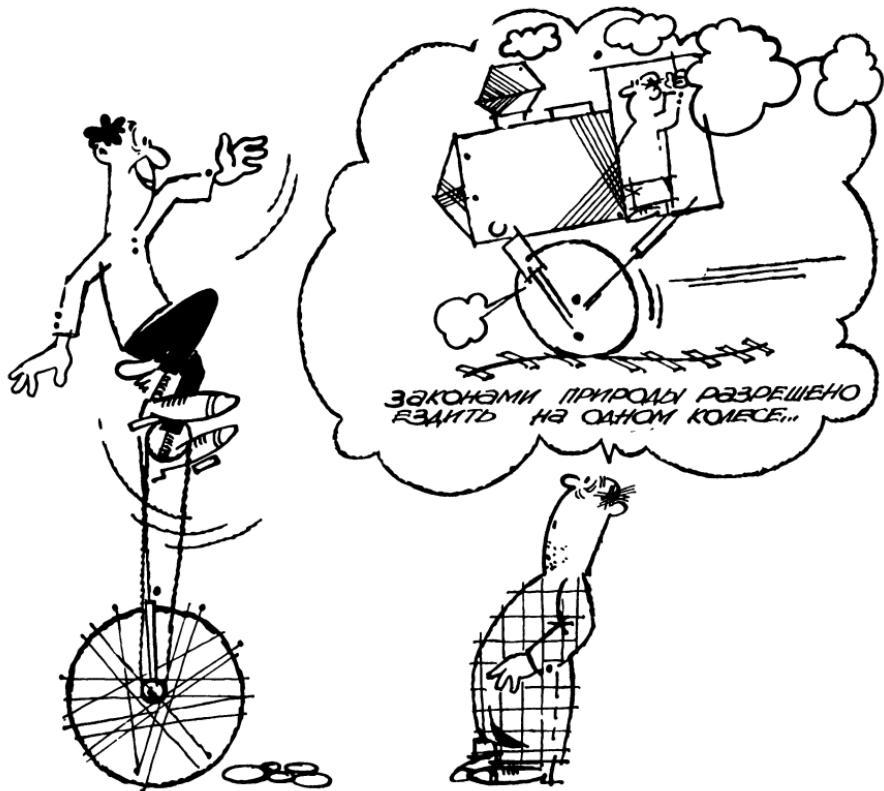
Чтобы создать требуемое удлинение полос, проще всего нагреть обе полосы подводом тепла или воздействием электрического тока. Можно использовать источник тока, применяемый для сварки. Поскольку в момент сварки полосы должны иметь одинаковую длину, исходная длина полосы, имеющей больший коэффициент теплового расширения, должна быть меньше, чем у другой полосы.

Полученное физическое решение позволяет перейти к операции П 3.4.

Однако прежде охарактеризуем операцию П 3.3. Суть ее — дстройка или синтез подсистемы по заданной функции. Применяемый аппарат — оператор функционального синтеза ПС (07) и массив физических явлений и эффектов (М2).

П 3.4. Сформулировать техническое решение

На этой операции необходимо от состояния «физически выполнимо, разрешено законами природы» перейти к состоянию «технически осуществимо». Здесь следует описать способ технической реализации ФР, полученного на операциях П 3.2 или П 3.3. При этом надо указать конкретные технические средства: конструктивные элементы, узлы, операции, вещества и режимы. В формули-



ровке технического решения (ТР), по сути дела, должна быть также описана полученная новая ТС или новая часть исходной системы (с указанием состава и взаимодействия элементов).

Следует отметить, что методы поиска новых технических решений, как правило, обеспечивают своим аппаратом поиск решения лишь до уровня ФР, хотя переход от ФР к ТР в ряде случаев не прост. Правда, методы конкретизации физической идеи до описания технического средства изучаются во всех технических науках. Поэтому технически грамотный человек (на которого и рассчитаны методы поиска) может успешно справиться с переходом от ФР к ТР.

Для нашей задачи ТР и ФР практически совпадают. Окончательно новая система описывается следующим образом: «Биметаллическая пластина изготавливается из полос, имеющих прежний материал и форму поперечного сечения, но разной длины. Полоса, имеющая больший коэффициент расширения, изготавливается короче другой полосы. Перед сваркой полосы подогреваются за счет пропускания через них слабого электрического тока до температуры, при которой они будут иметь одинаковую длину. Разница в исходных длинах полос выбирается такой, чтобы без нагрева и при нагреве максимальным током напряжение в соединении полос не превысило допустимой величины».

* * *

Рассмотрим кратко последующие этапы основной последовательности действий.

Этап П4 «Проверка правильности синтеза решения» предназначен для выявления и устранения ошибок, связанных с нарушением формальных правил алгоритма и закономерностей построения ТС. Пройдя через этот этап, которым заканчивается «Блок преобразования ТС», мы обретаем уверенность, что полученное решение описывает работоспособную систему, что решение соответствует конечной цели и не нарушает ограничений. После этого можно переходить к этапу 5 «Оценка и выбор решения», который начинается с качественного анализа полученного варианта (или вариантов) технической системы. Цель анализа — выявить противоречия и диспропорции (в том числе, между затратами и полученным эффектом), возникшие и обострившиеся в результате изменения исходной или синтеза принципиально новой ТС. Наиболее существенные ухудшения устраняются видоизменением полученной системы. Затем, сравнивая исходные и полученные варианты, производится выбор решения.

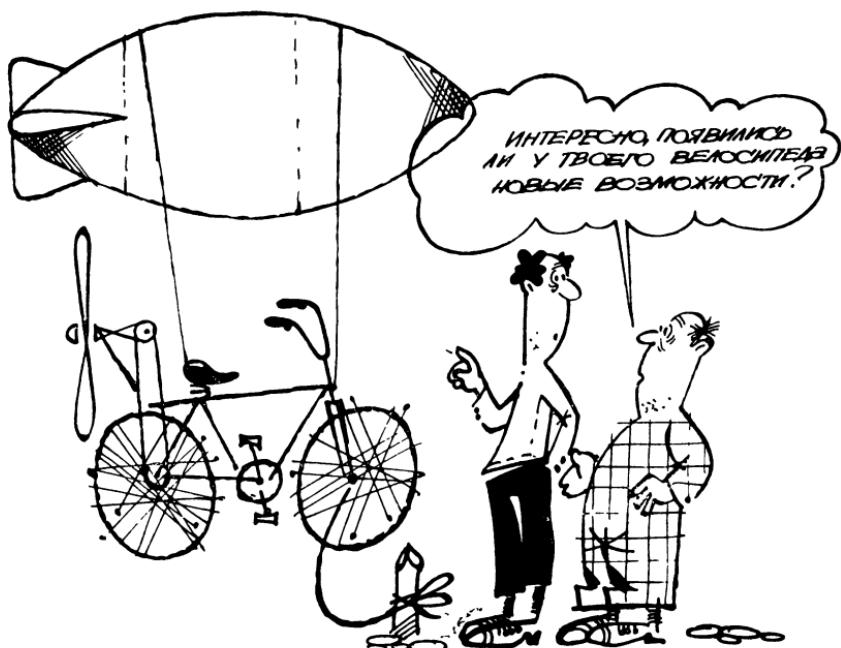
К примеру, у полученного решения задачи о биметаллическом размыкателе явным ухудшением можно считать усложнение процесса изготовления пластины и соответствующее увеличение стоимости размыкателя. Если не рассматривать возможные варианты снижения стоимости (их можно наметить, проведя функционально-стоимостный анализ ТС), то следует сравнить затраты на новую

и исходную ТС при равной надежности их функционирования. То есть дополнительные затраты на изготовление предварительно напряженной пластины надо сопоставить со стоимостью оперативных замен пластин, выходящих из строя. При таком сравнении полученная ТС оказывается предпочтительнее.

На этапе 5 предусмотрена оценка и по количественным показателям. Для нашего решения надо подсчитать, действительно ли за счет предварительного напряжения можно исключить разрушение соединения полос. Расчеты показывают, что в исходной ТС напряжения при действии стократного тока примерно в 1,5 раза превышают допустимые. Значит, разрушения можно избежать, если при номинальном токе в соединении полос будет «антинапряжение» не менее половины допустимого.

На выходе этапа получаем окончательное решение и подзадачи, которые могут возникнуть при реализации этого решения. Для размыкателя к таким подзадачам можно отнести определение разницы в длине заготовок полос и режима их нагрева перед сваркой, а также изменение положения электрических контактов в размыкателе.

Последний этап — 6 «Развитие полученного решения» — предполагает выявление новых возможностей, полученных в результате решения и возможностей расширения области применения новой ТС за счет ее модификации. На этом этапе выявляется также новая информация, которая может быть использована для решения других задач и совершенствования метода. Этот этап может



корректировать решение и подзадачи, а также пополнять картотеку и массивы информации.

* * *

Всякие ограничения, входящие в формулировку задачи, обычно воспринимаются творческой личностью как покушение, на свободу творчества. Особенно — требования, выдвигаемые производством (и любой другой надсистемой). В то же время только ограничения позволяют обоснованно и однозначно сужать поле поиска, уменьшая перебор вариантов. Поэтому в тех случаях, когда задача не содержит достаточно определенных ограничений, все равно возникает необходимость найти «поисковые ограничения», отражающие признаки предпочтительного варианта решения. Выявить эти признаки можно лишь путем тщательного анализа исходной ТС, ее достоинств и недостатков.

Отбросим запрет на изменение принципа действия слаботочного размыкателя (оставив лишь требования сохранить габариты кожуха, прохождение сильного тока через размыкатель и запрет на изменение параметров электродинамического размыкателя). И посмотрим, какова логика поиска решения в этом случае (не останавливаясь подробно на всех операциях алгоритма, отражая лишь основные моменты).

С учетом расширившихся возможностей перейдем к модели задачи на достройку ПС: «Дана замыкалка, соединяющая электроконтакты; найти принцип действия замыкалки, которая при нагреве до заданной температуры проходящим через нее электрическим током должна менять свою форму, размыкая контакты».

При решении обычной задачи синтеза формулировка модели решения часто практически совпадает с формулировкой МЗ. Однако мы перешли к задаче синтеза от задачи-противоречия. Следовательно, в МР кроме указания на функцию надо заложить условие устранения НЭ, отражавшего обострение ТП в исходной системе, а также устранения тех признаков или особенностей принципа действия исходной ТС (или ПС), которые привели к возникновению этого ТП. Для биметаллической пластины такая особенность ПД заключается в пропорциональности между степенью нагрева и деформацией: чем выше температура, тем сильнее изгиб. Соответственно формулировка МР получается следующей: «Замыкалка сама меняет свою форму требуемым образом при нагреве до заданной температуры, не разрушаясь при увеличении нагрева и вообще не реагируя на это увеличение». Физические условия реализации этой МР выглядят так: «Частицы замыкалки перемещаются только при заданной температуре». Эти ФУР являются теми поисковыми ограничениями, которые позволят сузить поле поиска при обращении к массиву физической информации.

Найти принцип действия размыкалки — значит подобрать физическое явление (или эффект), обеспечивающее преобразование тепловой энергии в изменение геометрии вещества (см. приложение 2):

$\text{Пт} \rightarrow \text{В} \rightarrow \text{ПГ}_{\text{вн}}$.

По таблице находим следующие номера:

24[21] — увеличение силы трения при нагреве пары металл — полупроводник (трение может изменять форму);

88 — конденсация и затвердевание;

93 — тепловое расширение;

94 — эффект памяти формы;

99 — увеличение объема газа при нагреве в условиях постоянного давления (закон Гей-Люссака);

100 — термострикция;

101 — испарение и плавление.

Требованиям ФУР отвечает только 94 и, в какой-то мере, 88 и 101. С точки зрения простоты реализации в ТС наиболее предпочтительно использовать эффект памяти формы.

МЕЧТАМ С ПАМЯТЬЮ —
МОЯ НОВАЯ
ЗАПИСНЯЯ КНИЖКА!



ДВА УЗЕЛКА —
ЗНАЧИТ ДВЕ ИТОРУЧЕНИЯ
ОСТАЮСЬ ВСПОМНИТЬ,
КАКИЕ...



* * *

Когда есть прототип — это и хорошо и плохо.

Хорошо при решении простых задач.

Плохо при решении сложных задач, ибо создает психологическую инерцию.

И хорошо при решении любых задач для человека, вооруженного методами анализа системы, выявления и разрешения противоречия. Отрицание признаков прототипа, приводящих к нежелательному эффекту — это опора в зыбком пространстве неопределенности, это трамплин для броска через барьеры к правильному решению.

Глава 3

СИНТЕЗ «С НУЛЯ»

или

*Об игрушке с двумя ручками,
Об экране с ворсинками, равно как и о
других экранах,
О порошке, который надо трясти ребенку, причем
есть все основания думать, что ребенок будет это делать с
большим удовольствием,
а также
О ниточках, шкивах, ползунах, стержнях и прозрачных уп-
ругих пленках, на которых нарисованы разные смешные кар-
тинки*



Условные сокращения:

БФСТС	— блок функционального синтеза технической системы
ТС	— техническая система
ГПФ	— главная полезная функция
ПФ	— полезная функция
СП	— способность
ПС	— подсистема
П	— поле (энергопоток)
В	— вещество (объект, элемент)
У	— управляющая энергоцепочка
З	— задача
ТП	— техническое противоречие
ПЭ	— положительный эффект
НЭ	— нежелательный эффект

Задачи по преобразованию прототипа встречаются часто, но не всегда. Могут быть и такие задачи, как эта:

«Необходимо разработать детскую игрушку для развития координации движения рук. Игрушка должна представлять собой небольшой экран (20×15 см) с двумя ручками управления (для правой и левой рук). Вращение только левой ручки должно «рисовать» на экране горизонтальную линию (например, при вращении ручки по часовой стрелке линия «рисуется» от какой-то произвольной точки вправо, а при вращении против часовой стрелки — влево). Вращение правой ручки должно «рисовать» вертикальную линию («вверх — вниз»).

Возможность получения на экране других типов линий должна зависеть от варианта одновременного вращения ручек:

— одновременное вращение ручек (каждая с постоянной скоростью) дает наклонную прямую линию (при равенстве скоростей — линию под углом 45°);

одновременное вращение ручек с меняющейся скоростью (хотя бы одной из них) дает криволинейную траекторию (фигуру).

Процесс «стирания» изображения на экране должен быть простым, быстрым и не должен требовать дополнительных затрат. Нельзя использовать сменные экраны, разноцветные (с целью отличия нового рисунка от старого) рисующие элементы и т. п.

Стоимость игрушки не должна превышать 10 руб.

В условиях этой задачи есть указание на цель: функцию, которую должна выполнять система. Заданы параметры входа (ручки и характер их движения — вращение), охарактеризованы зависимости между входом и выходом (вращением ручек и изображением). Даны ограничения на размеры, стоимость, сложность системы и на применение определенных средств. Нет только описания самой системы и ее подсистем. Систему эту надо синтезировать, практически «с нуля». Для решения таких (сложных) задач синтеза в комплексном методе, как уже отмечалось, предусмотрен «Блок функционального синтеза технической системы» (БФСТС).

Данный класс задач синтеза включает в себя задачи на достройку недостающих подсистем (двух и более) в ТС, а также задачи полного синтеза многофункциональной системы по заданной ее ГПФ. Такие задачи являются одними из наиболее сложных задач творческого поиска.

В чем же сложность этих задач? Прежде всего в их большой трудоемкости. Хотя в общем плане решение задачи многофункционального синтеза сводится к решению комплекса задач однофункционального синтеза (простых задач синтеза), трудоемкость решения сложной задачи выше, чем сумма трудоемкостей простых задач, составляющих эту сложную задачу. Объясняется это тем, что синтез ТС даже из готовых подсистем далеко не простое механическое их сложение. При взаимной увязке подсистем, как правило, возникает целый ряд дополнительных задач (как простых задач синтеза, так и задач — противоречий), требующих своего решения, а следовательно и дополнительной трудоемкости. Например, использование в ТС радиоактивных веществ и излучений для выполнения каких-то функций сразу порождает ряд задач по защите людей от вредной радиации. Ясно, что при применении «нерадиоактивных» подсистем, выполняющих аналогичные функции, подобные проблемы не могли возникнуть даже в принципе.

Кроме того, следует отметить, что проблема многофункционального синтеза является наименее разработанной в теории поиска новых технических решений. Из-за этого процесс решения таких задач менее направленный и, как следствие, более трудоемкий.

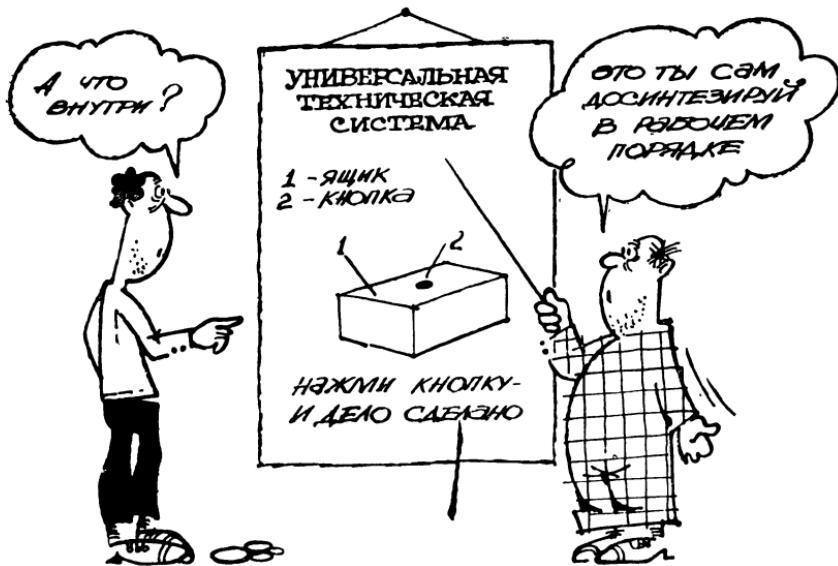
Рассмотрим особенности аппарата БФСТС на конкретном примере — на изложенной выше задаче о создании детской «рисовальной» игрушки. Поскольку цель и ограничения в условиях задачи оговорены достаточно ясно, начнем сразу с операции 1.7.

1.7.1. Даны ГПФ «развитие координации движения рук за счет получения рисунка на экране путем вращения двух ручек», для выполнения которой нет ТС.

Не обращаясь к типовым решениям и поиску аналогичных задач (так как вероятность успеха очень мала), переходим к этапу, с которого начинается БФСТС:

C 2. «Определение состава синтезируемых подсистем»

Целью данного этапа является определение комплекса простых задач синтеза, решение которых необходимо для обеспечения ми-



нимальной работоспособности ТС: обеспечение функциональной и энергетической полноты, а также минимальной необходимой степени динамичности и управляемости (проблема преодоления параметрического порога на данном этапе не рассматривается, т. к. она связана не столько с постановкой задач, сколько с их решением, с выбором физического принципа действия).

Хотя комплекс задач, определяемых на данном этапе, не является окончательным (он может корректироваться, например, при взаимной увязке с подсистемой), важность этого этапа очень велика. Неверно поставленная задача фактически может перечеркнуть всю дальнейшую работу. Кроме того, данный этап, как мы увидим далее, определяет и очередность решения поставленных задач (операция С 2.5), то есть определяет рациональное направление решения всей задачи многофункционального синтеза.

В целом этап является аналитическим и, соответственно, наименее трудоемким из всех этапов БФСТС.

Входом этапа является ГПФ системы (или достраиваемой части ТС), выходом — модель синтезируемой ТС. Модель изображается в виде блок-схемы и должна отразить весь комплекс простых задач синтеза, решение которых обеспечивает минимальную работоспособность ТС (то есть отразить программу дальнейшего поиска).

С 2.1. Составить перечень подсистем, которые необходимо построить

По своему смыслу перечень подсистем, определенных на данной операции, является перечнем задач, решение которых необходимо для обеспечения функциональной полноты ТС. Определяется

он с помощью ряда операторов, входящих в «Блок операторов предметно-функционального анализа технической системы» (01).

В первую очередь, исходя из формулировки ГПФ, определяются «способности» будущей системы:

- 1) формирование программы будущего рисунка (ПФ—1);
- 2) получение изображения (ПФ—2);
- 3) получение соответствия линий рисунка характеру движения правой руки (ПФ—3);
- 4) получение соответствия линий рисунка характеру движения левой руки (ПФ—4);
- 5) сравнение получаемого рисунка с заданным (по мере получения линии) (ПФ—5);
- 6) корректировка характера «рисуемой» линии (ПФ—6);
- 7) «стирание» всего рисунка (подготовка игрушки к следующему рисунку) (ПФ—7);
- 8) изменение программы будущего рисунка (один и тот же рисунок быстро надоест) (ПФ—8);
- 9) быстрота (5—10 сек) и простота «стирания» рисунка (СП—1);
- 10) сохранение рисунка на экране необходимое время (сколько захочется ребенку) (СП—2).

Нетрудно определить, что все способности, за исключением двух последних, являются полезными функциями. Теперь необходимо определить «способности», которые обеспечиваются имеющимися в системе элементами и их взаимодействием, и те, которые необходимо создать. В нашей системе единственным, уже существующим элементом является человек — его участие в работе данной системы обязательно по смыслу самой задачи. Ребенок мог бы взять на себя выполнение первой, пятой и восьмой полезных функций. Очевидно, что по мере освоения этой игрушки ребенок сам будет придумывать будущий рисунок и сам будет сравнивать полученное с желаемым. Но на первых порах целесообразно предусмотреть наличие каких-то заданных типовых рисунков. Количество их может быть ограничено единицами. Отсюда следует, что в обязательном порядке человеком будет частично выполняться только ПФ—5: само сравнение будет осуществляться человеком, но информацию об отклонениях получаемой линии от заданного рисунка должна выдавать система (соответственно следует откорректировать формулировку ПФ—5: «получение информации об отклонениях...»).

Итак, мы получили (в первом приближении) перечень задач, решение которых необходимо для обеспечения функциональной полноты ТС. Однако, учитывая важность этой операции, полезно подвергнуть этот перечень более тщательному анализу. Попробуем оценить степень «идеальности» будущей системы, а точнее, провести анализ ее пространственно-временной организаций.

Исходя из ГПФ, можно выделить следующие функциональные отрезки времени:

t_1 — до начала «рисования»;

t_2 — непосредственно «рисование»;

t_3 — после окончания «рисования» и до начала «стирания»;

t_4 — «стирание» рисунка.

Идеальное функционирование ТС во времени выглядит следующим образом:

Таблица 1

Функции и способы	Моменты времени			
	t_1	t_2	t_3	t_4
ПФ—1	_____			
ПФ—2		_____	_____	
ПФ—3		_____	_____	
ПФ—4		_____	_____	
ПФ—5		_____	_____	
ПФ—6		_____	_____	
ПФ—7		_____	_____	
ПФ—8		_____	_____	
СП—1		_____	_____	
СП—2		_____	_____	

Аналогично можно выделить следующие функциональные области пространства:

X_1 — область получения рисунка;

X_2 — область управления получением рисунка;

X_3 — область «восприятия» рисунка;

X_4 — прочее пространство.

Идеальное функционирование ТС в пространстве имеет вид:

Таблица 2

Функции и способы	Области пространства			
	X_1	X_2	X_3	X_4
ПФ—1	_____			
ПФ—2	_____			
ПФ—3		_____		
ПФ—4		_____		
ПФ—5		_____		
ПФ—6		_____		
ПФ—7		_____		
ПФ—8		_____		
СП—1	_____			
СП—2	_____			

Анализируя обе таблицы, можно сделать следующие выводы:
—ПФ—1 и ПФ—8 должны выполняться в один функциональный период времени и в одной области пространства. При этом эти ПФ не нужны системе одновременно. Фактически ПФ—8 заменяет ПФ—1 при новом цикле работы (рисование следующего рисунка). Следовательно, ПФ—1 и ПФ—8 могут быть объединены в одну ПФ—1, но она должна обеспечивать возможность получения нескольких типовых рисунков;

—ПФ—6 по своему назначению дублирует комплекс ПФ—2, ПФ—3, ПФ—4 и, следовательно, может быть исключена;

—объединенная ПФ—1 выполняется обособленно, в собственный период времени и только в собственной области пространства;

—СП—1 относится к выполнению ПФ—7, а СП—2 — к выполнению ПФ—2.

Подводя итог выполненному анализу, получаем следующий откорректированный перечень подсистем:

ПС—1 — получение нескольких рисунков — образцов;

ПС—2 — получение изображения на экране;

ПС—3 — управление характером «рисуемой» линии в зависимости от движения правой руки;

ПС—4 — управление характером «рисуемой» линии в зависимости от движения левой руки;

ПС—5 — получение информации об отличиях получаемого на экране рисунка от рисунка — образца;

ПС—6 — стирание рисунка.

Причем ПС—2 должна обладать способностью (СП—2): «обеспечить сохранность рисунка в течение необходимого (по желанию ребенка) времени».

ПС—6 должна обладать способностью (СП—1): «процесс стирания должен быть простым и быстрым (5—10 сек)».

C 2.2. Определить необходимые входы и выходы искомой ТС или достраиваемой части ТС

Данная операция является первым шагом на пути обеспечения энергетической полноты и определения минимальной степени управляемости ТС. Здесь предполагается рассмотрение системы «извне», т. е. с позиций окружения, и выявляются **необходимые** связи системы и окружения. Особо важное значение имеет ориентация на необходимые входы. Фактически это ориентация на ТС, идеальную с позиций энергообмена. Привлечение дополнительных входов (за исключением естественных источников энергии) при этом всегда будет рассматриваться как отступление от идеала.

Какие же связи у нашей системы с окружением? В общем плане в «комплексном методе» на этой операции используется специальный оператор — «Анализ внешних связей ТС» (01.4), но в данном случае в этом нет необходимости. Главное и практически единственное окружение нашей системы — это ребенок. Поэтому связи с окружением можно свести к восприятию воздействий ре-



бенка (в виде механической энергии) и к отсутствию вредных воздействий на него.

Остановимся подробнее на описании энергопотоков, проходящих через ТС. Попутно заметим, что и на этот счет в «комплексном методе» есть специальные правила построения энергоцепочек, вошедшие в «структурно-энергетический оператор» (06). Сущность этих правил мы уже рассматривали в [9], поэтому сейчас для описания энергопотоков нам будет достаточно анализа, выполненного на С 2.1. Ориентируясь на полученный список подсистем, можно в первом приближении наметить следующие энергопотоки:

- два измерительных потока, несущих информацию о рисунке-образце и о получаемом изображении; они в большей своей части должны совпадать в пространстве и во времени; на выходе — световая энергия;

- два изменительных потока, обеспечивающих изменение изображения и передающих энергию от рук ребенка; они также должны частично совпадать в пространстве и во времени; на выходе — механическая энергия;

- управляющий поток, обеспечивающий стирание рисунка; в пространстве совпадает частично с потоками, создающими изображение, во времени — действует после них; на выходе, скорее всего, механическая энергия, создаваемая ребенком.

Таким образом, можно подвести итоги этой операции:

- на выходе обязательно потоки световой энергии, а также какие-то изменения, обеспечивающие появление и стирание рисунка;

- на входе — обязательно механическое поле, создаваемое руками ребенка; в соответствии с принципами идеальности может быть и световая энергия из окружающей среды (это уточнится на следующих этапах синтеза).

С 2.3. Определить необходимые взаимосвязи между подсистемами

Данная операция особое внимание уделяет обеспечению минимальной степени управляемости ТС. На основании сущности функций намеченных подсистем (С 2.1) и характеристик энергопотоков, проходящих через ТС (С 2.2) определяются необходимые взаимосвязи между подсистемами, и тем самым решается проблема (естественно в первом приближении) энергетической полноты и необходимой степени управляемости.

При этом в ряде случаев (когда не обеспечивается прохождение энергии через каждую подсистему) приходится дополнять систему новыми подсистемами.

Отдельного рассмотрения на данной операции заслуживает вопрос определения взаимосвязи управляющих и управляемых подсистем. С позиций обеспечения минимальной работоспособности ТС на данном уровне ее рассмотрения нет никакой разницы в том, на какую из подсистем основного энергопотока действует управляющая подсистема. С позиций же общей эффективности ТС и выбора оптимального направления поиска это имеет большое значение. Одно дело управлять работой двигателя, другое дело — регулировать работу ТС за счет трансмиссии!

Ошибка на данном уровне может привести либо к невозможности преодоления параметрического порога, либо к чрезмерно высокой «плате» за выполнение этого требования, либо, в лучшем случае, к уменьшению степени направленности поиска.

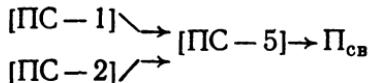
Информации же для лучшего выбора на этой операции пока явно не хватает. Она проявляется с появлением конкретной «физики» управляемого энергопотока. Поэтому на данной операции целесообразно указать лишь управляемый энергопоток, а не подсистему.

На выходе операций С 2.3 должна получиться блок-схема ТС, которую следует строить, «нанизывая» намеченные в С 2.1 подсистемы на энергопотоки, намеченные в С 2.2, как на каркас.

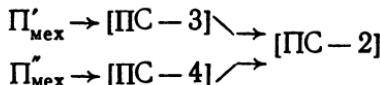


Для рассматриваемого примера получается:

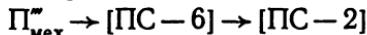
а) измерительные потоки



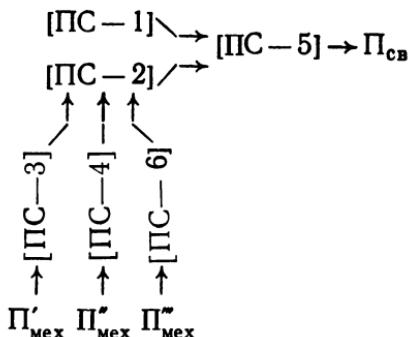
б) изменительные потоки



в) управляющий «стирающий» поток



Объединяя намеченные цепочки, получаем блок—схему:



C 2.4. Определить входы и выходы подсистем

Операция С 2.4 фактически подводит итог в формулировке тех задач синтеза, которые необходимы для обеспечения работоспособности ТС. Здесь происходит конкретизация входов и выходов всех подсистем, т. е. определяется тип преобразователя энергии, который должен быть воплощен в каждой подсистеме.

Начинать описание подсистем целесообразно с более определенных, т. е. с таких, у которых заданы входы или выходы.

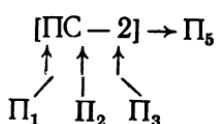
$\Pi'_{\text{мех}} \rightarrow [\text{ПС} - 3] \rightarrow \Pi_1$ (Π_1 — изменяющее изображение воздействие, соответствующее $\Pi'_{\text{мех}}$);

$\Pi''_{\text{мех}} \rightarrow [\text{ПС} - 4] \rightarrow \Pi_2$ (Π_2 — изменяющее изображение воздействие, соответствующее $\Pi''_{\text{мех}}$);

$\Pi'''_{\text{мех}} \rightarrow [\text{ПС} - 6] \rightarrow \Pi_3$ (Π_3 — «стирающее» воздействие);

$\Pi_4 \searrow \rightarrow [\text{ПС} - 5] \rightarrow \Pi_{\text{св}}$ (Π_4 — информация о рисунке — образце;
 $\Pi_5 \nearrow \rightarrow$ (Π_5 — информация об изображении>)

$[\text{ПС} - 1] \rightarrow \Pi_4$



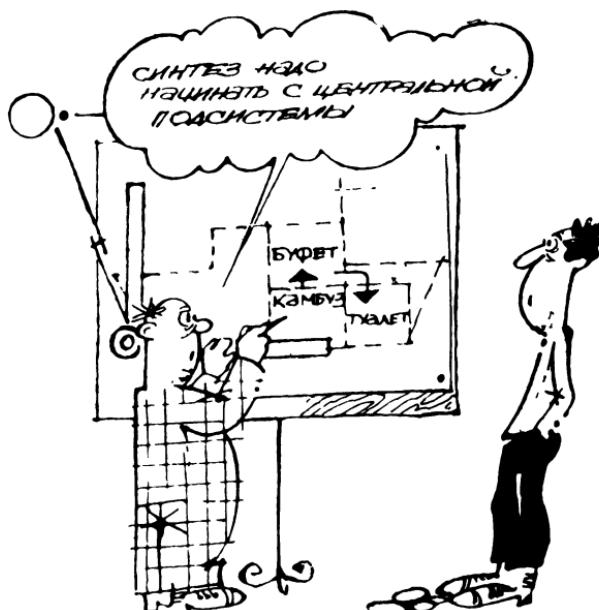
С 2.5. Разделить совокупность подсистем на группы по степени их влияния на выполнение ГПФ системы

Эта операция стоит особняком в этапе С 2. Она не связана с определением перечня решаемых подзадач, не связана и с уточнением требований к подсистемам. Она целиком связана с обеспечением направленности процесса поиска.

Если после операции С 2.4 приступить сразу к последовательному синтезу всех намеченных подсистем, используя подход, аналогичный морфологическому, то мы встанем перед целым рядом проблем. Как выбрать среди огромного множества возможных сочетаний вариантов подсистем лучшие? Как избежать противоречивых сочетаний? А может быть можно выбрать какое-то противоречивое сочетание, чтобы потом, разрешив противоречие, получить интересное решение? Как его угадать? Проблемы эти типичны для морфологического подхода, для которого все комбинируемые элементы равнозначны. Чтобы избежать их, надо уйти от равнозначности подсистем.

Классификация подсистем по степени их влияния на выполнения ГПФ позволяет наметить очередность решения задач (по сути дела — программу поиска), что приводит к резкому сокращению числа рассматриваемых вариантов и увеличению направленности синтеза ТС. В самом деле, определение характера управляемого энергопотока, к примеру, существенно ограничивает круг возможных управляющих воздействий. Также заметно сокращается число вариантов подсистемы, когда известны все ее входы и выходы.

Разделяя подсистемы на группы, в первую очередь следует выделить среди них **центральную подсистему**. То есть ту, которая в наибольшей степени определяет показатели работы системы, а также перспективы ее развития.



В синтезируемой ТС такой подсистемой является ПС—2. От того, каким образом будет получаться изображение, зависит и возможность управления этим процессом, и предпочтительный вариант рисунка-образца, и возможности их сравнения. Второй группой по степени важности следует признать подсистемы ПС—3 и ПС—4, изменяющие изображение: они непосредственно обеспечивают развитие координации движения рук. Кроме того, как управляющие, они могут наложить ограничения на варианты ПС—2: ведь нам нужны оптимальная ТС, оптимальное единство подсистем, а не сумма оптимальной центральной подсистемы и соответствующих ей остальных подсистем. Следующая по важности — ПС—6. Она также связана с центральной и через нее заметно влияет на степень эффективности системы в целом. Из оставшихся по степени важности можно выделить сначала ПС—1, а затем ПС—5: вариант сравнения изображений можно намечать только после того, как определены варианты их получения.

Итак, «парад» подсистем по степени важности: ПС—2, ПС—3 и ПС—4, ПС—6, ПС—1, ПС—5.

* * *

Следующий этап БФСТС: С3«Синтез системы». Данный этап является самым трудоемким. На этом этапе прежде всего решаются задачи синтеза, намеченные на предыдущем этапе. Причем при их решении надлежит обеспечить все подсистемы необходимыми способностями и обеспечить достижение характерных параметрических порогов, т. е. продолжить решение проблемы обеспечения минимальной работоспособности. Затем на этом этапе выполняется объединение подсистем в систему, сопровождающееся возникновением и решением новых задач. И все это необходимо для повышения общей эффективности синтезируемой ТС.

Поскольку при увязке подсистем могут возникать задачи — противоречия, то здесь может привлекаться и блок преобразования ТС. Фактически на этом этапе может использоваться весь аппарат комплексного метода, все массивы информации и практически все операторы.

Заканчивая общую характеристику этапа следует сказать, что успех выполнения этапа во многом обеспечивается четкостью выполнения этапа С 2 и практически определяет трудоемкость выполнения операций этапа С 4.

С 3.1. Наметить возможные варианты подсистем

В соответствии с очередностью, намеченной на операции С 2.5, здесь осуществляется последовательный синтез вариантов всех подсистем. Причем, по мере решения первоочередных задач синтеза производится уточнение условий остальных задач. Кроме того, полнота и подробность синтеза той или иной подсистемы должны выбираться с учетом взаимного влияния подсистем друг на друга. Всегда следует помнить, что критерием является оптимальность системы в целом. Поэтому не надо торопиться уточнять все

детали подсистем. Подробность синтеза должна быть достаточной для увязки подсистем, определения их достоинств и недостатков, выбора наилучшего сочетания составляющих систему частей. К малосущественным деталям подсистем можно вернуться потом, после объединения их в систему.

Основным инструментом на этой операции является оператор функционального синтеза подсистемы (07, см. приложение 1).

Синтез ПС—2 (нумерация операций в соответствии с 07)

7.1. Необходимо получить изображение рисунка.

При этом (7.1.1) нельзя использовать «сменные экраны» и «сменные рисующие элементы».

Прежде, чем переходить к следующей операции синтеза подсистемы, необходимо сделать одно важное замечание. Определяя тип подсистемы и ее изделие, необходимо ориентироваться на все энергопотоки, которые проходят через подсистему. В принципе подсистема должна соответствовать одной (основной) энергосхеме. Если же в этой энергосхеме есть элемент, который «замыкает» управляющий ею энергопоток, то воздействие на него можно рассматривать при синтезе подсистемы, соответствующей управляющей энергосхеме.

7.2.1. Изделие — «экран».

7.2.2. ПС—2 является частью измерительного энергопотока, несущего информацию об изображении.

7.2.3. Подсистема не является управляющей.

7.2.4. Тип энергопотока, управляющего ею, не задан.

7.2.5. Функционирование подсистемы должно происходить в области «экрана» (что он будет из себя представлять, пока не известно) и в следующие моменты времени:

— во время воздействия ПС—3 и ПС—4;

— после окончания их воздействия до начала воздействия ПС—6 (т. е. до «стирания» рисунка).

7.2.6. Характерных ритмов (кроме периодов времени, отмеченных на предыдущей операции) в подсистеме нет.

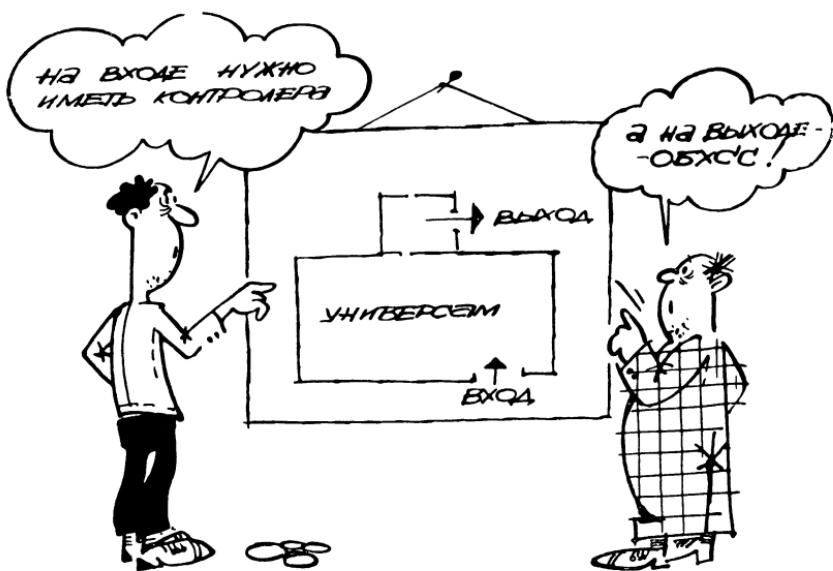
7.3. Функция: получение изображения рисунка. Входы и выходы — см. операцию С 2.4.

7.4. Возвращаясь к намеченному блок-схеме ТС, можно отметить, что наиболее предпочтительным полем на выходе подсистемы является световое поле (другой вид энергии на выходе из ПС—2 все равно пришлось бы преобразовывать потом в световую, что связано с дополнительными затратами).

Предполагая, что подсистемы ПС—3, ПС—4 и ПС—6 наиболее простыми получаются при преобразовании по программе, можно принять предпочтительными на входе механические поля.

В данном случае степень предпочтительности полей на входе и выходе различная. Если $P_{\text{св}}$ на выходе предпочтительно с высокой степенью вероятности, то предпочтительность $P_{\text{мех}}$ на входе можно подтвердить только после синтеза ПС—3, ПС—4 и ПС—6.

7.5. Соседние системы использовать нельзя (подсистемы — тем более).



7.6. Вспоминая структурно-энергетический аппарат представления ТС ([9], глава 5), получаем:

- исходной структуры нет, желаемая: $\Rightarrow \Pi_{\text{св}}(x, t)$;
- причем (x, t) должно обеспечиваться управляющим воздействием (скорее всего механическим) $\Pi(x, t) \rightarrow$;
- желаемый результат можно получить, решая задачи З₁, З₂ и З₃;
- используя типовое решение Р1, получаем следующие возможные минимальные (наиболее предпочтительные) структуры:

- a) $B \rightarrow \Pi_{\text{св}}(x, t);$
 $\uparrow |\bar{y}|$
 $\Pi_{\text{мех}}(x, t)$
- b) $\Pi_{\text{мех}}(x, t) \rightarrow B \rightarrow \Pi_{\text{св}}(x, t);$
- c) $\Pi_{\text{св}} \rightarrow B \rightarrow \Pi_{\text{св}}(x, t).$
 $\uparrow |\bar{y}|$
 $\Pi_{\text{мех}}(x, t)$

7.7. Для определения физически возможных способов реализации структур обратимся к «Массиву физических явлений и эффектов» (приложение 2). При этом следует иметь в виду, что $\Pi_{\text{св}} \equiv \Pi_{\text{элм}}$, а $\Pi_{\text{мех}}$ может быть представлено одним из следующих видов энергии: $\Pi_{\text{вн}}$, $\Pi_{\text{вн мех}}$, Π_c , $\Pi_{\text{кин}}$, Π_p . Кроме того, необходимо помнить, что поисковый образ физики, реализующей структуру «a», имеет следующий вид:

$$\begin{array}{c} \Pi_{\text{вн}} \rightarrow \Pi_{\text{элм}}, \\ \uparrow \\ \Pi_{\text{мех}} \end{array}$$

где $P_{\text{вн}}$ — любой из видов внутренней энергии, содержащей в таблице массива М2.

(Пояснения к обозначениям видов энергии даны в приложении 2).

После обращения к таблице получаем для всех намеченных структур следующий список номеров физических явлений и эффектов: 28, 53, 122, 145, 197 [192], 200 [192], 201 [192], 205 [192], 207 [192], 209 [192], 212 [192], 224 [53, 195], 224 [192], 227 [192].

Рассмотрение сущности эффектов и явлений, скрытых под этими номерами (см. приложение 2) подтверждает, что все они обеспечивают получение требуемых полей на выходе при заданных полях на входе. Однако они далеко не одинаковы с точки зрения следующих требований:

- возможность получения изображения в виде линии;
- возможность получения нужного рисунка под воздействием (управлением) слабого механического поля (в пределах силы ребенка);
- возможность сохранения изображения до начала «стирания»;
- простота и низкая стоимость ТС.

В соответствии с этими требованиями наиболее предпочтительным является одно явление:

205 — отражение и преломление света.

На этой основе можно отметить ряд предпочтительных физических принципов выполнения ПС—2:

а) получение изображения за счет разной отражательной способности разных частиц поверхности экрана, выполненного из одного вещества; изменение изображения — за счет изменения положения частиц в пространстве;

б) получение изображения за счет разной преломляющей способности частиц поверхности экрана, выполненного из одного вещества; изменение изображения — за счет изменения положения частиц в пространстве;

в) получение изображения за счет разной способности веществ отражать, поглощать и пропускать свет; изменение изображения — за счет изменения количества и/или положения разных веществ на поверхности экрана.

Чтобы перейти от физического принципа действия к более подробному описанию подсистемы, необходимо уточнить детали, но при этом неизбежно возникнут вопросы: «До какой степени стоит уточнять части подсистемы, связанные с другими подсистемами? В частности, управляемые элементы?» Здесь можно рекомендовать следующее правило: если часть подсистемы, связанная с другой подсистемой, существенно зависит от особенностей последней, то ее следует уточнять при синтезе этой другой подсистемы, включив в ее состав. Если же этого нет, то можно уточнять сразу. В нашем случае детали изменения «экрана» практически не зависят от особенностей ПС—3, ПС—4 и ПС—6. Ведь предпочтительным воздействием на «экран» мы задались — $P_{\text{мех}}$. Поэтому варианты «экрана» можно уточнить при синтезе ПС—2.

7.8. Получаем следующие возможные варианты ПС—2:

а) получение изображения рисунка за счет разной отражающей способности (под разными углами) поверхности «экрана», который должен представлять собой вещество, каждая точка которого может быть ориентирована в пространстве определенным образом. Наиболее предпочтительными по простоте являются следующие варианты экрана: легкодеформируемая (пластически) поверхность, например, металлическая фольга или мастика под пластиковой пленкой (управление механическим воздействием); ворсистая поверхность (изменение наклона ворсинок механическим воздействием); ворсистая поверхность с ферромагнитными ворсинками (изменение наклона воронок магнитным полем, управляемым в пространстве за счет механической энергии);

б) получение изображения рисунка за счет способности каждой точки экрана по-разному преломлять свет. Управление изображением — за счет изменения преломляющей способности. Достаточно простой вариант экрана: граненые зерна из прозрачного вещества, имеющего достаточный показатель преломления (управление за счет поворота зерен механическим воздействием);

в) получение изображения рисунка за счет разной способности веществ отражать, поглощать и пропускать свет. Управление изображением — за счет нанесения одного вещества на другое или «снятие» вещества, нанесенного на другое. Простейшие варианты экрана: поверхность, на которой рисуют красителем; поверхность с нанесенным мелкодисперсным порошком, который «соскабливают» с нее (воздействие везде механическое). Если учесть, что в условиях задачи наложен запрет на сменные рисующие элементы, то остается вариант со «соскабливанием».



Во всех вариантах ПС—2 используется световая энергия, имеющаяся в окружении (поскольку вряд ли ребенок будет заниматься рисованием в темноте: это предположение имеет высокую вероятность и значительно упрощает и удешевляет игрушку).

* * *

Аналогично ПС—2 с помощью оператора 07 выполняется синтез остальных подсистем.

Синтез ПС—3

7.1. Изменение положения элемента, воздействующего на «экран», по вертикали при вращении правой ручки управления и (в ряде вариантов) обеспечение прижима этого элемента к экрану.

Эта формулировка желаемого результата функционирования ПС—3 появилась путем сравнения ее функции, намеченной в С 2.1, с намеченными вариантами ПС—2.

7.2.1. Изделие подсистемы — «воздействующий элемент».

7.2.2 Подсистема «изменительная».

Через ПС—3 проходит изменительная энергопотока, изделие для которой — «экран». Если бы было необходимо при синтезе ПС—3 уточнить строение «экрана» и принцип его изменения, то в ПС—3 надо было бы включать всю цепочку. «Экран» стал бы изделием в ПС—3, входя одновременно в две подсистемы. Однако варианты «экрана» уже намечены, тип воздействия на него ясен. В этом случае целесообразно включить в ПС—3 лишь неизвестную часть энергопотоки с изделием в виде «воздействующего элемента» (в полной цепочке этот элемент по отношению к «экрану» является инструментом). ПС—3 при этом остается изменительной; цель — изменение положения изделия в пространстве; связь ПС—3 с ПС—2 в виде воздействия (поля), как и было намечено на операции С 2.4. Следует отметить, что ход синтеза ПС—3 в обоих случаях будет почти одинаковым.

7.2.3. Подсистема управляет процессом преобразования светового потока на «экране».

7.2.4. Управление подсистемой осуществляется энергией входа: механическое вращательное движение.

7.2.5. Действие подсистемы должно происходить в области пространства между ручкой управления и экраном и во время вращения ручки.

7.3. Функция описана в п. 7.1. Выход — организованное по линии (поступательное) воздействие на экране (механическое или магнитное). Вход — вращение ручки управления.

7.4. С учетом намеченных вариантов ПС—2, поля на выходе из ПС—3 (из «воздействующего элемента») должны быть: организованные в пространстве и во времени (поступательно перемещаемые) $P_{\text{мех}}$ (давление) — в случае механического воздействия или $P_{\text{магн}}$ — в случае магнитного воздействия на «экран». На входе задано $P'''_{\text{мех}}$ (вращательное движение).

7.6, 7.7. Желаемая структура:

$$\Pi''_{\text{мех}}(x, t) \rightarrow \Pi''_{\text{мех}}(x, t) \rightarrow B_2 \rightarrow \Pi'_{\text{мех}}(x, t) \rightarrow B_1$$

или

$$\Pi''_{\text{мех}}(x, t) \rightarrow \Pi''_{\text{мех}}(x, t) \rightarrow B_2 \rightarrow \Pi_{\text{магн}}(x, t) \rightarrow B_1$$

B_1 — экран; B_2 — воздействующий элемент;
 $\Pi''_{\text{мех}}$ — поступательное движение.

Для реализации структуры необходимо решить задачи:

— З₂ $\Pi'''_{\text{мех}} \Rightarrow \Pi''_{\text{мех}}$ (вращательное в поступательное);

— З₂ $\Pi''_{\text{мех}} \Rightarrow \Pi'_{\text{мех}}$ (движение в давление);

или:

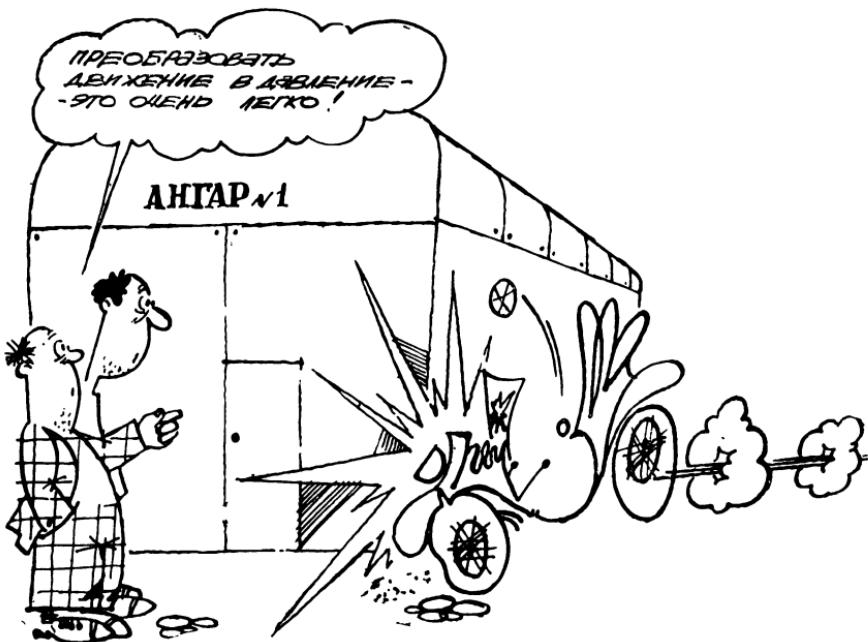
— З₁ $B \rightarrow \Pi'_{\text{мех}}$ (создание давления);

или

— З₁ $B \rightarrow \Pi_{\text{магн}}$ (создание магнитного поля).

Все эти задачи решаются довольно легко.

Преобразование вращательного движения в поступательное проще всего реализовать с помощью шкивов и нитей. Давление проще получить при решении З₁: за счет упругости элементов, удерживающих воздействующий элемент или за счет специально-го упругого элемента (пружины). Магнитное поле на выходе из B_2 получается, если сделать этот элемент или его часть магнит-ным.



7.8. Получаем следующие варианты ПС—3:

$$a) \quad \Pi'''_{\text{Mex}}(x, t) \rightarrow B_4 \rightarrow \Pi''_{\text{Mex}}(x, t) \rightarrow B_3 \rightarrow B_2 \rightarrow \Pi'_{\text{Mex}}(x, t)$$

B_1 — экран, B_2 — воздействующий элемент, B_3 — удерживающий элемент, B_4 — система шкивов и нитей;

$$6) \quad \Pi'''_{\text{Mex}}(x, t) \rightarrow B_4 \rightarrow \Pi''_{\text{Mex}}(x, t) \rightarrow B_3 \rightarrow B_2 \rightarrow \Pi'_{\text{Mex}}(x, t) \rightarrow B_1$$

$\downarrow_{B_4} \uparrow$

B_5 — упругий элемент (пружина);

в) $\Pi'''_{\text{мех}}(x, t) \rightarrow B_4 \rightarrow \Pi''_{\text{мех}}(x, t) \rightarrow B_3 \rightarrow B^m_2 \rightarrow \Pi_{\text{магн}}(x, t) \rightarrow B_1$
 B^m_2 — магнитный воздействующий элемент.

Синтез ПС—4

ПС—4 будет во всем аналогичен ПС—3 с той только разницей, что будет обеспечивать преобразование вращательного движения левой ручки управления в горизонтальное перемещение воздействующего элемента. Элементы B_2 , B_3 и B_5 будут общими для ПС—3 и ПС—4.

Синтез ПС—6

Выполненный синтез ПС—2 и ПС—3 позволит теперь довольно просто (практически без применения специального аппарата) определить и варианты ПС—6 — подсистемы «стирания».

Подобная картина — упрощение синтеза последующих по очередности подсистем — типична для многофункционального синтеза. Во-первых, по мере синтеза предыдущих подсистем растет степень определенности требований к последующим. Во-вторых, как правило, для получения аналогичных эффектов в одной ТС используются одинаковые средства. Если же из-за особенностей подсистемы потребуется антисредство, то, определив, в чем должно состоять это «анти» (отрицание), не трудно определить и его.

Из вариантов ПС-2 следует, что ПС-6 должна обеспечивать одно из следующих действий:

- а) восстановление формы сдеформированной поверхности «экрана»;
 - б) восстановление первоначального положения частиц (ворсинок, зерен) «экрана»;
 - в) восстановление равномерности слоя мелкодисперсных частиц на поверхности «экрана».

«Стирание» — антидействие по отношению к «рисованию». Применительно к ПС—6 — это означает, что «стирающее» воздействие той же природы, что и «рисующее», должно быть приложено к «экрану» в целом (чтобы не повторять рисующего движения). Вход в ПС — 6 задан: $P_{\text{мех}}$ от рук ребенка. Отсюда становятся ясными варианты этой подсистемы.

- а) «разглаживающий» элемент (давящий валик), приводимый в действие (перемещаемый вдоль «экрана») перемещением специ-

альной рукоятки; прижатие валика — за счет упругости крепления или за счет пружин;

б) то же, что и в «а», но действующее на экран с меньшей механической силой (без пружин);

в) «разглаживающий» магнит, не касающийся поверхности «экрана», перемещаемый как в «а»;

г) встряхивание «экрана».

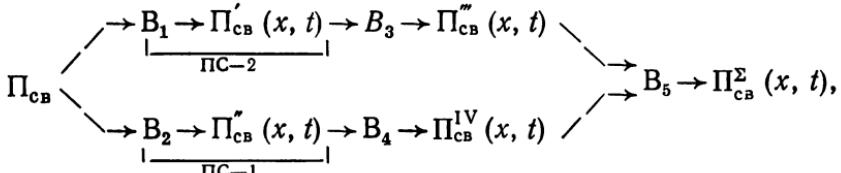
Синтез ПС-1

Поскольку данная подсистема по своему назначению аналогична ПС—2, можно воспользоваться результатами синтеза последней. Разумеется, делать еще одну такую же подсистему не следует. В этом нет необходимости. Поскольку создание рисунка-образца должно предшествовать процессу «рисования» с помощью ПС—2, ПС—3 и ПС—4, то, поставив себе целью максимальное упрощение системы, можно пойти по пути создания нескольких заранее сделанных образцов. Тем более, что они нужны только на начальном этапе освоения игрушки. Образцов может быть несколько, разной степени сложности. Проще всего их сделать, нанеся краску на «экраны»-образцы или выдавив рисунок на них. Если же применить модульный принцип (широко распространенный в современной технике), то можно из нескольких прозрачных «экранов-образцов» с нанесенными на них простыми фигурами компоновать (путем наложения друг на друга) множество различных сочетаний. При этом предпочтительнее будут тонкие «экраны» из прозрачной пленки.

Синтез ПС—5

Функцией данной подсистемы является выдача информации о различиях «рисунков», полученных в ПС—2 и имеющихся в ПС—1. В принципе человек сам мог бы выявить эти отличия, но точность такого сравнения невелика. Оно позволяет найти только очень существенные отклонения «рисунка» от образца (грубые ошибки). В данном случае точность сравнения рисунков особенно важна. Для решения подобных задач в КМ предусмотрено использовать подсказки массива типовых решений. В данном же случае мы вынуждены просто догадаться, что необходимо оптически совместить оба рисунка. Это может быть сделано двумя способами:

а) с помощью системы зеркал на третьем «экране»



B_1 — основной «экран»; B_2 — «экран-образец»; B_3 , B_4 — система зеркал; B_5 — третий «экран»; $\Pi_{cb}^{\Sigma}(x, t)$ — совмещенное изображение рисунков;

б) с помощью наложения одного (прозрачного) экрана на другой:

$$\begin{array}{c} \Pi_{\text{св}} \rightarrow B_2 \rightarrow \Pi_{\text{св}}^{\Sigma}(x, t). \\ \downarrow \quad \uparrow \\ \Pi'_{\text{св}} \rightarrow B_1 \end{array}$$

Ясно, что второй вариант проще и хорошо стыкуется с модульным вариантом «экрана-образца».

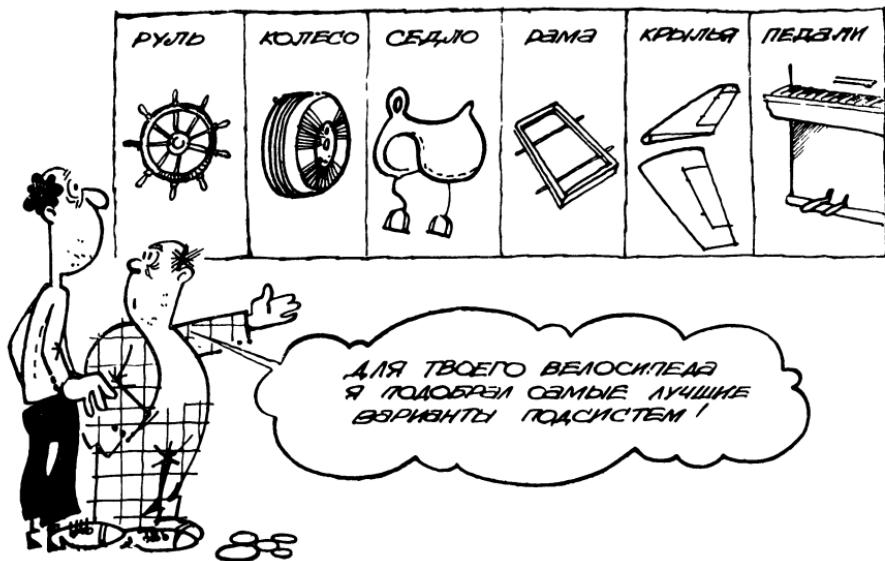
* * *

С 3.2. Выбрать варианты подсистем. Объединить и взаимно увязать подсистемы

Данная операция по своей сути должна окончательно обеспечить работоспособность новой ТС. Объединение наиболее предпочтительных вариантов подсистем (или, что вернее, наиболее предпочтительных комплексов взаимосвязанных подсистем) должно дать в результате систему, выполняющую все требования, сформулированные при постановке задачи и определяющие ее ГПФ.

В целом операция предусматривает первоначальный выбор центральной подсистемы и последующее объединение ее с выбираемыми вариантами остальных подсистем. Причем последовательность рассмотрения вариантов подсистем должна соответствовать последовательности, намеченной на операции С 2.5.

Основным критерием выбора варианта подсистемы является обеспечение работоспособности ТС в целом: обеспечение требуемых количественных показателей и непротиворечивость выбранных



вариантов и их сочетаний. Кроме того, при выборе вариантов подсистем необходимо в максимальной степени использовать принципы идеальности, что позволит уже на этой операции обеспечить повышение общей эффективности ТС. В частности, надо стремиться уменьшать количество преобразователей энергии (лишние преобразования всегда ведут к потерям, к снижению КПД), по возможности максимально объединять элементы различных подсистем и использовать скрытые способности элементов.

Данная операция предусматривает также решение дополнительных задач-противоречий и задач синтеза, возникающих при увязке подсистем между собой. При этом следует отметить, что количество этих дополнительных задач во многом зависит от тщательности выполнения предыдущей операции, ибо учет взаимного влияния подсистем при их синтезе во многом облегчает процесс их объединения в систему.

Главная сложность этой операции — выбор варианта центральной подсистемы. Он производится первым и во многом определяет выбор вариантов остальных подсистем, т. е. облика ТС в целом. Поэтому рассмотрение центральной подсистемы должно быть очень тщательным. Выбирая ее вариант, в обязательном порядке необходимо учсть плюсы и минусы не только этой подсистемы, но и вызванных этим выбором последствий. Т. е. необходимо (хотя бы мысленно) объединить подсистемы в комплексы (по принципу непротиворечивости) и оценивать эти комплексы. Для оценки и выбора применяется «оператор сравнения альтернатив» (010), суть которого будет ясна из дальнейших действий.

При синтезе центральной подсистемы ПС—2 было намечено пять ее вариантов:

- 1) с пластически деформируемым «экраном»;
- 2) с «экраном», покрытым неупругими ворсинками;
- 3) с «экраном», покрытым магнитными ворсинками;
- 4) с «экраном», из поворачивающихся прозрачных граненых зерен;
- 5) с «экраном», покрытым слоем мелкодисперсного порошка.

Каждый из этих вариантов обладает своим набором достоинств и недостатков. Варианты 1—4 хорошо удерживают рисунок, но зато стирать его трудно. А вариант 3 — наоборот. Кроме того, рисовать на таком экране очень легко, но у варианта 5 есть еще один минус: надо предотвратить распространение порошка вне игрушки (впрочем, это легко обеспечивается за счет прозрачной крышки или прозрачного кожуха, например, из оргстекла). У вариантов 2—4 есть еще один недостаток: изображение получается только при одном, определенном направлении движения воздействующего элемента; при движении в обратном направлении рисунок будет стираться.

Оценим эти варианты с помощью следующих критериев сравнения:

P_1 — качество и легкость получаемого рисунка (с учетом отсутствия ограничений на направление перемещения воздействующего элемента);

P_2 — надежность сохранения рисунка;

P_3 — легкость и простота стирания рисунка;

P_4 — простота подсистемы.

Дадим каждому варианту «цену» от 0 до 1 по каждому из этих критериев и запишем результаты оценки в таблицу 3 над чертой (вариант 1 по критерию P_1 — 0,9; вариант 2 по критерию P_1 — 0,6; и т. д.). Определим теперь вес каждого из критериев.

Значимость определится из соотношения:

$$m_1 = m_3 > m_2 = m_4.$$

Дадим им следующие численные значения:

$m_1 = m_3 = 1,0$; $m_2 = m_4 = 0,6$; или, приводя сумму весов к 1,

$$m_1 = m_3 = 0,31; m_2 = m_4 = 0,19.$$

Теперь умножим ценность каждого варианта (n_{ji}) на «вес» критерия (m_i) и запишем в таблице 3 под чертой. Сумма произведений $\sum m_i \cdot n_{ji}$ для каждого варианта эквивалентна его предпочтительности.

Оценка показывает, что вариант ПС—2 в виде «экрана» со слоем мелкодисперсного порошка, соскабливаемого при «рисовании», предпочтительнее других.

После выбора варианта центральной подсистемы подбор вариантов остальных подсистем особого труда не составляет:

ПС—3 } — вариант «а»;

ПС—4 } — вариант «г» (встряхивание «экрана»);

ПС—1 — «модульный» вариант (прозрачные сменные экраны из пленки с нанесенным краской изображением);

ПС—5 — вариант «б».



Варианты ПС-2	Критерии				$\sum m_i \cdot n_{j_i}$	Место
	P_1	P_2	P_3	P_4		
	$m_1=0,31$	$m_2=0,19$	$m_3=0,31$	$m_4=0,19$		
1	0,9/0,279	1,0/0,190	0,6/0,186	0,9/0,171	0,826	2
2	0,6/0,186	1,0/0,190	0,7/0,217	0,6/0,114	0,707	3
3	0,6/0,186	1,0/0,190	0,7/0,217	0,5/0,095	0,688	4
4	0,6/0,186	1,0/0,190	0,7/0,217	0,3/0,057	0,650	5
5	1,0/0,310	0,3/0,057	1,0/0,310	1,0/0,190	0,867	1

Кроме того, в систему следует добавить ПС—7 — подсистему, предохраняющую порошок от рассыпания, в виде прозрачной крышки из оргстекла, а также ПС—8 — подсистему удержания, в виде пластмассовой коробки.

С3.3. Описать полученную ТС

Эта операция является заключительной на этапе синтеза системы и предполагает описание системы на уровне технического решения. Здесь от физики подсистем надо перейти к описанию элементов и их взаимодействий. Для этого целесообразно использовать информацию о типовых технических решениях (механизмах, структурах, схемах, материалах), приведенных в различных справочниках (например, в справочнике И. И. Артоболевского «Механизмы в современной технике»).

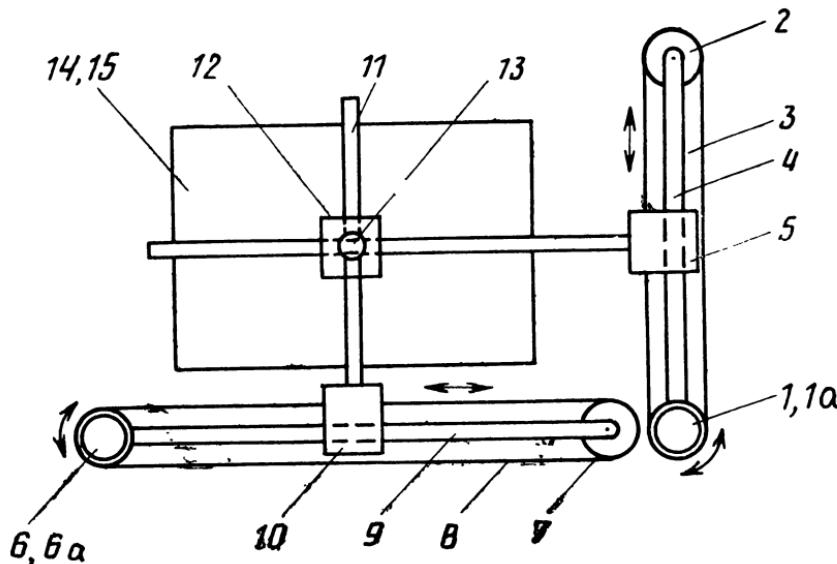


Рис. 5. Схема технической системы «рисовальная игрушка» (ПС—2, ПС—3, ПС—4)

Обозначения элементов даны в тексте

В рассматриваемом примере относительно сложным будет описание на уровне ТР лишь подсистем ПС—3 и ПС—4. Их удобнее изображать в виде схемы (см. рис. 5).

Полученная система работает следующим образом.

Вращение правой ручки 1, выполненной заодно со шкивом 1а, приводит в движение нить 3, перекинутую через шкив 2 и закрепленную концами на ползуне 5. Ползун перемещается по направляющей 4, на которой закреплены шкивы 1а и 2. Вращение ручки 1 вызывает вертикальное перемещение ползуна.

Аналогично обеспечивается горизонтальное перемещение ползуна 10 при вращении левой ручки 6 (за счет шкивов 6а и 7, нити 8 и направляющей 9). К ползунам прикреплены стержни 11, по которым перемещается удерживающий элемент 12 с прикрепленным к нему воздействующим («рисующим») элементом 13. «Рисующий» элемент соскабливает мелкодисперсный порошок 14 с поверхности экрана 15. Экран и элементы механизма закреплены в пластмассовом корпусе — коробке, на стенках которого есть выступы — направляющие. На них опираются свободные концы стержней 11. Корпус закрыт прозрачной крышкой, имеющей по трем кромкам выступы, под которые вставляются сменные прозрачные «экраны — образцы». Система работает при горизонтальном положении экрана.

В данном случае в результате синтеза получен один предпочтительный вариант ТС. Так получается далеко не всегда. Если получено несколько вариантов ТС, то следует описать каждый из них. Выбор будет выполняться далее, на этапе 5 «Оценка и выбор решения».

* * *

Последний этап БФСТС: С 4 «Проверка правильности синтеза технической системы»

Целью этого этапа является проверка соответствия созданной ТС предъявляемым к ней требованиям, а также законам построения ТС, обеспечивающим работоспособность системы. В результате проверки должны быть выявлены и устранены наиболее существенные ошибки в синтезе. Более подробный анализ, позволяющий повысить общую эффективность системы, должен быть выполнен на следующем этапе — «Оценки и выбора решения».

C 4.1. Выполнить анализ полученной ТС

Первая операция этапа С 4 предназначена для выявления основных характеристик ТС, определяющих ее работоспособность и соответствие требованиям окружения. Это: проверка энергетической полноты (т. е. работоспособности ТС с точки зрения законов природы), проверка функциональной полноты (т. е. возможности выполнения ГПФ) и определение входов и выходов.

Особенности выполнения анализа ТС лучше всего показать непосредственно на рассматриваемом нами примере.



Проверим энергетическую полноту ТС.
В системе можно выделить следующие энергопотоки:

- поток света из окружения, падающий на «экран — образец», отражающийся от него и несущий информацию о рисунке — образце;
- поток света из окружения, проходящий через прозрачные «экран — образец» и крышку, отражающийся от порошка, проходящий обратно и несущий информацию о рисунке; сложение с первым потоком дает информацию об отличии получившегося рисунка и рисунка — образца;
- два потока механической энергии от рук ребенка через ручки управления 1 и 6, через элементы 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 к «рисующему» элементу 13, воздействующему на порошок 14 на экране 15, обеспечивающие получение вертикальной линии на рисунке, при вращении правой ручки и горизонтальной линии — при вращении левой ручки управления;
- поток механической энергии от рук ребенка («встряхивание») через корпус к порошку, обеспечивающий стирание рисунка.

Каждый поток имеет источник энергии, энергия подводится ко всем элементам, необходимым для функционирования. Следовательно, ТС является энергетически полной.

Проверим функциональную полноту ТС.

Формулировка ГПФ системы и перечень способностей, необходимых для ее выполнения, приведены выше (см. операцию С 2.1). Чтобы получить перечень имеющихся способностей ТС, необходимо рассмотреть все ее элементы и их взаимодействие между собой и с окружением. Учитывая, что частично это проделано при проверке энергетической полноты ТС, полностью анализ имеющихся способностей системы приводить не будем, а лишь отметим:

- 1) в системе есть все способности, необходимые для выполнения ГПФ;
- 2) в системе есть дополнительные способности:

- при наклоне игрушки или случайном толчке возможно непреднамеренное стирание рисунка;
- механизм рисования, находящийся над экраном с поролоном, загораживает часть рисунка, а также не позволяет точно сравнивать полученный рисунок с рисунком-образцом.

Можно сделать вывод, что ТС функционально полная, но в ней есть ряд способностей, затрудняющих функционирование (или, другими словами, отсутствуют способности, обеспечивающие условия хорошего функционирования ТС).

Определим входы и выходы ТС.

На основании выявленных способностей ТС, проходящих сквозь нее энергопотоков и связей системы с окружением можно заключить:

1) на входе в ТС — поток света из окружения, механические воздействия рук рисующего;

2) на выходе из ТС — поток света, несущий информацию о получившемся и заданном рисунке (и об отличиях между ними); изменение изображения в зависимости от воздействия рисующего (вращение правой ручки — вертикальная линия, вращение левой ручки — горизонтальная линия, встрихивание — стирание).

C 4.2. Выявить отличия получившихся характеристик системы от заданных

Вторая операция этапа С 4 предназначена для выявления главных отличий характеристик получившейся в результате синтеза системы от того, что задано. Для этого необходимо сравнить результаты анализа ТС, выполненного на предыдущей операции (С 4.1), с заданными требованиями (целью функционирования, ограничениями, входами и выходами), а также моделью ТС, сформированной на операции С 2.3. При этом следует обратить внимание на:

- недостающие звенья энергозапасов;
- недостающие полезные выходы («способности»);
- дополнительные входы;
- дополнительные неполезные (вредные) выходы;
- отступления от требований ограничений (запрещающих или предписывающих применение тех или иных средств).

Если отличий не обнаружено, то можно перескочить через операцию и перейти сразу к операции С 4.4. Если же отличия выявлены, то надо переходить к следующей операции — С 4.3.

В рассматриваемом примере проведенный анализ ТС позволяет выявить три дополнительные и нежелательные способности:

- загораживание части рисунка механизмом рисования;
- неточность сравнения полученного рисунка с рисунком-образцом;
- способность к самопроизвольному стиранию рисунка при случайных механических воздействиях на систему.

Следовательно, необходимо проделать следующую операцию.



C 4.3. УстраниТЬ недопустимые отличия получившихся характеристик системы от заданных

Эта операция, по сути дела, предусматривает формулировку и решение дополнительных задач, появление которых обусловлено наличием недопустимых отличий ТС от желаемого состояния. Соответственно, из всей совокупности выявленных отличий надо выделить явно недопустимые, а затем видоизменить состав и структуру системы, устраняя их.

Если система неполная, то для ее достройки используется «оператор функционального синтеза подсистемы» (07). Если же недопустимое отличие представляет собой нежелательный эффект в полной ТС, то необходимо выявить соответствующие противоречия и разрешить их, используя операторы выявления и разрешения противоречий в ТС. В ряде случаев, когда выявленная подзадача — противоречие не поддается простому применению операторов, можно пропустить ее через «Блок преобразования ТС». Следует также отметить, что для решения выявленных подзадач следует в первую очередь использовать скрытые способности имеющихся элементов ТС. Иногда для выявления этих способностей приходится даже делать повторный анализ системы (но не общий, а узконаправленный).

Разумеется, могут встретиться случаи, когда при заданных ограничениях устраниТЬ недопустимые отличия не удается. В таких случаях, в соответствии с общим правилом № 4, необходимо вернуться к этапу постановки задачи (по-очередно к операциям 1.6 и 1.4) и пересмотреть ограничения.

В нашем примере выявлены три нежелательных эффекта, которым соответствуют три ТП:

- 1) ТП₁: обеспечение получения рисунка за счет размещения рисующего механизма над экраном ухудшает восприятие рисунка в целом;
- 2) ТП₂: обеспечение получения рисунка за счет размещения рисующего механизма над экраном ухудшает точность сравнения полученного рисунка с рисунком образцом;
- 3) ТП₃: улучшение (облегчение) стирания рисунка за счет свободного перемещения порошка по «экрану» ухудшает способность сохранять рисунок при случайных воздействиях.

Рассмотрим причинно-следственные цепочки этих противоречий:

- 1) ПЭ₁ — обеспечение получения рисунка;
 - a_1 — воздействие на порошок, лежащий на «экране», с помощью механизма, расположенного над «экраном»;
 - b_{11} — попадание части светового потока на механизм;
 - b_{12} — отражение части светового потока от механизма;
 НЭ₁ — ухудшение восприятия рисунка в целом;
- 2) ПЭ₂ — обеспечение получения рисунка;
 - a_2 — воздействие на порошок, лежащий на «экране», с помощью механизма, расположенного над «экраном»;
 - b_{21} — удаление «экрана — образца» от основного «экрана»;
 - b_{22} — неоднозначность визуального совмещения рисунка-образца и полученного рисунка;
 НЭ₂ — ухудшение точности стирания;
- 3) ПЭ₃ — улучшение стирания рисунка;
 - a_3 — порошок насыпан на «экран»;
 - b_3 — свободное перемещение порошка по «экрану» при любом механическом воздействии;
 НЭ₃ — ухудшение способности сохранять рисунок.

Структура выявленных противоречий показана на рис. 6.

Анализ изображенных структур показывает, что первые два нежелательных эффекта могут быть устранены отрицанием звена $a_1 = a_2$: механизм располагается под экраном, там же располагается и порошок. Однако, при этом возникает новый НЭ: порошок будет ссыпаться с экрана. Система при этом становится неработоспособной. Правда, этот новый НЭ по своей сути является лишь усилением НЭ₃. Таким образом, если разрешить ТП₃, то разрешаются и первые два противоречия.

Направление разрешения ТП₃ станет ясным, если сравнить результаты отрицания причинно-следственной цепочки между ПЭ₃ и НЭ₃ с уточненными требованиями к порошку как к узловому компоненту:

- а) результаты отрицания:
 - порошок не насыпан на «экран»,
 - порошок насыпан не на «экран»,
 - порошок перемещается не свободно (порошок «связан»),
 - порошок свободно перемещается под воздействием не любого, а вполне определенного воздействия;

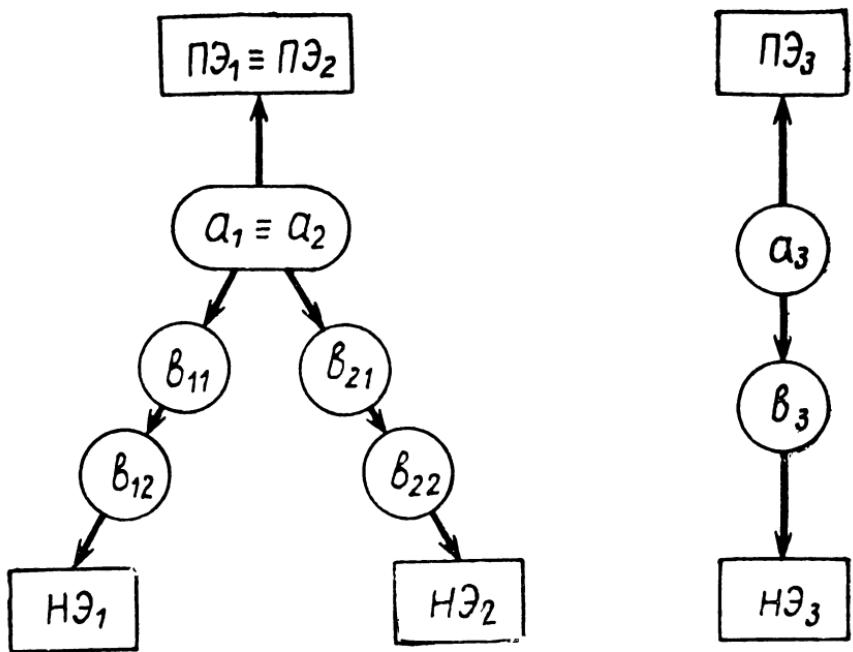


Рис. 6. Структуры технических противоречий технической системы рисовальная игрушка

Обозначения даны в тексте

б) требования к порошку:

- порошок должен быть «сцеплен» с экраном, чтобы не сваливаться с него;
- порошок не должен быть «сцеплен» с экраном, чтобы обеспечить стирание;
- порошок не должен быть «сцеплен» с экраном слишком сильно, чтобы не ухудшать возможность рисования.

Разделяя несовместимые требования между частью и целым, с учетом остальных требований и возможных направлений разрешения ТП получаем принципиальное решение:

на поверхности «экрана» (под ним) удерживается тонкий слой порошка; сила удержания должна быть меньше силы, «соскребающей» порошок с «экрана»; остальная часть порошка насыпана на что-то под экраном и наносится на экран при перевертывании игрушки.

Теперь остается определить, какой силой можно удержать порошок. Учитывая, что она должна действовать на тонкий слой порошка и ухватывать частицу порошка, как только та коснется экрана, можно предложить использовать электростатические силы. Тем более, что получить их просто: стоит лишь подвигать диэлектрический порошок по экрану из оргстекла.

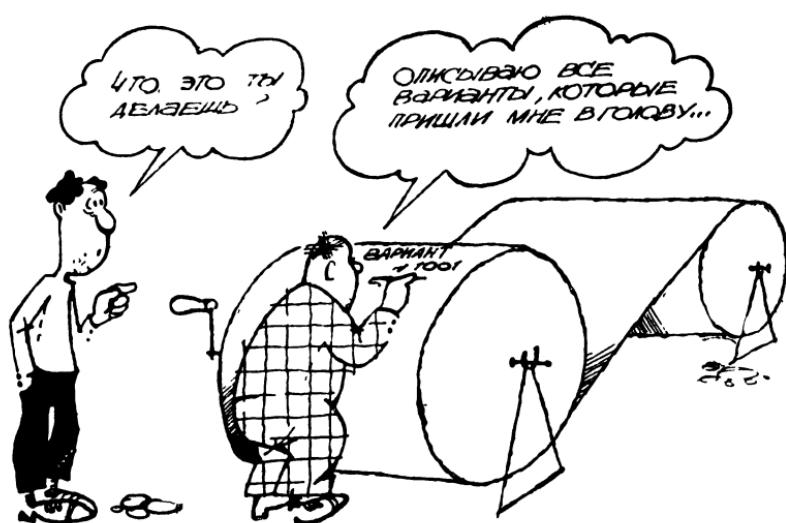
C 4.4. Описать полученную после видоизменений ТС

На этой операции подводится итог всему процессу синтеза новой ТС: здесь происходит окончательное описание полученного результата. При этом необходимо указать состав и взаимодействие элементов, изобразить полученную структуру графически, дать схему получившегося устройства или процесса. Объем и потребность описания ТС и ее функционирования должны быть достаточны для ее дальнейшего анализа и оценки на пятом этапе метода.

Разумеется, выполнять операцию С 4.4 необходимо с оглядкой на аналогичную операцию С 3.3. Если на ней система уже была подробно описана, а никаких изменений ТС на этапе С 4 не производилось, можно просто сослаться на имеющееся описание. Кроме того, графическое изображение системы и ее структуры в обязательном порядке следует приводить лишь в том случае, когда без них нельзя достаточно ясно представить себе систему или ее работу. В том случае, когда в процессе синтеза получено несколько вариантов ТС, необходимо описать все варианты.

Для рассматриваемого примера можно ограничиться лишь описанием системы и ее функционирования, поскольку графическое изображение наиболее сложной в структурном отношении части ТС, связанной с получением изображения, приведено выше, при выполнении операции С 3.3. Сохраняя приведенную выше нумерацию элементов, получаем следующее описание ТС.

Полученная в результате синтеза игрушка представляет собой корпус — коробку с экраном (14), выполненным из оргстекла, и ручками управления (1 и 6), расположенными на передней стороне корпуса. Экран закрывает вырез в корпусе герметично. Проходы ручек управления сквозь корпус герметизированы уплотнениями. Внутри корпуса насыпан мелкодисперсный порошок (15).



После переворачивания игрушки экраном вниз и потряхивания, вызывающего перемещение порошка по экрану, тонкий слой порошка под действием возникающей электризации прилипает к экрану. Внутри корпуса размещен также механизм получения изображения на экране. Вращение правой ручки (1), выполненной заодно со шкивом (1а), приводит в движение нить (3), перекинутую через шкивы (1а и 2) и закрепленную концами на ползуне (5). Ползун перемещается по направляющей (4), на которой закреплены шкивы (1а и 2). Вращение правой ручки (1) вызывает вертикальное перемещение ползуна. Аналогично обеспечивается горизонтальное перемещение ползуна (10) при вращении левой ручки (6) за счет шкивов (6а и 7), нити (8) и направляющей (9). К ползунам прикреплены стержни (11), проходящие сквозь отверстия в удерживающем элементе (12), к которому прикреплен «рисующий» элемент (13). Удерживающий элемент (12) перемещается по стержням (11) под их же действием.

Свободные концы стержней (11) опираются на выступы — направляющие, имеющиеся на внутренних стенках корпуса. «Рисующий» элемент прижимается к экрану за счет упругости стержней (11) и жесткости удерживающего элемента (12) и при своем движении соскабливает слой мелкодисперсного порошка с поверхности экрана, образуя линии рисунка. На корпусе по трем кромкам экрана имеются выступы, под которые вставляются сменные прозрачные «экраны — образцы», выполненные из тонких упругих пластиковых пластиночек. Рисунок можно получать при вертикальном, наклонном и горизонтальном (экраном вверх) положении игрушки. Чтобы стереть рисунок, надо перевернуть игрушку экраном вниз и потрясти, чтобы порошок прилип к экрану.

* * *

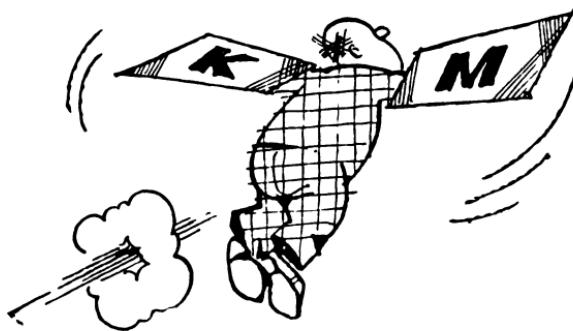
Завершая рассмотрение «Блока функционального синтеза технической системы», следует еще раз отметить, что этот блок, предназначенный для решения сложных задач синтеза, требует от решающего свободного владения всем аппаратом поиска новых технических решений, приведенным в операторах и массивах информации комплексного метода.

Глава 4

ОТ ШАГОВ АЛГОРИТМА К СВОБОДНОМУ ПОЛЕТУ

или

*О взрыве ацетилена,
О Юткине, Оккаме и Ньютоне,
Об экзотической жидкости,
О фрикционной передаче,
О квадрате оборотов и пружине переменной жесткости,
и все это для того, чтобы подвести к выводу
О современной культуре поиска новых технических решений*



Человек — система самообучающаяся. Поэтому при регулярном применении метода медленные шаги по ступенькам алгоритма сменяются свободным движением по логическим связям и отношениям, обеспечивающим прорыв к решению проблемы.

Обычно подобные полеты мысли не фиксируются. Но у автора остались записи решений задач, которые выполнялись коллективом методистов. Обсуждение велось в форме диалога. На первый взгляд эти высказывания могут показаться обычным генерированием. Однако читатель, знакомый с принципами направленного поиска, без труда уловит главный признак методичности: решается цепочка взаимосвязанных задач. А чтобы понятно было всем, слева мелким шрифтом даны комментарии, раскрывающие суть поисковых операций.

Вот несколько таких примеров.

* * *

На методсовет пришел инженер — технолог и предложил задачу.

Описание проблемной ситуации

- У нас на заводе делают деталь в виде тонкой оболочки сложной формы, сваренной из нескольких отштампованных обечаек. После сварки в определенных местах нужно проделать несколько десятков отверстий. До сих пор их пробивали по одному на ударном штампе. Но теперь программу увеличили в несколько раз, и изготовление этой детали стало узким местом. Мы пытались сделать установку, чтобы пробивать хотя бы по пять отверстий, но привод к бойкам получился слишком сложным.
- А почему отверстия не пробиваются сразу при штамповке обечаек?
- Пробовали, но после сварки пробитые дырки оказываются не на месте.

Уточнение условий задачи

Усиление задачи

— Если надо все-таки пробивать после сварки, то почему по пять дыр? Пробивать, так все разом.

Обостренное ТП₁

— Но привод к нескольким десяткам бойков невозможно сделать.

Разрешение ТП₁. Инверсия

— Ну и хорошо, что невозможно. Обойдемся без привода.

Изменение ПД.
«Среда сама...»

— ???

ТП₂

— Пусть на бойки действует среда. Например жидкость. Или газ.

Разрешение ТП₂.
Принципиальное решение

— Но тогда бойки надо соединять с какими-то поршнями, которые придется уплотнять. Сопротивление уплотнений будет разное и бойки сработают не все.

ФР₁ в соответствии с ПР

— Если нужен пробой, то должен быть удар среды. Против удара сопротивление уплотнений несущественно.

ТП₃

— Удар среды — это взрыв. Например, в жидкости — электрогидравлический удар, эффект Юткина.

— Боюсь, что организовать этот эффект у нас на заводе будет сложно.



Разрешение ТП_з.
Корректировка
ФР₁, ТР

- А можно проще: заделать концы бойков в гибкую мемброну...
- И взрывать газ. Проще всего — смесь ацетилена с воздухом плюс автомобильная свеча зажигания. Надеюсь, ацетилен и свеча у вас на заводе найдутся.

* * *

Условия
задачи

- Смотрите, в «Технике и науке» опубликована интересная задача для тренировки: «Ведущий вал вращается со скоростями от 400 до 4000 об/мин. Ведомый вал должен постоянно иметь 400 об/мин. Как это осуществить?» (рис. 7а).

- Помнится, эта задача лет пять назад была описана в «Технике — молодежи», в статье о синектике.

Там человек с помощью эмпатии, вживаясь в образ передачи, додумался до применения каких-то ньютоновых жидкостей.

- Давайте без этой экзотики. Что-нибудь проще.

- Задачка явно на построение. Нужны две подсистемы: одна передает вращение, другая управляет числом оборотов. А вернее — переподаточным отношением.

Известное
решение

Введение
поисковых
ограничений
Определение
типа задачи и
состава ТС



- Подсистема передачи вращения должна быть легкоуправляемой. Значит электрическая или магнитная энергия. На худой конец — гидропередача.
- Вспомним Оккама. Не будем умножать сущностей сверх необходимого. Я имею в виду преобразования энергии. На входе механическая энергия вращения и на выходе тоже. Преобразование явно по программе. И для механической передачи можно найти легкоуправляемый вариант. Например, фрикционная передача (рис. 7б).

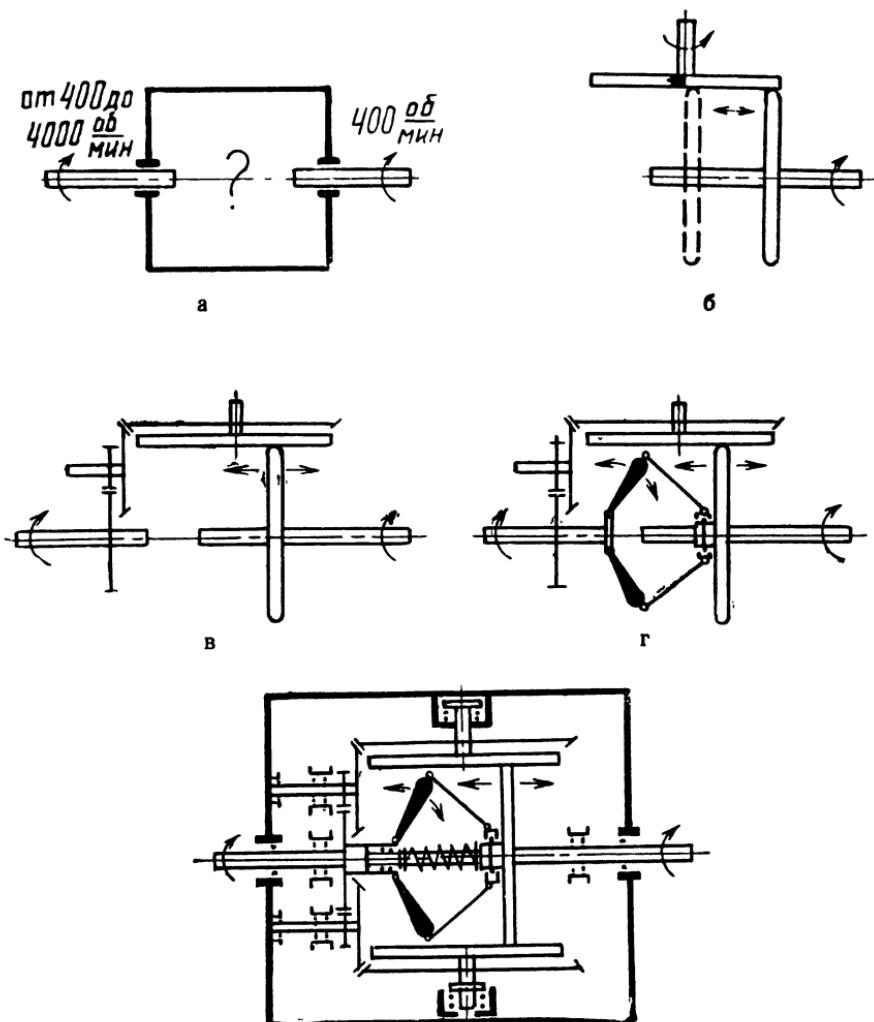


Рис. 7. Схема саморегулируемой передачи

- ТП₁
 - Но на картинке в журнале входной и выходной валы соосны.
 - Можно ввести преобразование в пространстве — зубчатую передачу.
 - А чтобы она не мешалась, сместить одно зубчатое колесо на край, а другое объединить с ведущим фрикционом (рис. 7в).
 - С первой подсистемой все ясно. Нужно теперь найти, за счет какой силы будет перемещаться ведомый фрикцион.
 - Силу найти нетрудно: в системе есть вращение, значит можно получить центробежную силу.
 - А чтобы управлять ею, надо с выходного вала запустить обратную связь.
 - Нет, по правилам КМ для управления надо использовать энергопоток, уже имеющий необходимую пространственно-временную организацию. Здесь это — входной вал. На него надо навесить центробежный регулятор и двигать с его помощью ведомый фрикционный диск (рис. 7г).
 - Но при такой схеме не на что опереть конец ведомого вала. Да и программу перемещения ведомого колеса при изменении оборотов ведущего трудно будет реализовать. Ведь центробежная сила пропорциональна квадрату оборотов, а перемещение должно быть пропорционально первой степени.
 - Опорой для ведомого вала можно сделать конец ведущего вала. А программу перемещения обеспечить пружиной переменной жесткости. Такая схема (рис. 7д) будет, по-моему, работоспособной. И все в соответствии с Ньютоном.
- Разрешение ТП₂
 - Использование ресурсов ТС

* * *

Приведенные примеры показывают, что и разрешение противоречий и синтез системы обученный человек делает свободно. Но за такой свободой стоит освоение всех инструментов, предусмотренных методом. Конечно, комплексный метод (да и любой другой современный метод поиска новых технических решений) может показаться слишком объемным, слишком длинным.

Но он таков только потому, что отражает объем знаний и навыков, которые необходимы для овладения современной культурой поиска новых решений. Для желающих овладеть этой культурой путь один: решать задачи, применяя методы.

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Общие правила

Правило 1. Если в процессе поиска решений на начальных этапах, а также при использовании отдельных операторов и массивов информации появляются идеи решения различной степени завершенности, применимость которых в момент появления неочевидна, рекомендуется зафиксировать эти идеи. В дальнейшем они могут быть использованы для синтеза и развития решения.

Правило 2. Поиск информации в случае неопределенности, в первую очередь при ориентирующем поиске, рекомендуется проводить в следующем порядке (до получения результата):

- 1) использовать решения аналогичных задач, поиск которых явно не вызывает затруднений (с помощью оператора переноса решений 011);
- 2) использовать массив типовых решений;
- 3) использовать массив физических явлений и эффектов;
- 4) выполнить углубленный поиск решений аналогичных задач (с помощью оператора 011).

Правило 3. Если получено несколько решений и, соответственно, несколько вариантов технической системы, то:

- в описании решения (системы) надо фиксировать все варианты, расположив их по степени предпочтительности;
- при проверке правильности синтеза (этапы С4 и П4) надо выполнить все операции поочередно для всех вариантов, начиная с наиболее предпочтительного;
- при оценке улучшения и ухудшения системы (операция 5.1) можно не ви- доизменять варианты системы, а ограничиться сравнением между собой исходной системы и всех полученных вариантов.

Правило 4. Если при заданных ограничениях не удается решить задачу, необходимо вернуться к операции 1.6 и пересмотреть уточнение ограничений.

Если это не дает результатов, вернуться к операции 1.5, выбрать другое направление решения в рамках главных ограничений и повторить процесс решения задачи.

Если замена направления решения не дает результатов, вернуться к операции 1.4, пересмотреть главные ограничения и повторить процесс решения задачи.

Основная последовательность действий	Операторы и массивы
1	2
I. ПОСТАНОВКА И УТОЧНЕНИЕ ЗАДАЧИ	
1.1. Описать исходную проблемную ситуацию, указав технические средства, подлежащие рассмотрению и отразив конфликт. (Что плохо?)	
1.2. Предварительный анализ проблемной ситуации.	01
1) Определить суть проблемы: отсутствие технического средства для выполнения функции или наличие нежелательного эффекта в имеющейся технической системе.	
2) Определить, в какую надсистему входит имеющаяся ТС или должна входить вновь создаваемая система.	
3) Если есть ТС, определить, с какой из ее подсистем связан нежелательный эффект.	

- 4) Если конфликт связан с принципом действия и если известно, что аналогичные проблемы в данной ТС возникали неоднократно, проверить, не связан ли нежелательный эффект с приближением к пределу принципа действия ТС (подсистемы). Если да, то необходимо рассмотреть задачу смены принципа действия, устранив признаки, приведшие к конфликту. (Операцию рекомендуется проводить при решении важной проблемы, связанной с большими затратами средств и времени, и при наличии необходимой информации.)

1.3. **Определить конечную цель решения задачи.** (В чем заключается конечный результат решения?)

02

1.4. **Определить главные ограничения.**

(Какие средства заведомо нельзя применять? Какие средства нельзя изменять? Какие средства обязательно должны быть использованы?)

Внимание! Определив ограничения, еще раз проверить их необходимость.

1.5. **Определить направление решения.**

1) Наметить укрупненно возможные направления достижения конечной цели решения, отличающиеся от направления, описанного в проблемной ситуации.

03, 01,
M1

2) Сравнить намеченные направления с ограничениями. Если ограничения налагают запрет на все направления, кроме описанного в проблемной ситуации, перейти к задаче «Все что есть, минус недостатки».

3) Если ограничения разрешают реализацию нескольких направлений, сравнить между собой эти направления и выбрать наиболее предпочтительное.

010

Примечания: 1. При выборе направлений решения должны быть уточнены резервы развития ТС (подсистемы), соответствующей рассматриваемому направлению.

2. Если после предварительного укрупненного расширения поля поиска нельзя отдать явного предпочтения одному из направлений, а решаемая проблема может оказаться сложной, связанной с большими затратами средств и времени, необходимо построить дерево целей — средств и повторить операцию 1.5.3.

1.6. **Для выбранного направления решения уточнить ограничения.**

1) Какие характеристики заведомо нельзя изменять?

2) Какие «способности», кроме функций, должна иметь искомая ТС? Какие требования налагаются конкретными условиями, в которых предполагается реализация решения? (В частности, какова допустимая степень сложности решения?)

3) Определить требуемые количественные показатели, характеризующие функционирование искомой ТС, а также экологические и экономические показатели (в частности, допустимые затраты).

При уточнении ограничений учесть масштаб и сроки реализации решения (ввести в показатели системы поправку «на время»).

Если выбранному направлению решения соответствует известное решение, позволяющее достичь поставленную цель при заданных ограничениях, перейти к операции 5.1. Если известного решения нет, перейти к операции 1.7.

1.7. Записать условие задачи, соответствующей выбранному направлению, не используя специальных терминов, по одной из следующих типовых форм.

- 1) Дана ГПФ (указать), для выполнения которой нет ТС.
- 2) Даны ТС, состоящая из элементов (указать). При условии (указать) возникает нежелательный эффект (указать).

1.8. Проверить возможность получения решения за счет использования типовых решений и/или известных решений аналогичных задач.

Если решение получено, перейти к операции 5.1.

Если не получено, то:

- при формулировке задачи, соответствующей операции 1.7.1, перейти к операции С 2.1 «Блока функционального синтеза ТС»;
- при формулировке задачи, соответствующей операции 1.7.2, перейти к операции П 2.1 «Блока преобразования ТС».

БЛОК ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНТЕЗА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

С 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА СИНТЕЗИРУЕМЫХ ПОДСИСТЕМ

С 2.1. Составить перечень подсистем, которые необходимо построить.

В перечне подсистем (ПС) должны быть отражены все ПФ, выполнение которых необходимо и достаточно для выполнения ГПФ.

Примечание: При построении ТС с «нуля» ГПФ должна относиться ко всей системе. При достройке ТС (построение части ТС, состоящей из двух и более ПС) ГПФ должна относиться ко всей достраиваемой части системы. При этом имеющиеся ПС (т. е. входящие в исходную ТС) считаются заданными в ограничениях.

С 2.2. Определить необходимые входы и выходы искомой ТС или достраиваемой части ТС.

Отметить энергопотоки, проходящие через систему (часть системы) и требования к ним (состав, виды энергии, типы превращений, основные и управляющие потоки, особенности пространственно-временной организации).

С 2.3. Определить необходимые взаимосвязи между подсистемами, обеспечивающие преобразование входов в выходы. При этом учесть выявленные требования к энергопотокам. Составить блок-схему искомой ТС (части ТС).

Примечания: 1. Если при определении необходимости взаимосвязей между ПС выявится недостаточность намеченных ПС для получения необходимых выходов при соответствующих входах, ввести дополнительно требуемые ПС.

M1, 011

01

01, 06

01, 06

1	2
2. Если для управляющих ПС затруднительно определить взаимосвязи с управляемыми ПС, необходимо наметить только связи управляющих ПС с управляемыми ими энергопотоками, а взаимосвязи с ПС уточнить при выполнении операции С 3.2.	
С 2.4. Определить входы и выходы подсистем.	01
Отметить энергопотоки, проходящие через ПС, и требования к ним (аналогично операции С 2.2). Уточнить отношения управления между ПС.	
С 2.5. Разделить совокупность подсистем на группы по степени их влияния на выполнение ГПФ системы.	01
Выделить группу основных ПС, которые в наибольшей степени определяют работу и перспективы развития ТС. Из числа основных выделить центральную ПС, функция которой ближе всего к ГПФ и которая влияет на выполнение ГПФ в наибольшей степени.	
Примечание: При достройке ТС имеется в виду ГПФ достраиваемой части и перспективы развития этой же части ТС с учетом развития системы в целом.	
С 3. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ	
С 3.1. Наметить возможные варианты подсистем.	06, 07, M2, M1
Указать физические возможные способы и соответствующие им структуры, реализующие получение требуемых выходов при заданных входах. При этом учесть ограничения, требования к энергопотокам и к пространственно-временной организации ПС. Изобразить намеченные структуры графически.	
Примечание: Намечать варианты ПС необходимо поочередно, начиная с более влияющих на выполнение ГПФ (в первую очередь с центральной ПС) и кончая менее влияющими. Как правило, сначала следует ограничиться рассмотрением центральной ПС и связанных с ней ПС из числа основных, а также связанных с ними менее важных ПС, заданных ограничениями. Как правило, следует сначала рассматривать ПС, соответствующие основному (управляемому) энергопотоку, а потом ПС, соответствующие энергопотоку, управляющему этим основным (исключение составляют случаи, когда тип управляющего энергопотока задан в ограничениях). По мере рассмотрения ПС необходимо, учитывая взаимосвязи между ними, уточнять требования к еще нерассмотренным ПС.	
С 3.2. Выбрать варианты подсистем. Объединить и взаимно увязать подсистемы.	
1) Сравнить между собой варианты центральной подсистемы и выбрать 2—3 наиболее предпочтительных (обеспечивающих требуемые количественные показатели и являющихся наиболее перспективными). Учесть требования, предъявляемые к системе в целом.	010
2) Присоединяя к центральной ПС связанные с ней ПС из числа основных, а также другие ПС, заданные ограничениями, произвести выбор вариантов этих ПС и их взаимную увязку (согласовать входы и выходы).	06, M1
При выборе вариантов подсистем учесть:	
— обеспечение работоспособности системы в целом (должны быть обеспечены требуемые количественные показатели, варианты подсистем не должны противоречить друг другу);	

- общность форм движения материи в ПС (в том числе общность видов энергии);
- возможность объединения элементов различных ПС (использовать побочные свойства или действия элементов одной ПС для работы другой).

Примечания: 1. Порядок объединения ПС должен быть таким же, что и порядок их рассмотрения при синтезе возможных вариантов (см. примечание к операции С 3.1).

2. Если при взаимной увязке ПС можно объединить их элементы, выполнить объединение.

3. Если при объединении и взаимной увязке ПС возникает необходимость уточнения управляющих взаимодействий между ПС или необходимость введения дополнительных ПС (дополнительных структурных звеньев), вернуться к операции С 2.3, откорректировать блок-схему и проделать для введенных ПС последующие операции.

3) Рассмотреть комплексы подсистем, полученные в С 3.2.2, сравнить их между собой и выбрать несколько наиболее предпочтительных,

Примечание: Выбор производить по тем же критериям, что и варианты центральной ПС (см. С 3.2.1).

4) Довести до конца синтез ТС, присоединяя к комплексам, выбранным в С 3.2.3, остальные ПС. Если на С 3.1 возможные варианты этих ПС не намечались, произвести синтез этих ПС, используя аппарат С 3.1. При синтезе и увязке ПС руководствоваться рекомендациями и аппаратом операции С 3.2.

5) Если при заданных ограничениях взаимная увязка ПС не получается, выявить соответствующие противоречия и разрешить, видоизменяя ПС и связи между ними.

Примечание: При необходимости сформулировать подзадачи и решить их, используя «Блок преобразования ТС».

С 3.3. Описать полученную ТС. Указать состав и взаимодействие элементов.

010

04, 05,
M1

С 4. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ СИНТЕЗА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

С 4.1. Выполнить анализ полученной ТС.

- 1) Проверить энергетическую полноту.
- 2) Проверить функциональную полноту.
- 3) Определить входы и выходы.
- 4) Определить, соответствует ли степень управляемости ТС условиям функционирования.

01

С 4.2. Выявить отличия полученных характеристик системы от заданных:

- недостающие полезные выходы («способности»);
- дополнительные входы;
- дополнительные неполезные выходы;
- отступления от требований главных ограничений;
- недостаточную степень управляемости.

Если отличий нет, перейти к операции С 4.4, если есть — к операции С 4.3.

С 4.3. УстраниТЬ недопустимые отличия характеристик системы от заданных.

1	2
1) Выделить среди выявленных отличий явно недопустимые отличия.	06, 07
2) Видоизменить состав и структуру системы, устранив недопустимые отличия. Выявить противоречия, обострение которых мешает устранить отличия, и разрешить их. Примечание: При необходимости сформулировать подзадачи и решить их, используя «Блок преобразования ТС».	04, 05, M1
Если при заданных ограничениях устраниить недопустимые отличия не удается, применить общее правило № 4.	
C 4.4. Описать полученную после видоизменения ТС. Указать состав и взаимодействие элементов. Изобразить полученную структуру графически. Дать схему получившего устройства и процесса. Описав систему, перейти к операции 5.1.	
БЛОК ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ П 2. АНАЛИЗ ЗАДАЧИ	
P 2.1. Выявить природу НЭ, данного в условиях задачи.	
1) При неполной ТС и необходимости достраивать одну ПС перейти к операции П 2.2.	01
2) При неполной ТС и необходимости достраивать две и более ПС сформулировать для достраиваемой части системы ГПФ и перейти к операции С 2.1 «Блока функционального синтеза ТС». Если ГПФ для всей достраиваемой части сформулировать не удается, вернуться к операции 1.5 и разделить выбранное направление на поднаправления (а часть системы на подчасти) таким образом, чтобы для каждой достраиваемой подчасти можно было сформулировать свою ГПФ.	01
3) При полной ТС выявить и сформулировать ТП, обострение которого проявилось в виде НЭ (в частности ТП, обострение которого не позволяет ТС иметь те или иные «способности» или не позволяет интенсифицировать функционирование ТС). Построить полную структуру ТП в виде причинно-следственных цепочек и перейти к операции П 2.2.	04
P 2.2. Построить модель задачи. Рассмотреть возможные состояния ТС, выбрать одно из них и уточнить формулировку (или переформулировать) НЭ, который необходимо устраниить (подцель, которую необходимо достичь) для решения задачи, указать его суть и связанные с ним элементы системы.	08
Если модель задачи содержит противоречия, перейти к операции П 2.3, если не содержит — к операции П 2.4.	
P 2.3. Определить направление разрешения противоречия. Уточнить структуру ТП для выбранного состояния ТС. Применяя оператор отрицания, наметить возможные направления разрешения ТП. Выбрать из них наиболее предпочтительное с учетом ограничений. Примечание: Желательно от ТП типа «ПФ—ПФ» перейти к ТП типа «ПФ — Затраты» или «затраты — затраты».	04, 05
P 2.4. Построить оперативную модель решения.	09, 012

- 1) Определить цель МР: с учетом типа МЗ (П 2.2) и выбранного направления разрешения ТП (П 2.3). Определить область пространства (рабочую зону), в которой должна быть реализована цель МР. Из числа элементов системы, ее окружения или внешней среды, входящих в рабочую зону, по возможности предварительно выбрать элемент модели решения и уточнить условия, выполнение которых должен обеспечить этот элемент (должно обеспечиваться в рабочей зоне).
- 2) Составить формулировку оперативной модели решения: в рабочей зоне (указать элемент МР, если он выбран) сам (а, о) обеспечивает(ся) (указать цель МР), выполняя (указать условия, выполнение которых должно обеспечиваться в рабочей зоне), не нарушая ограничений и не вызывая других ухудшений.

П 2.5. Отобразить модель решения графически, на условном рисунке, схеме, графике.

Показать два состояния: исходное («было») и соответствующее МР («стало»).

Примечание: Если суть конфликта и модели решения может быть наглядно представлена графиками, отражающими зависимости между характерными параметрами системы, необходимо привести эти графики.

П 2.6. Определить физические условия реализации модели решения.

- 1) Определить, какими физическими свойствами должен обладать элемент МР (часть элемента) или какие действия (взаимодействия) он должен осуществлять, чтобы обеспечить реализацию модели решения:
 - достижение цели МР;
 - выполнение условий МР (в т. ч. сохранение ПЭ, способности выполнять полезное действие).

Составить полный перечень этих физических свойств и/или действий (взаимодействий).

Примечание: Если в качестве элемента МР принята рабочая зона, включающая более одного элемента (системы, окружения или внешней среды), то после составления перечня требуемых свойств и/или действий целесообразно соотнести их со свойствами и действиями элементов, входящих в рабочую зону, подобрать элемент, наиболее подходящий к перечню требований и принять его в качестве элемента МР. Затем откорректировать перечень требуемых свойств и/или действий применительно к этому элементу.

- 2) Сравнить между собой сформулированные требования к элементу МР. Выделить пары несовместимых требований и перейти к операции П 2.7.

- 3) Если все требования совместимы (или в П 2.6.1 выявлено только одно требование), проверить, не вызывает реализация этих требований (этого требования) нарушения ограничений и каких-либо еще ухудшений в системе. Если ухудшения выявлены, перейти к П 2.7, если нет — к П 3.2.

Внимание! Прежде, чем переходить к операции П 3.2, еще раз проверить, действительно ли совместимы выявленные требования к элементу МР.

1	2
П 2.7. Составить формулировки ФП и выполнить их предварительный анализ.	
1) Для каждой пары несовместимых требований, выявленной в П 2.6.2 и П 2.6.3 составить формулировку ФП: (указать элемент МР) должен быть (указать требование) для того, чтобы (указать цель, условия, причину) и должен быть (указать антитребование) для того, чтобы (указать противоположную цель, условие, причину). Если получено одно или несколько ФП, соответствующих исходному ТП, заданному в модели задачи, перейти к П 3.1.	04
2) Если получено одно или несколько ФП, не соответствующих исходному ТП, заданному в модели задачи, необходимо: — сформулировать ТП, соответствующие полученным ФП; — выявить среди них те, которые необходимо разрешить (т. е. обостренные или обостряющиеся противоречия); — выделить среди них центральное противоречие, (наиболее важное для системы, разрешение которого позволит устраниить обострение наибольшего числа нежелательных эффектов) и перейти с ним к операции П 3.1.	04, 05
Примечание: Рекомендуется объединить выявленные линейные противоречия в единую причинно-следственную структуру и выделять центральное противоречие на базе анализа этой структуры.	
П 3. СИНТЕЗ РЕШЕНИЯ	
П 3.1. Разрешить противоречия и сформулировать принципиальное решение.	05, 012, M1
Определить, при каких условиях элемент МР будет иметь свойства или совершать действия, составляющие ФП.	
Примечание: 1. Не надо пока думать, осуществимы ли практически желательные условия. Назовите необходимые свойства, не беспокоясь о том, как они будут достигнуты. Главное, чтобы эти условия обеспечивали выполнение требований ФП.	
2. Принципиальное решение должно отражать новую организацию системы (в том числе во времени и в пространстве), при которой несовместимость свойств или действий, составляющих ФП, не является абсолютной.	
Если полученные в результате разрешения ФП новые принципы организации системы не достаточно ясны, возвратиться к П 2.4, принять полученное принципиальное решение за модель решения и повторить анализ, углубляясь в свойства элементов вплоть до перехода на микроуровень.	
Если противоречие не разрешается, необходимо: — вернуться к П 2.4 или П 2.6 и выбрать другой элемент; — вернуться к П 2.3 и выбрать другое направление разрешения ТП; — вернуться к П 2.2 и выбрать другую модель задачи.	
П 3.2. Сформулировать физическое решение, реализующее модель решения.	
1) В соответствии с выявленными в П 2.6 свойствами и действиями или полученным в П 3.1 принципиальным решением сформулировать подзадачу синтеза, которая долж-	

на быть решена; замена (изменение) элемента системы, дстройка или построение ПС.

Если из формулировки подзадачи очевидным образом вытекает физическое решение (ФР), перейти к П 3.2.5. Если нет, а суть подзадачи заключается в дстройке или построении ПС, перейти к П 3.3.

Примечание: Если после П 3.1 получено несколько ПР, то, сформулировав соответствующие подзадачи синтеза, необходимо сравнить их с ограничениями и отбросить те, которые явно приведут к уходу от конечной цели и нарушению ограничений. При этом целесообразно использовать выполненный ранее анализ направлений разрешения ТП.

- 2) Определить, как должен быть изменен (чем заменен) элемент МР, другие элементы, какие воздействия на них необходимо осуществить, какие структурные задачи должны быть решены. Отразить необходимые воздействия на рисунке и структурной схеме.
- 3) Определить, за счет чего можно осуществить необходимые изменения и/или воздействия. В частности, за счет каких структурных изменений:
- какие элементы системы, окружения или внешней среды можно привлечь;
 - какие элементы надо ввести;
 - как изменить связь между элементами в пространстве и во времени.
- 4) Отразить необходимые изменения на структурной схеме. Определить физические свойства (явление, эффекты), которые необходимо использовать для реализации необходимых изменений и/или воздействий. При необходимости откорректировать намеченные структурные изменения.
- 5) Сформулировать ФР, уточнив при этом структуру системы.

06

06, M1

06, M2

Внимание! Прежде чем вводить в систему новые элементы, необходимо максимально использовать «способности» элементов (ресурсы), имеющиеся в системе, окружении и внешней среде, видоизменив их в пределах, допустимых по условиям задачи.

Примечание: Выбирая физические свойства, необходимо учитывать необходимость обеспечения определенных количественных показателей ТС.

Если ФР получить не удается, необходимо:

- вернуться к П 2.3 и выбрать другое направление разрешения ТП;
- вернуться к П 2.2 и выбрать другую модель задачи.

Если ФР получено, перейти к П 3.4.

П 3.3. Выполнить необходимую дстройку или построение ПС.

П 3.4. Сформулировать техническое решение (способ, реализующий ФР). Указать конкретные технические средства (конструктивные элементы, узлы, операции, вещества, режимы). Описать полученную ТС (или часть системы), указав состав и взаимодействие элементов.

07, M2

П 4. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ СИНТЕЗА РЕШЕНИЯ

П 4.1. Выполнить анализ полученной ТС. Проверить:

01, 06

- 1) энергетическую полноту;

- 2) функциональную полноту;
 3) обеспечивается ли необходимая степень управляемости ТС;
 4) достигается ли заданная конечная цель;
 5) не нарушены ли требования ограничений;
 6) разрешены ли противоречия, выявленные в П 2.1 и П 2.7 (центральное).

Если проверка дает положительный результат, перейти к операции П 4.3. Если выявлены отклонения ТС от требуемого состояния — к П 4.2.

- П 4.2. Устраниить выявленные отклонения ТС от требуемого состояния, видоизменяя состав и структуру системы. Выявить противоречия, обострение которых мешает устраниить эти отклонения, и разрешить их.**

04, 05,
M1

П р и м е ч а н и е: При необходимости сформулировать подзадачи и решить их, перейдя к операции П 2.1.

Если при заданных ограничениях устраниить отклонения не удается, применить общее правило № 4.

- П 4.3. Описать полученную после видоизменений ТС (или часть ТС).**

Указать состав и взаимодействие элементов. Изобразить полученную систему графически. Дать схему полученного устройства и процесса.

Описав ТС, перейти к операции 5.1.

5. ОЦЕНКА И ВЫБОР РЕШЕНИЯ

- 5.1 Оценить степень улучшения и ухудшения, выбрать вариант ТС.**

- 1) Определить, что ухудшается при использовании полученной ТС. Проверить связи в системе, надсистеме и с окружающей средой. Выявить возникшие и обострившиеся противоречия (в т. ч. противоречия, выявленные в П 2.7, кроме центрального).

01, 04

- 2) Видоизменить ТС, устранивая наиболее существенные ухудшения и разрешая наиболее обострившиеся противоречия. Проделать для видоизмененной ТС операцию 5.1.1.

05

- 3) Сравнить между собой исходную ТС (если она дана), систему, получившуюся в результате решения, и видоизмененную ТС, полученную в 5.1.2.

010

Учесть их положительные (улучшение) и отрицательные (ухудшение) стороны. Для перспективных систем учесть возможность получения улучшения и ухудшения в перспективе. Выбрать наиболее предпочтительный вариант ТС.

Примечание: Если в результате решения задачи получено несколько вариантов ТС, использовать общее правило № 3. Если исходная ТС оказалась предпочтительнее, вернуться к П 2.3, выбрать другое направление разрешения ТП, или к П 2.2, выбрать другую модель задачи и повторить процесс решения. Если это не дало результата, использовать общее правило № 4.

- 5.2. Выполнить анализ степени идеальности выбранной ТС.** Если выявлены существенные отступления от принципов идеальности, проанализировать соотношение между эффектом и

01, M1,
010

затратами для элементов ТС. Если выявлены существенные диспропорции между элементами и полученным эффектом, устранить их, видоизменив ТС. Сравнить системы до и после видоизменений и выбрать предпочтительный вариант.

Примечание: При необходимости сформулировать подзадачи и решить их, перейдя к операции П 2.1.

5.3. **Выполнить оценку количественных показателей ТС.** Если в 1.6 определены количественные показатели, выполнить количественный анализ ТС и выявить, в чем полученные показатели хуже требуемых. Если ухудшение выявлено, проверить возможность достижения требуемых показателей за счет количественной оптимизации ТС. Если оптимизация не дает результата, выявить противоречия, обострение которых не позволяет получить требуемые количественные показатели, и разрешить их, видоизменив ТС. Повторить количественный анализ. Если видоизменение не дает требуемого результата, использовать общее правило № 4.

5.4. **Сформулировать полученное решение с учетом произведенных изменений.**

Описать полученную ТС. Дать схему полученного устройства и процесса (способы).

5.5. **Сформулировать подзадачи**, которые могут возникнуть при технической разработке и реализации решения (изобретательские, конструкторские, исследовательские, организационные). Определить порядок их решения, выявив приоритетные подзадачи.

Внимание! Сложность подзадачи не должна превышать сложности основной (решенной) задачи.

6. РАЗВИТИЕ ПОЛУЧЕННОГО РЕШЕНИЯ

6.1. **Определить новые возможности, полученные в результате решения.**

- 1) Какие новые «способности» появились у ТС, надсистемы?
- 2) Как должна быть изменена надсистема, чтобы максимально реализовать новые возможности системы, надсистемы?
- 3) Как по-новому можно применить полученную систему (или надсистему, в которую она входит) в данной области техники других областях?

6.2. **Расширить область применения системы, рассмотрев ее модификации.**

- 1) Выявить наиболее существенные параметры и признаки ТС, определяющие ее функционирование (взаимное расположение элементов, последовательность действий, агрегатное состояние изделия и/или инструмента, физические явления и эффекты, используемые в системе и т. п.).
- 2) Построить морфологическую таблицу возможных модификаций системы, используя выявленные параметры и признаки как морфологические оси.
- 3) Рассмотреть наиболее интересные модификации или группы модификаций. Определить область возможного их применения.

04, 05,
M1

Примечание: Операцию 6.2 целесообразно выполнять в случае перехода к новому принципу действия системы или в случае создания системы нового функционального класса (с качественно новой функцией).

6.3. Выявить новую информацию, полученную в результате решения.

- 1) Рассмотреть возможность использования идеи решения (или обратной ей идеи) для решения других задач.
- 2) Выявить из числа примененных при поиске решения технических операторов неизвестные ранее операторы или интересные комбинации известных операторов
Если выявлена необходимость значительных изменений надсистемы или выявлены интересные модификации системы, откорректировать решение и подзадачи.

Выявленную новую информацию занести в картотеку (при необходимости — в массивы информации).

СПИСОК ОПЕРАТОРОВ И МАССИВОВ КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДА

01. Блок операторов предметно-функционального анализа технической системы

- 01.1. Определение «способностей» и подсистем ТС
- 01.2. Анализ энергетической полноты ТС
- 01.3. Анализ функциональной полноты ТС
- 01.4. Анализ внешних связей ТС
- 01.5. Анализ входов и выходов ТС
- 01.6. Выявление принципа действия системы и анализ его пределов
- 01.7. Анализ «эффект — затраты» и степени идеальности ТС
02. Оператор определения конечной цели решения
03. Оператор ориентирующего поиска направлений решения
- 03.1 Предварительное укрупненное расширение поля поиска
- 03.2 Построение дерева целей — средств
04. Оператор выявления противоречия в ТС
05. Оператор разрешения противоречия в ТС
- 05.1. Анализ структуры ТП, оператор отрицания
- 05.2. Анализ ФП
- 05.3. Применение типовых решений
06. Структурно-энергетический оператор
- 06.1. Структурно-энергетическое представление ТС и задачи
- 06.2. Правила построения энергоцепочек
- 06.3. Типовые структурные решения.
07. Оператор функционального синтеза подсистемы
08. Оператор построения модели задачи
09. Оператор построения модели решения
010. Оператор сравнения альтернатив
011. Оператор переноса решений
012. Терминологический оператор
- M1. Массив типовых решений
- M1.1. Принципы идеальности
- M1.2. Типовые формы разрешения противоречий
- M2. Массив физических явлений и эффектов

* * *

07. Оператор функционального синтеза подсистемы

- 7.1. Описать желаемый результат функционирования подсистемы (что должно получиться в результате действия ПС). При этом, исходя из общих ограничений для ТС, указать:
- 1) что (какие средства) ни в коем случае нельзя применять в ПС;
 - 2) что (какие средства) обязательно должно быть использовано в ПС.
- 7.2. Определить:
- 1) что является изделием в данной ПС;
 - 2) является ли ПС «изменительной» или «измерительной»;
 - 3) является ли ПС управляющей и каким процессом (энергопотоком) она должна управлять;
 - 4) задан ли тип энергопотока, управляющего данной ПС, и каков он;
 - 5) в какой области пространства (функциональной зоне) и в какие моменты времени (функциональном времени) должно происходить требуемое действие;
 - 6) какие характерные пространственные или временные ритмы должны быть у элементов ПС или есть у какого-либо элемента, который должен входить в ПС.
- 7.3. Записать формулировку функции ПС и описать требуемые выходы и заданные входы.
- Примечания: 1. Если функция, входы и выходы были описаны при постановке задачи синтеза ПС, уточнить их.
2. При использовании оператора после анализа задачи в «Блоке преобразования ТС» необходимо использовать результаты анализа (результаты выполнения операций П 2.6 и П 3.1.)
- 7.4. Указать предпочтительные виды энергии на выходе (с учетом особенностей использования выхода ПС: для управления другим энергопотоком, для обеспечения хорошей «стыковки» с другой ПС или хорошего восприятия человеком, для уменьшения доли энергопотока, падающего в окружающую среду и т. п.). Указать предпочтительные виды энергии на входе (при этом, если в соседних ПС есть элементы, имеющие пространственно-временную организацию, аналогичную требуемой для ПС, необходимо их использовать для построения основного энергопотока ПС или управления им).
- 7.5. Проверить, нельзя ли выполнить требуемую функцию при заданных ограничениях за счет видоизменения соседних ПС или других ТС, а также за счет использования некоторых элементов окружения.
Если такая возможность очевидна, перейти к п. 7.8, если не очевидна — к п. 7.6.
- 7.6. Наметить возможные варианты минимальных структур ПС, обеспечивающие выполнение заданной функции при заданных ограничениях (требованиях и особенностях ПС, выявленных в п.п. 7.1—7.4). Использовать структурно-энергетический оператор (06), а также массив типовых решений (М1).
- 7.7. Определить физически возможные способы реализации намеченных структур (принципы работы ПС). Использовать массив физических явлений и эффектов (М2). Учесть необходимость обеспечения требуемых количественных показателей ПС.
- Примечания: 1. При необходимости в процессе определения физического принципа работы ПС выполнить корректировку структур, намеченных в п. 7.6.
2. Для п.л. 7.6 и 7.7 применить примечание 2 к п 7.3.
3. Внимание! Прежде, чем вводить в ПС какие-нибудь новые средства, необходимо максимально использовать «способности» элементов (ресурсы), уже имеющиеся в ПС или в ее окружении, видоизменив их в допустимых пределах.
7.8. Описать намеченные варианты ПС на физическом уровне (в том числе и варианты использования видоизмененных соседних ПС или ТС). Изобразить структуры вариантов графически.

* * *

08. Оператор построения модели задачи

- 8.1. Рассмотреть исходную ТС, с учетом природы НЭ, выявить:
1) имеющиеся элементы ПС, которую необходимо достроить или построить. Выделить среди них изделие подсистемы;
2) элементы, связанные с противоречием, породившим НЭ (в том числе, элементы, входящие в узловой компонент). Показать, в какие подсистемы входят эти элементы, выделить среди них изделия этих ПС.
При необходимости использовать оператор предметно-функционального анализа ТС (01).

Примечание: Если ТС состоит из однотипных групп элементов, достаточно взять одну группу.

- 8.2. Рассмотреть возможные состояния исходной ТС и выбрать для дальнейшего преобразования наиболее предпочтительное из них (с учетом ограничений).

Если НЭ в исходной ТС обусловлено противоречием, для каждого линейного ТП необходимо рассмотреть два состояния ТС: «улучшение А — ухудшение Б» и «ухудшение А — улучшение Б».

Примечания: 1. Для ТС с противоречием необходимо наряду с обычными, «компромиссными» состояниями системы обязательно рассмотреть состояния, соответствующие наибольшему обострению ТП, т. е. предельным состоянием узлового компонента (вплоть до наличия — отсутствия УК).

2. Выбираемое состояние ТС, как правило, должно в наибольшей степени соответствовать выполнению ГПФ системы, данной в условиях задачи, и достижению наибольшей эффективности (наибольшей производительности, экономичности, наивысших пределов использования принципа действия ТС или ПС и т. д.).

- 8.3. Выбрать, учитывая ограничения и выбранное состояние системы, одну из следующих типовых моделей задачи:

- а) Дано (указать изделие ПС — см. 8.1.1). Необходимо построить (найти принцип действия) ПС для выполнения функции (указать);
б) Даны (указать элементы ПС — см. 8.1.1). Необходимо достроить ПС (найти принципы действия элементов) для выполнения функции (указать);
в) Даны (указать элементы, связанные с противоречием — см. 8.1.2). Необходимо разрешить ТП (указать).

Если в исходной ТС, описанной в условиях задачи, полностью отсутствует ПС (есть только изделие подсистемы), выбирается модель «а».

Если в условиях задачи дана недостроенная ПС (кроме изделия есть и другие ее элементы), могут быть выбраны модели «б» и «а».

Если в условиях задачи дано противоречие, могут быть выбраны модели «в», «б», «а».

Примечание: Переход от модели «в» к «б» и от «б» к «а» эквивалентен разрушению ПС, связанной с нежелательным эффектом (частичному разрушению при переходе к модели «б» и полному при переходе к модели «а»). Такой переход следует делать в том случае, если безусловно ясна необходимость кардинального изменения принципа действия ТС (ПС) при исходной полной системе (системе с противоречием), а также в случае, если последующий анализ покажет, что выбор моделей «в» или «б» не позволяет получить решение.

* * *

09. Оператор построения модели решения

- 9.1. Сформулировать цель модели решения (МР), которую необходимо достичь для устранения нежелательного эффекта.

Примечание. Если в модели задачи указана необходимость построения или достройки ПС, то в качестве цели МР принимается выполнение функции этой ПС. Если в МЗ указана необходимость разрешения противоречия, то цель МР должна соответствовать выбранному направлению разрешения противоречия.

9.2.

Выделить области пространства, связанные с целью МР:

- зону ПФ (функциональную зону), где должна реализоваться функция ПС, которую надо построить или достроить;
- зону НЭ (конфликтную зону), где реализуется нежелательный эффект связанный с противоречием, которое необходимо разрешить;
- зону ПЭ, где реализуется положительный эффект, связанный с тем же противоречием.

Определить **рабочую зону**, в которой должна быть реализована цель МР:

- при построении (достройке) ПС — зона ПФ;
- при разрешении противоречия — зона НЭ.

9.3.

Из числа элементов, входящих в модель задачи, выделить элементы (части элементов) и их взаимодействия, входящие в рабочую зону. Указать также входящие в рабочую зону элементы окружения системы и внешней среды.

9.4.

Сравнивая выделенные в 9.3 компоненты с целью МР, сделать предварительный выбор элемента модели решения:

- 1) если средство (элемент, часть элемента, взаимодействие элементов) задано в ограничениях, принять его;
- 2) если в ограничениях средство не задано, выбрать наиболее предпочтительное (в частности, которое легко изменять);
- 3) если выбор затруднен, принять в качестве элемента МР рабочую зону.

Примечание: В общем случае выбор инструмента более предпочтителен, чем выбор изделия.

9.5. Уточнить условия, выполнение которых обязательно должен обеспечить элемент МР (должно обеспечиваться в рабочей зоне), в соответствии с таблицей:

Природа НЭ	Выбранный элемент МР		Условия, выполнение которых обязательно должно быть обеспечено (в дополнение к достижению цели МР и выполнению ограничений)
1	2	3	
НЭ является следствием обострения ТП в полной ТС	<p>Элемент (взаимодействие элементов) является частью УК противоречия или совпадает с УК</p> <p>Элемент ТС не является частью УК и не совпадает с ним, элемент окружения</p>	<p>УК исключается из ТС</p> <p>УК сохраняется в ТС</p>	<ul style="list-style-type: none"> — выполнять свою основную функцию, в том числе, сохранить ПЭ, связанный в НЭ <ul style="list-style-type: none"> — выполнять функции УК, в том числе обеспечить сохранение ПЭ — выполнять свою основную функцию <ul style="list-style-type: none"> — не затруднять выполнение функции УК, в том числе обеспечить сохранение ПЭ — выполнять свою основную функцию
НЭ является следствием обострения ТП в полной ТС	Рабочая зона, элемент среды	<p>УК исключается из ТС</p> <p>УК сохраняется в ТС</p>	<ul style="list-style-type: none"> — выполнять функцию УК, в том числе, обеспечить сохранение ПЭ <ul style="list-style-type: none"> — не затруднять выполнение функции УК, в том числе, обеспечить сохранение ПЭ

1	2	3
НЭ является следствием неполноты ТС	<p>Элемент системы, элемент окружения</p> <p>Рабочая зона, элемент среды</p>	<p>— выполнять свою основную функцию</p> <p>— не затруднять выполнение функций имеющимися элементами системы</p>

Примечание: Если при формировании модели задачи был совершен переход от задачи — противоречия (тип «в») к задаче синтеза (типы «б» и «а»), связанной с поиском нового принципа действия ТС (ПС), в число условий, выполнение которых обязательно должно обеспечить элемент МР, необходимо включить устранение (отрицание) тех признаков (особенностей) принципа действия исходной системы (ПС), которые привели к возникновению (и обострению) ТП, указанному в условиях задачи.

- 9.6. Составить формулировку оперативной модели решения:
 В рабочей зоне (указать элемент МР, если он выбран) сам (а, о) обеспечивает (ся) (указать цель МР — п. 9.1), выполняя (указать условия, выполнение которых должно обеспечиваться в рабочей зоне — п. 9.5), не нарушая ограничений и не вызывая других ухудшений.

* * *

0.11. Оператор переноса решений

- 11.1. Выполнить анализ данной задачи. Сформулировать сущность задачи на разных уровнях описания: противоречия, структурная задача, физическая задача (функция), техническая задача.
- 11.2. Выявить аналогичные задачи и их решения. Использовать патентную и техническую литературу.
- 1) Как решаются задачи, близкие к данной?
 2) Как решаются задачи, похожие на данную, в других отраслях?
 В ведущей отрасли техники?
 3) Как решаются задачи, обратные данной? (Решение обратной задачи использовать с «обратным» знаком).
- 11.3. Выполнить анализ аналогичных задач.
 1) В чем сущность аналогичной задачи на разных уровнях описания?
 2) В чем сходство данной и аналогичной задач? Определить уровень описания, на котором наблюдается сходство задач.
 3) В чем отличия данной и аналогичной задач? Выявить наиболее существенные отличия в условиях задач, которые могут повлиять на перенос решений.
- 11.4. Выбрать наиболее близкую аналогичную задачу.
- 11.5. Выполнить анализ и перенос решения.
- 1) Сформулировать сущность решения выбранной аналогичной задачи на разных уровнях описания: принципиальное решение, структурное решение, физическое решение, техническое решение.
- 2) Определить уровень описания, на котором можно переносить решение в соответствии с уровнем сходства задач: противоречие — принципиальное решение; структурная задача — структурное решение; физическая задача (функция) — физическое решение; техническая задача — техническое решение.

- 3) Проверить, допускают ли отличия данной задачи от аналогичной перенос решения аналогичной задачи. При необходимости видоизменить решение.
- 4) Сформулировать полученную идею решения. При необходимости конкретизировать решение до требуемого уровня описания.

П р и м е ч а н и я: 1. Перенос решений необходимо применять в следующих двух случаях:

- когда поиск аналогичной задачи явно не вызывает затруднения;
- когда поиск информации с помощью других операторов и массивов информации не дал результатов.

2. Степень подробности описания аналогичной задачи и ее решения должна соответствовать степени подробности анализа задачи на том этапе (на той операции), на котором применяется перенос решений.

3. Если перенос решения выбранной аналогичной задачи осуществить не удастся, рассмотреть поочередно остальные аналогичные задачи.

* * *

012. Терминологический оператор

- 12.1. При изложении условий задачи устраниТЬ специальные термины:
 - 1) устраниТЬ лишнюю информацию (лишние подробности), не имеющие отношения к сути конфликта и к самым необходимым ограничениям;
 - 2) перейти от специальной (отраслевой) терминологии к общетехнической; если общетехническая терминология ориентирует не на цель (не на действие, которое необходимо выполнить), а на средства достижения цели, заменить общетехнические термины функциональными (ориентированными на действие). Использовать наиболее простые, доступные и «легкомысленные» названия (например, «закрыва́лка», «держа́лка» и т. п.);
 - 3) если функциональные, «легкомысленные» названия продолжают ориентировать на определенное средство, для каждого из таких названий составить список синонимов.
 - 4) В процессе поиска решения использовать названия, полученные после применения рекомендаций п. 12.1. Переходить к первоначальной специальной терминологии рекомендуется только после получения решения.
- 12.2. Составив формулировку оперативной модели решения, переформулировать ее во фразу, в наибольшей степени отражающую идеальность (например, для модели решения на обнаружение: «Видно только то, что нужно обнаружить»).
- 12.3. Разрешая физическое противоречие (ФП), составить формулировки, кратко и символически отражающие возможные формы соединения несовместимых требований, составляющих ФП (например, для ФП «часть объекта должна быть жидкой, чтобы охлаждать, и твердой, чтобы полировать»: «твердая жидкость», «твердый холод», «жидкий полировальник», «жидкая твердость», «холодный полировальник» и т. п.).

Приложение 2

М 2. МАССИВ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ЭФФЕКТОВ

М 2.1. Правила использования массива

- 1.1. Рассмотреть физическую задачу, которую необходимо решить, и структурные преобразования, которые необходимо реализовать, и с помощью списка типовых видов энергии (М 2.2) определить следующие признаки:
 - 1) типовой (ые) вид (ы) энергии (поле) на выходе подсистемы (структурного звена);

- 2) типовой(ые) вид(ы) энергии (поле) на входе подсистемы (структурного звена).

П р и м е ч а н и я: 1. При наличии нескольких выходов и входов необходимо выделить пару вход — выход или один выход, соответствующие основному энерготоку.

2. При поиске физических явлений и эффектов для изменения определенных свойств вещества (механических, электрических, магнитных и др.) или для управления физическими явлениями и эффектами за счет изменения соответствующих свойств вещества необходимо принять на выходе соответствующие составляющие внутренней энергии ($P_{\text{мех.вн}}$, $P_{\text{эл.вн}}$, $P_{\text{магн.вн}}$ и др.).

- 1.2. С помощью таблицы М 2.3 определить номера основных физических явлений и эффектов, не стоящие в скобках, руководствуясь следующими рекомендациями:

- 1) как правило, необходимо начинать с основного энергопотока;
- 2) при отсутствии признака входа рассматривается весь столбец таблицы, соответствующих признаку выхода;
- 3) при наличии признаков входа и выхода рассматривается соответствующая клетка таблицы;
- 4) если клетка таблицы оказывается пустой (то есть физическое явление или эффект, непосредственно преобразующее заданный вход в заданный выход, отсутствует), следует перейти к цепочке явлений или эффектов (цепочки структурных звеньев). Например, по заданному выходу, рассмотрев соответствующий столбец таблицы, определить возможные (промежуточные) поля на входе (которым соответствуют номера явлений и эффектов, не стоящие в скобках), затем найти явления и эффекты, преобразующие заданное поле на входе в выявленные возможные (промежуточные) поля. Аналогичный переход к цепочке явлений или эффектов можно выполнить, начиная с заданного входа.

- 1.3. С помощью таблицы М 2.3 дополнить список основных физических явлений и эффектов номерами управляющих и/или управляемых явлений и эффектов:

- 1) номера управляемых явлений и эффектов расположены в одной строке с номером рассматриваемого явления или эффекта и записаны после рассматриваемого номера в квадратных скобках;
- 2) номера управляющих явлений и эффектов расположены в одном столбце с номером рассматриваемого явления или эффекта и записаны перед квадратными скобками, в которых помещен рассматриваемый номер;
- 3) при необходимости управления за счет изменения свойств вещества — см. примечание 2 к п. 1.1.

П р и м е ч а н и я: 1. Управление любым физическим процессом всегда возможно за счет изменения входа.

2. Эффективное изменение свойств вещества — фазовые превращения (явлений 88, 101, 103).

- 1.4. Рассмотреть сущность выявленных физических явлений и эффектов с помощью списка М 2.4:

- 1) разделить явления и эффекты на взаимосвязанные группы и описать их структуры, обеспечивающие получение заданных выходов (в том числе, преобразование заданных входов в заданные выходы);
- 2) указать все управляющие поля на входе, для чего рассмотреть столбец таблицы, в котором помещен номер рассматриваемого явления или эффекта, выявить строки, в которых рассматриваемый номер помещен в круглые скобки, и определить виды энергий, соответствующие этим строкам;
- 3) указать все возникающие поля на выходе, для чего рассмотреть строку таблицы, в которой помещен номер рассматриваемого явления или эффекта, выявить столбцы, в которых рассматриваемый номер помещен вне скобок, и определить виды энергий, соответствующие этим столбцам;
- 4) при необходимости обратиться к рекомендуемой литературе.

П р и м е ч а н и е: Поскольку список М 2.4 дан в сокращенном варианте, для явлений и эффектов, описание которых дано в «Физическом энциклопедическом

словаре» [33], краткое описание сущности опущено, но за номером «33» в скобках указан номер страницы.

- 1.5. Выбрать предпочтительные физические явления и эффекты с учетом требований ограничений (в том числе с учетом возникающих «вредных» выходов, требуемых количественных показателей и необходимости управления данными явлениями и эффектами).

Причение. Если ни одно из выявленных явлений (или эффектов) не отвечает требованиям ограничений, необходимо перейти к цепочке физических явлений и эффектов (см. п. 1.2.4).

Внимание! Прежде, чем вводить в систему новые физические явления и эффекты (особенно с усложнением структуры), необходимо проверить возможность использования явлений и эффектов, имеющихся («работающих») в системе.

М 2.2. Список типовых видов энергии (полей) и их обозначение

- 2.1. $\Pi_{\text{вн}}$ — внутренняя энергия, то есть энергия физической системы (вещества), зависящая от ее внутреннего состояния. Определяет все свойства системы (вещества).

При рассмотрении системы принимаются во внимание только те составляющие внутренней энергии, которые участвуют в ее функционировании и которые изменяются в рассматриваемых физических явлениях и эффектах. Выделяются следующие типовые составляющие внутренней энергии:

Составляющая внутренней энергии	Обозначение	Примеры свойств, определяемых данной составляющей
Геометрическая	$\Pi_{\text{вн}}^{\Gamma}$	Масса, плотность, объем, форма
Механическая	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{мех}}$	Прочность, упругость, вязкость, поверхностное натяжение, агрегатное состояние
Химическая	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{хим}}$	Химический состав, химическая активность
Тепловая	$\Pi_{\text{вн}}^T$	Теплоемкость, теплопроводность, коэффициенты теплового расширения
Электрическая	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{эл}}$	Электроемкость, электропроводность
Магнитная	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{магн}}$	Намагниченность, магнитная проницаемость
Электромагнитная	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{элм}}$	Оптическая плотность, оптическая анизотропия, радиоактивность, поглощающая и излучающая способность

Причание. Перечень свойств может быть дополнен в соответствии с сущностью составляющей внутренней энергии.

- 2.2. Π_c — механическое силовое поле; часть пространства (ограниченная или нет), в каждой точке которого на помещенную туда материальную частицу, обладающую массой, действует механическая сила; давление на поверхности или в среде.
- 2.3. $\Pi_{\text{кин}}$ — кинетическая энергия макроскопических тел.
- 2.4. $\Pi_{\text{п}}$ — потенциальная энергия макроскопических тел; взаимное расположение этих тел или их частей
- 2.5. $\Pi_{\text{кол}}$ — энергия колебательного процесса макроскопических тел.
- 2.6. Π_t — тепловая энергия макроскопических тел.
- 2.7. $\Pi_{\text{элст}}$ — электрическое поле неподвижных электрических зарядов, осуществляющее взаимодействие между ними.
- 2.8. $\Pi_{\text{эл}}$ — энергия направленного потока электрически заряженных микро- или макроскопических тел.

2.9. Π_m — энергия магнитного поля.2.10. $\Pi_{элм}$ — энергия электромагнитного поля.2.11. $\Pi_{элч}$ — энергия потока элементарных частиц.

М 2.3. Таблица физических явлений и эффектов

1	Виды энергии на выходе		
	$\Pi_{вн}^r$	$\Pi_{вн}^{мех}$	$\Pi_{вн}^{хим}$
$\Pi_{вн}^r$	3, (19), 20[19], (21), (28), 72[71], 74, (88)	(19), 20[19], (21), (28), 72[71], 74	(19), 20[19], 72[71], (84)
$\Pi_{вн}^{мех}$	4, (19), 20[19], (21), (38), (65), 74, 78, 83, (101), (183)	4, (19), 20[19], (21), (38), 74, (101), (147), 155, 183	(19), 20[19], (65), (84)
$\Pi_{вн}^{хим}$	9[8], (21), 23[21], 25[21], 39, 71, (83), 88, 94, (101), 159	(21), 23[21], 25[21], 71, 88, 94, (101)	71, 79, 84, 159, 236, 242, (250)
$\Pi_{вн}^t$	(83), (88), 93, (94), 99, 100, 101	(88), 93, (94), 100, 101, 102, 103	(84), (250)
$\Pi_{вн}^{эл}$	148, 149, 159, 173	102, 139, 148, 149, 173, 223	81[79], (84), 159
$\Pi_{вн}^{магн}$	42[38], 100, 173, 183, 184	42[38], 100, 173, 183, 184	
$\Pi_{вн}^{элм}$	71	71	71, 242
$\Pi_{кин}$	8, 19, 21, 27, 28, 33	19, 21, 27, 28, 155,	19
Π_c	(3), (21), 25[21], (28), 37, 38, 39, 40, (65), (88), (101)	(21), 25[21], (28), 38, 41, (88), (101)	(65), (79), (84)
Π_p	(19), 21, (28), 33, (48), 78, (93), (94), (148), (149), 159	(19), 21, (28), (93), (94), 155	(19), 159
$\Pi_{кол}$	22[21], 65	22[21]	65
Π_t	(3), 24[21], (83), 88, 93, 94, 99, 100, 101	24[21], 88, 93, 94, 100, 101, 103	(79), (84), (250)
$\Pi_{элст}$	77[83], 148, 149	77, 147, 148, 149, 155	80[79], (84)

Продолжение табл.

1	Виды энергии на выходе		
	$\Pi_{\text{вн}}^{\Gamma}$	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{мех}}$	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{хим}}$
Виды энергии на входе	$\Pi_{\text{эл}}$	116, 159, 173	116, 139, 173
	$\Pi_{\text{магн}}$	173, 183, 184	173, 183, 184
	$\Pi_{\text{элм}}$	213, 226	213, 223, 226
	$\Pi_{\text{элч}}$	25[21], 249	25[21], 249

Продолжение таблицы

2	Виды энергии на выходе	
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{T}}$	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{эл}}$
Виды энергии на входе	$\Pi_{\text{вн}}^{\Gamma}$	(19), 20[19], (21), 34, 35, 36, (63), (64), 72[71], (89), (91) 43, 44, 45, 47, (109), (141), 142, (220)
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{мех}}$	(19), 20[19], (21), 35, 36, (63), (64), (90), (91), (92), (101) 43, 47, (65), (101), (109), (141), 142, (220)
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{хим}}$	9[8], (21), 25[21], (63), (64), 71, 79, 85, 88, (91), (101), 134 44, 71, 82, 88, 97, (101), (104), (105), (109), (144), (185), 233
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{T}}$	(63), (88), 89, 90, 91, 92, 101, 103, 135, (174), 180, 186 (88), 97, 101, 103, 104, 105, 113, (141), 142, (177), 179, (185), (188)
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{эл}}$	69, 81[79], (85), (130), 134, 135, 150, 158, 178, 180, 186, 241[222] 43, 44, 47, 68, 69, 82, 97, 104, 105, 109, 110, 113, 115, 141, 142, 143, 144, 177, 179, 185, 188, 217, 218, 220, 225, 230, 231, 233
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{магн}}$	70[63], 174, 175, 228[222], 229[222] (113), 181
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{элм}}$	71, (92), (222), 238[222] 71, (141)
	$\Pi_{\text{кин}}$	8, 19, 21, 33, 34, 35, 90 44, 45, 46

Продолжение таблицы

2	Виды энергии на выходе	
	$\Pi_{\text{вн}}^T$	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{ЭЛ}}$
Виды энергии на входе	Π_c	(21), 25[21], 34, 36, (64), (79), (85), (88), (90), (91), (101) 43, 44, 45, 47, (65), (82), (88), (101), (113), (141), 142, 220
	Π_p	(19), 21, 33, 34, 90, 134 44, 45, 97, 109, 110, 115, 142, 233
	$\Pi_{\text{кол}}$	22[21], 63, 64, 69 65, 68, 69
	Π_t	24[21], (63), (79), 88, 89, 90, 91, 92, 101, 103, (174) (82), 88, 97, 101, 103, 104, 105, 113, (141), 142, (177), (185), (188)
	$\Pi_{\text{элст}}$	80[79], (85), 150, 158, 241[222] (141), 142, 143, 144
	$\Pi_{\theta L}$	130, 134, 135, 178, 186 115, 142, 177, 185
	$\Pi_{\text{магн}}$	70[63], 174, 175, 178, 180, 186, 228[222] (113), (141), 177, 179, 181, 185, 188, 217
	$\Pi_{\text{элм}}$	81[79], 89, 92, 222, 226, 239[222] (141), 142, 217, 218, 220, 225, 230, 231, 233
	$\Pi_{\text{эмч}}$	25[21] (141), 142

Продолжение табл.

3	Виды энергии на выходе		
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{магн}}$	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{ЭЛМ}}$	$\Pi_{\text{кин}}$
Виды энергии на входе	$\Pi_{\text{вн}}^T$	48, 49, (166)	51 (10), (12), (13), (14), (18), (19), 20[19], 21, 72[71], 73, (128), (153)
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{мех}}$	48, 49, (101), 164[163]	51, (101), (183) 4, (18), (19), (21), 73, 78, (90)
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{хим}}$	71, 88, (101), (166), (182)	71, 87, 88, (101), 242 9[8, 18], (21), 25[21], 71, 94

Продолжение табл.

3	Виды энергии на выходе		
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{магн}}$	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{элм}}$	$\Pi_{\text{кин}}$
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{т}}$	(88), 100, 101, 103, 164[163], (171), (182), (189)	(88), 101, 106, (196)	75[73], 76[73], (90), (94)
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{эл}}$	(171), 189	157	128, 129, 146, 153, 167, 172
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{магн}}$	48, 49, 50, 100, 151, 171, 182, 189, (221)	183	168, 176
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{элм}}$	71	51, 52, 71, (154), 156, 157, 160, 161, 190, 195, 196, 232, 237, 242, 246	71
$\Pi_{\text{кин}}$	50	52	7, 8, 10, 11, 12, 13, 18, 19, 21, 31, 33, (90), 153, 172
$\Pi_{\text{с}}$	48, 49, (88), (101), 164[163]	51, (88), (101)	3[2], (13), 14, (21), 25[21], (31), 37, (90)
			(10), (11), (18), (19), 21, 33, 78, (94), (128), 129, (146), (168)
$\Pi_{\text{кол}}$			22[21], 75[73]
$\Pi_{\text{т}}$	88, 100, 101, 103, 164[163], (189)	88, 101, 106, (196)	3[2], 24[21], 75[73], 76[73], 90, 94
$\Pi_{\text{элст}}$	151	152, 154, 156, 157, 160, 161	128, 129, 137, 138, 153, 172
$\Pi_{\text{эл}}$			146, 167
$\Pi_{\text{магн}}$	163, 164[163], 166, 171, 182, 189	183, 187, 190, 237	167, 168, 172, 176
$\Pi_{\text{элм}}$	221	195, 196, (206), 232, 234, 237	214, 215
$\Pi_{\text{элч}}$		246	25[21]

Продолжение таблицы

4	Виды энергии на выходе	
	Π_c	Π_{Π}
Виды энергии на входе	$\Pi_{\text{вн}}^{\Gamma}$	1, 2, (18), (19), 20[19], (21), 26, (28), 29, (67), 72[71], 74, 88, 96, (128), (153), 219
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{мех}}$	4, (18), (19), 20[19], (21), (65), 74, 95
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{хим}}$	9[8, 18], (21), 24[21], 25[21], 71, 84, 87, 88, 94, (219)
	$\Pi_{\text{вн}}^T$	24[21], (88), 93, (94), 95, 96, 100
	$\Pi_{\text{вн}}^{9\text{л}}$	(84), 128, 129, 146, 148, 149, 153, 167, 172, 173
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{магн}}$	100, 168, 173, 176, 184
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{элм}}$	71
	$\Pi_{\text{кин}}$	8, 18, 19, 21, 26, 27, 28, 29, (32), 33, 153, 172
	Π_c	3[2], 5, 6, (21), (28), (65), (88)
	Π_{Π}	(1), 2, (4), (18), (19), 21, 26, (28), 29, 32, 33, (67), (93), (94), 95, 100, (128), 129, (146), (148), (149), (168), (173), (184), (249)
	$\Pi_{\text{кол}}$	22[21], 65, 67
	Π_T	3[2], 24[21], 88, 93, 94, 95, 96, 100
	$\Pi_{\text{элст}}$	(84), 128, 129, 148, 149, 153, 172
	$\Pi_{\text{эл}}$	116, 146, 167, 173
	$\Pi_{\text{магн}}$	167, 168, 172, 173, 176, 184
	$\Pi_{\text{элм}}$	213, 214, 215, 219, 226
	$\Pi_{\text{элч}}$	25[21], 249
		25[21]

Продолжение таблицы

5	Виды энергии на выходе	
	$\Pi_{\text{кол}}$	Π_T
$\Pi_{\text{вн}}^T$	(16), (19), 20[19], (21), (28), 30, (54), 57[15], 59[56], (61), 62[56], (64), 72[71], 201[56, 60], 205[56, 60], 219	(19), 20[19], (21), 34, 35, 36, (63), (64), 72[71], (89), (91)
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{мех}}$	4, 16, 17, (19), (21), (54), (56), 57[15], 59[56], (60), (61), 62[56], (64), 205[56, 60]	(19), (21), 35, 36, (63), (64), (90), (91), (92)
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{хим}}$	(21), 25[21], (64), 71, (219)	9[8], (21), 25[21], (63), (64), 71, 79, 85, 88, (91), 134
$\Pi_{\text{вн}}^T$		(63), (88), 89, 90, 91, 92, 135, (174), 180
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{эл}}$	58[56], 66[15, 16, 54], 146	81[79], (85), 121, (130), 134, 135, 150, 158, 178, 180, 241[222]
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{магн}}$	70[56]	70[63], 121, 174, 175, 228[222], 229[222]
$\Pi_{\text{вн}}^{\text{элм}}$	71	71, (92), (222), 238[222]
$\Pi_{\text{кин}}$	19, 21, 27, 28, 30, 54, 197[56, 60], 226	8, 19, 21, 33, 34, 35, 90
Π_c	15, 16, 17, (21), 25[21], (28), 57[15], (64)	(21), 25[21], 34, 36, (64), (79), (85), (88), (90), (91)
$\Pi_{\text{п}}$	(19), 21, (28), 54, 59[56], (61), 62[56], 66[15, 16, 64], (146), 205[56, 60], 201[56, 60]	(19), 21, 33, 34, 90, 134
$\Pi_{\text{кол}}$	22[21], 55, 56, 57[15], 60, 61, 62[56], 64, 203[56, 60], 204[56, 60]	22[21], 63, 64
Π_T	24[21]	24[21], (63), (79), (88), 89, 90, 91, 92, (174)
$\Pi_{\text{элст}}$	58[56]	80[79], (85), 150, 158, 241[222]
$\Pi_{\text{эл}}$	66[15, 16, 54], 116, 146	121, 130, 134, 135, 178

Продолжение табл.

5	Виды энергии на выходе	
	$\Pi_{\text{кол}}$	Π_T
Виды энергии на входе	$\Pi_{\text{магн}}$	66[15, 16, 54], 70[56] 70[63], 121, 174, 175, 178, 180, 228[222]
	$\Pi_{\text{элм}}$	213, 219, 226 81[79], 89, 92, 213, 222, 226, 239[222]
	$\Pi_{\text{элч}}$	25[21] 25[21]

Продолжение таблицы

6	Виды энергии на выходе		
	$\Pi_{\text{элст}}$	$\Pi_{\text{эл}}$	$\Pi_{\text{магн}}$
Виды энергии на входе	$\Pi_{\text{вн}}^{\Gamma}$	43, 44, 45, (107), (108), (109), (141), (220) (111), (114), (140), (165)	48, 49, (162), (166)
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{мех}}$	43, (109), (141), (220) (111), (140)	48, 49, 164[163]
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{хим}}$	44, 71, 97, (109), 233 71, 97, (111), (140), (165)	71, (166)
	$\Pi_{\text{вн}}^T$	97, (141), (177), 179 97, (111)	164[163], (171)
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{эл}}$	43, 44, 68, 97, 107, 108, 109, 110, 141, 169, 170, 177, 179, 217, 218, 220, 225, 233 68, 97, 111, 112, 117, 118, 119, 120[118], 121[117], 133, 140, (165), 169, 170	131, 132, (171)
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{магн}}$	181 117, 118, 119, 120[118], 121[117]	48, 49, 50, 162, 171, 221
	$\Pi_{\text{вн}}^{\text{элм}}$	71, (141) 71	71
	$\Pi_{\text{кин}}$	44, 45, 46, 169 112, 165, 169	50, 132
	Π_c	43, 44, 45, (108), (141), 220 (140)	48, 49, 164[163]

Продолжение табл.

6	Виды энергии на выходе			
	$\Pi_{элст}$	$\Pi_{эл}$	$\Pi_{магн}$	
Виды энергии на входе	Π_{Π}	44, 45, 97, 109, 110, 115, 233	97, 115, 165	
	$\Pi_{кол}$	68	68	
	Π_T	97, (141), (177)	97, (111)	164[163]
	$\Pi_{элст}$	(141)	111, 133, 140	132
	$\Pi_{эл}$	115, 177	114, 115, (117), 118, 119, 120[118], (140)	131
	$\Pi_{магн}$	(141), 169, 170, 177, 179, 181, 217	(117), 118, 119, 120[118], 165, 169, 170	163, 164[163], 166, 171
	$\Pi_{элм}$	(141), 217, 218, 220, 225, 233	235	221
	$\Pi_{элч}$	(141)		

Продолжение таблицы

7	Виды энергии на выходе	
	$\Pi_{элм}$	$\Pi_{элч}$
Виды энергии на входе	$\Pi_{вн}^Г$	(28), 53, (145), 201[192], 205[192], 212[192], 227[192]
	$\Pi_{вн}^{мех}$	53, (65), 207[192], 224[53, 86, 127, 195, 247]
	$\Pi_{вн}^{хим}$	71, 86, 224[53, 86, 127, 195, 247], 242, 71, 242, 248[98, 136, 248[98, 136, 216, 244]]
	$\Pi_{вн}^T$	98, 145, (191), (196), 224[53, 86, 127, 195, 247]
	$\Pi_{вн}^{эл}$	122, 123, 124, 125, 126, 136, 145, 248[98, 136, 216, 244]
	$\Pi_{вн}^{магн}$	210[192]

7	Виды энергии на выходе	
	$\Pi_{\text{элм}}$	$\Pi_{\text{элч}}$
$\Pi_{\text{вн}}$	71, 101, (192), 193, 194[192], 195, 196, 198[192], 199[192], 205[192], 206[192], 208[192], 209[192], 211[192], 212[192], 242, 243	71, 242, 243, 246
$\Pi_{\text{кин}}$	28, 122, 197[192]	
$\Pi_{\text{с}}$	(28), 53, (65), 224[53, 86, 127, 195, 247]	
$\Pi_{\text{п}}$	28, (145), 200[192], 201[192], 205[192], 209[192], 212[192]	
$\Pi_{\text{кол}}$	65, 202[192], 207[192]	
$\Pi_{\text{т}}$	98, (191), (196), 224[53, 86, 127, 195, 247]	98
$\Pi_{\text{элст}}$	122, 126, 127, 136, 224[53, 86, 127, 195, 247], 245[98, 216, 244]	136, 245[98, 216, 244]
$\Pi_{\text{эл}}$	123, 145	
$\Pi_{\text{магн}}$	125, 126, 210[192], 240[192]	
$\Pi_{\text{элм}}$	192, 193, 195, 196, 203[192], 204[192], 213, 216, 224[53, 86, 127, 195, 247]	216, 234
$\Pi_{\text{элч}}$	124, 125, 126, 244, 247	244, 246

М 2.4. Список физических явлений и эффектов

Номер, наименование и краткая сущность	Номер в списке л-ры * (стр.)	Номер, наименование и краткая сущность	Номер в списке л-ры * (стр.)
1	2	1	2
1. Гравитация	33 (772)	6. Закон Паскаля	33 (523)
2. Закон Архимеда	33 (33)	7. Ламинарное течение	33 (343)
3. Баротропное явление	33 (49)	8. Турублентное течение	33 (769)
4. Упругость	33 (789)		
5. III закон Ньютона	33 (473)		

* см. примечание к п. 1.4 М2.1,

1	2	1	2
9. Эффект Томса. Снижение трения между турбулентным потоком и стенкой при введении в поток полимерной добавки	25	24. Эффект Джонсона — Рабека. Нагрев трущихся поверхностей металла — полупроводник увеличивает силу трения	40
10. Эффект Коанда. Отклонение струи жидкости, вытекающей из сопла, по направлению к стенке. Иногда наблюдается «прилипание» жидкости	34	25. Аномально низкое трение. Для некоторых веществ сильнее облучение одной из трущихся поверхностей ускоренными частицами приводит к резкому снижению коэффициента трения. Процесс должен производиться в вакууме	40
11. Эффект воронки. Образование устойчивого водоворота при сливе жидкости ниже определенного уровня	17	26. Эффект Магнуса	33 (387)
12. Закон сохранения импульса	33 (701)	27. Гидравлический удар	33 (117)
13. I закон Ньютона	33 (473)	28. Гидродинамическая кавитация	33 (236)
14. II закон Ньютона	33 (473)	29. Дросселирование	33 (185)
15. Вынужденные механические колебания	33 (96)	30. Газоструйное и гидродинамическое излучение звука	33 (206)
16. Автоколебания	33 (9)	31. Гирроскопический эффект	33 (125)
17. Волны на поверхности жидкости	33 (89)	32. Закон Бернулли	33 (50)
18. Аэро- и гидродинамическое сопротивление	33 (47, 119)	33. Скачок уплотнения	33 (690)
19. Ударные взаимодействия	33 (777)	34. Эффект Джоуля — Томсона	33 (154)
20. Эффект Александрова. С ростом соотношения масс упруго соударяющихся тел коэффициент передачи энергии растет только до критического значения, определяемого свойствами и конфигурацией тел	16	35. Механокалорический эффект	33 (417)
21. Трение	33 (765)	36. Внутреннее трение	33 (79)
22. Замена трения покоя трением движения. При колебании трущихся поверхностей сила трения уменьшается	40	37. Текучесть	33 (740)
23. Эффект беззносности. Пара сталь — бронза с глицериновой смазкой практически не изнашивается	24	38. Деформация	33 (152)
		39. Эффект Пойнтинга. Упругое удлинение и увеличение в объеме стальных и медных проволок при их закручивании	35
		40. Закон Бойля — Мариotta	33 (55)
		41. Эффект Баушингера. Понижение сопротивления начальным пластическим деформациям при перемене знака нагрузки	28
		42. Механострикция	33 (417)
		43. Пьезоэлектричество	33 (599)
		44. Трибоэлектричество	33 (768)
		45. Потенциал течения	33 (871)
		46. Седиментационный потенциал	33 (871)

1	2	1	2
47. Тензорезистивный эффект	33 (744)	70. Акустический paramagnитный и ядерный magnитный резонанс	33 (15)
48. Пьезомагнетизм	33 (597)	71. Взрыв	33 (73)
49. Эффект Виллари	33 (76)	72. Кумулятивный эффект	33 (335)
50. Эффект Барнетта	33 (48)	73. Капиллярность	33 (242)
51. Фотоупругость	33 (827)	74. Капиллярная контракция	33 (243)
52. Оптическая анизотропия в потоке жидкости	33 (495)	75. Ультразвуковой капиллярный эффект. Увеличение скорости и высоты подъема жидкости в капиллярах под действием ультразвука. Возрастает с ростом температуры	36
53. Триболюминесценция	33 (767)	76. Термокапиллярный эффект. Зависимость скорости растекания жидкости от неравномерности нагрева ее слоя	26, 34
54. Свободные механические колебания	33 (671)	77. Электрокапиллярный эффект. Зависимость поверхностного натяжения на границе раздела электродов с растворами электролитов или ионными расплавами от электрического потенциала	26
55. Излучение звука	33 (206)	78. Смачивание	33 (696)
56. Упругие волны	33 (787)	79. Сорбция	33 (701)
57. Резонансные механические колебания	33 (629)	80. Адсорбционный эффект электрического поля. Зависимость адсорбционной способности от величины электрического поля	34
58. Усиление ультразвука	33 (791)	81. Фотадсорбционный эффект. Зависимость адсорбционной способности адсорбента — полупроводника от освещения	34
59. Реверберация	33 (627)	82. Влияние адсорбции на электропроводность. Электропроводность полупроводников монотонно изменяется по мере хода адсорбции, пока не достигнет некоторого предела	29
60. Распространение поверхностных волн	33 (89)		
61. Качка. Колебательное движение тел, находящихся в поле действия поверхностных волн. Амплитуда и частота зависят от геометрических характеристик тела, положения относительно направления распространения волн и от характера самой волны	32		
62. Рассеяние звука	33 (621)		
63. Поглощение звука	33 (554)		
64. Затухание механических колебаний	33 (196)		
65. Акустическая кавитация	33 (237)		
66. Тормоз без трения покоя. Колеблющаяся между полюсами электромагнита тяжелая металлическая пластина «увязает» при включении постоянного тока и останавливается	20		
67. Давление звукового излучения	33 (142)		
68. Акустоэлектрический эффект	33 (16)		
69. Акустоэлектронное взаимодействие	33 (17)		

1	2	1	2
83. Поверхностное натяжение	33 (551)	108. Электреты	33 (862)
84. Диффузия	33 (174)	109. Контактная разность потенциалов	33 (309)
85. Эффект Дюфура	33 (186)	110. Вентилярный эффект	33 (882)
86 Хемилюминесценция	33 (837)	111. Электрический ток проводимости	33 (864)
87. Цеолиты. Вещества, меняющие цвет в присутствии паров воды. Используются как адсорбенты и способны создавать разряжение в сосудах	18	112. Конвекционный электрический ток	33 (864)
88. Конденсация и затвердевание	33 (308, 800)	113. Сверхпроводимость	33 (657)
89. Теплообмен	33 (747)	114. Электрический скин-эффект	33 (690)
90. Конвекция	33 (307)	115. Взаимная индукция	33 (220)
91. Теплопроводность	33 (748)	116. Эффект Юткина. Гидравлический удар, вызываемый импульсным электрическим разрядом	39
92. Чистый теплообмен	33 (353)	117. Свободные электрические колебания	33 (671, 863)
93. Тепловое расширение	33 (746)	118. Вынужденные электрические колебания	33 (9, 863)
94. Эффект памяти формы. Деформированные с помощью механических сил детали из некоторых материалов после нагрева в точности восстанавливают свою форму	23	119. Автоколебания в электрических цепях	33 (96, 863)
95. Радиометрический эффект	33 (609)	120. Резонансные колебания в электрических цепях	33 (629, 863)
96. II закон Гей—Люсака	33 (111)	121. Затухание колебаний в электрических цепях	33 (196, 863)
97. Эффект Зеебека	33 (199)	122. Излучение движущегося заряда	33 (206)
98. Термоэлектронная эмиссия	33 (757)	123. Излучение проводника с током	33 (206)
99. I закон Гей—Люсака	33 (111)	124. Излучение Черенкова — Вавилова	33 (850)
100. Термострекция	33 (385)	125. Синхротронное излучение	33 (688)
101. Испарение и плавление	33 (235, 535)	126. Ондукторное излучение	33 (487)
102. Связь деформации с электропроводностью. При переходе металла в сверхпроводящее состояние его пластичность повышается	22	127. Электролюминисценция	33 (871)
103. Фазовые переходы II рода	33 (801)	128. Взаимодействие электрически заряженных тел	33 (334)
104. Тепловой пробой диэлектриков	33 (177)	129. Втягивание диэлектрика. При частичном введении диэлектрика между обкладками конденсатора наблюдается его втягивание	30
105. Эффект Кондо	33 (309)	130. Закон Джоуля — Ленца	33 (154)
106. Влияние температуры на жидкие кристаллы	33 (189)	131. Возникновение магнитного поля вокруг проводника с током	33 (369)
107. Электростатическое поле	33 (895)		

1	2	1	2
132. Возникновение магнитного поля вокруг движущегося электрически заряженного тела	33 (369)	сти при протекании между обкладками конденсатора	
133. Эффект Ганна	33 (109)	156. Эффект Керра	33 (280)
134. Эффект Пельтье	33 (523)	157. Эффект Франца — Келдыша	33 (832)
135. Эффект Томсона	33 (762)	158. Дизлектирик в переменном электрическом поле	33 (178)
136. Автоэлектронная эмиссия	33 (881)	159. Электролиз	33 (871)
137. Электроосмос	33 (871)	160. Эффект Штарка	33 (857)
138. Электрофорез	33 (871)	161. Электротропияция	33 (867)
139. Электропластический эффект. Увеличение пластичности и уменьшение хрупкости металла под действием постоянного тока высокой плотности или импульсного тока	31	162. Постоянные магниты	33 (361)
140. Электрические разряды в газах	33 (863)	163. Намагничивание	33 (444)
141. Поляризация диэлектриков	33 (177)	164. Эффект Баркгаузена	33 (48)
142. Ионизация	33 (229)	165. Вихревые токи	33 (79)
143. Электростатическая индукция	33 (894)	166. Магнитный скин-эффект	33 (690)
144. Электрический пробой диэлектриков	33 (177)	167. Проводник с током в магнитном поле	33 (369)
145. Эффект Джозефсона	33 (153)	168. Взаимодействие веществ с магнитным полем	33 (517)
146. Взаимодействие проводника с током	33 (220)	169. Проводник, движущийся в магнитном поле	33 (872)
147. Электрореологический эффект. Быстрое обратимое повышение вязкости неводных дисперсных систем в сильных электрических полях	38	170. Электромагнитная индукция	33 (872)
148. Электроstriction	33 (895)	171. Эффект Мейснера	33 (405)
149. Обратный пьезоэффект	33 (598)	172. Сила Лоренца	33 (351)
150. Электрокалорический эффект	33 (871)	173. Эффект Видемана	33 (75)
151. Магнетоэлектрический эффект	33 (361)	174. Магнетокалорический эффект	33 (360)
152. Жидкие кристаллы в электрическом поле	33 (189)	175. Магнитное охлаждение	33 (368)
153. Взаимодействие движущихся зарядов	33 (351)	176. Эффект Эйнштейна и де Хааза	33 (860)
154. Эффект Поккельса	33 (560)	177. Эффект Холла	33 (839)
155. Вязкоэлектрический эффект. Увеличение вязкости полярной непроводящей жидкости	34, 40	178. Эффект Эттингсхаузена	33 (907)
		179. Эффект Нернста — Эттингсхаузена	33 (466)
		180. Эффект Ригги — Ледюка	33 (649)
		181. Обратный магнитоэлектрический эффект	33 (361)
		182. Суперпарамагнетизм	33 (731)
		183. Жидкости, твердеющие в магнитном поле. Вязкие жидкости (масла) в смеси с ферромагнитными частицами твердеют в магнитном поле. Тонкие пленки жидкости при этом станов-	37

1	2	1	2
вятся непрозрачными		216. Фотоэлектронная эмисия	33 (830)
184. Магнитострикция	33 (384)	217. Эффект Кикоина — Носкова	33 (281)
185. Магниторезистивный эффект	33 (383)	218. Эффект Дембера	33 (148)
186. Эффект Маджи — Ригги — Ледюка	33 (388)	219. Оптико-акустический эффект. Возникновение пульсации давления в газе, находящемся в замкнутом объеме, под действием инфракрасного облучения. Зависит от состава газа и его влажности	21
187. Эффект Зеемана	33 (199)		
188. Эффект Шубникова — де Хааза	33 (858)	220. Фотопьезоэлектрический эффект	33 (827)
189. Эффект де Хааза-ван Альфена	33 (153)	221. Обратный эффект Фарадея	33 (383)
190. Эффект Коттона — Мутона	33 (317)	222. Поглощение электромагнитных волн	33 (554)
191. Тепловое излучение	33 (745)	223. Фотопластический эффект. Изменение сопротивления пластической деформации кристаллов полупроводников под действием света	27
192. Электромагнитные волны	33 (874)	224. Тушение люминисценции	33 (771)
193. Вынужденное излучение	33 (96)	225. Фотовольтаический эффект	33 (828)
194. Усиление электромагнитных волн	33 (337)	226. Фототермоакустический эффект	33 (823)
195. Фотолюминисценция	33 (824)	227. Рассеяние света	33 (623)
196. Эффект Мессбауэра	33 (407)	228. Магнитный резонанс	33 (378)
197. Эффект Доплера	33 (183)	229. Эффект Оверхаузера	33 (483)
198. Поляризация света	33 (575)	230. Фотодиэлектрический эффект	33 (823)
199. Хроматическая поляризация	33 (840)	231. Фотопроводимость	33 (827)
200. Закон Молюса	33 (391)	232. Фотохромизм	33 (827)
201. Дифракция волн	33 (170)	233. Вентильная фотоэлс	33 (828)
202. Акустооптическая дифракция	33 (173)	234. Фоторождение частиц	33 (827)
203. Интерференция волн	33 (223)	235. Эффект увеличения	33 (776)
204. Стоячие волны	33 (726)	236. Фотохимические явления. Реакция химических превращений веществ под действием света	17
205. Отражение и преломление волн	33 (512, 583)	237. Эффект Фарадея	33 (802)
206. Дисперсия света	33 (167)	238. Эффект Коттона	33 (316)
207. Рассеяние Мандельштамма — Бриллюэна	33 (391)	239. Эффект просветления	33 (591)
208. Двойное лучепреломление	33 (144)	240. Эффект Ханле	33 (836)
209. Полное внутреннее отражение	33 (562)	241. Паразелектрический резонанс	33 (521)
210. Магнитооптический эффект Керра	33 (280)		
211. Самофокусировка света	33 (653)		
212. Просветление оптики	33 (590)		
213. Светогидравлический удар, Гидравлический удар, вызываемый лучом квантового генератора. Сопровождается выделением тепла и света	34		
214. Световое давление	33 (665)		
215. Эффект Садовского	33 (651)		

1	2	1	2
242. Радиоактивность	33 (605)	адсорбции, от приро-	
243. Туннельный эффект	33 (769)	ды адсорбируемого	
244. Вторичная электрон-	33 (94,	газа, т. е. от знака	
ная и ионно-элект-	231)	заряда на поверхно-	
ронная эмиссия		сти	
245. Эффект Шотки	33 (855)	249. Явление нейтронного	34
246. Рассеяние микрочас-	33 (622)	распухания. Увеличе-	
тиц		ние объема различ-	
247. Радиолюминесценция	33 (609)	ных веществ при	
248. Адсорбционная эмис-	19	очень сильном их об-	
сия. Зависимость ра-		лучении быстрыми	
боты выхода электро-		нейтронами	
рона от интенсивности		250. Ионное внедрение	
			33 (231)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Автоматизация поискового конструирования/Под ред. А. И. Половинкина, М.: Радио и связь, 1981
2. Александр Александрович Любичев. 1890—1972./Под ред. П. Г. Светлова. Л.: Наука, 1982
3. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973
4. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Советское радио, 1979
5. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Новосибирск: Наука, 1986
6. Буш Г. Я. Методические основы научного управления изобретательством. Рига: Лиесма, 1974
7. Джонс Дж. К. Инженерное и художественное конструирование: Пер. с англ. М.: Мир, 1976
8. Джонс Дж. К. Методы проектирования: Пер. с англ. М.: Мир, 1986
9. Голдовский Б. И., Вайнерман М. И. Рациональное творчество. М.: Речной транспорт, 1990
10. Комплексный метод поиска новых технических решений: в 3-х частях/ Вайнерман М. И., Голдовский Б. И. и др. Горький: 1979, 1980
11. Методы поиска новых технических решений./Под ред. А. И. Половинкина. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1976.
12. Моисеева Н. К., Карпунин М. Г. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа: Учеб. пособие для техн. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1988
13. Нить в лабиринте/Сост. А. Б. Селицкий. Петрозаводск: Карелия, 1988
14. Половинкин А. И. Инженерное творчество: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Машиностроение, 1988
Литература к массиву физических явлений и эффектов
15. Александров Е. А./ЖТФ. Вып. 3, № 4, 1954
16. Альтшулер А. и др. Вихревые воронки//Наука и жизнь, № 7, 1968.
17. Борн М. Атомная физика. М.: Мир, 1965
18. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976

19. Ворончев Т. А., Соболев В. Д. Физические основы электровакуумной техники. М.: Высшая школа, 1967
20. Говорков В. А. Электрические и магнитные поля. М.: Энергия, 1968
21. Горелик Д. О., Сахаров Б. Б. Оптико-акустический эффект в физико-химических измерениях. М.: Изд-во комитета стандартов, 1969
22. Каганов М. И., Нацик В. Д. Электроны тормозят дислокацию//Природа, №№ 5, 6, 1976
23. Корнилов И. И. и др. Никелид титана и другие сплавы с эффектом «памяти». М.: Наука, 1977
24. Крагельский И. В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968
25. Лодж Л. Эластичные жидкости. М.: Наука, 1969
26. Оно С. Кондо. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях. М.: Иностранная литература, 1963
27. Осипьян Ю., Савченко И./Письма в ЖТФ. Вып. 7, № 4, 1968
28. Ратнер С. И., Данилов Ю. С. Изменение пределов пропорциональности и текучести при повторном нагружении//Заводская лаборатория, № 4, 1950
29. Ребиндер П. А. Поверхностно-активные вещества. М.: Знание, 1961
30. Сильные электрические поля в технологических процессах. М.: Энергия, 1969
31. Спицин В. И., Троицкий О. А. Электропластическая деформация металла// Природа, № 7, 1977
32. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 2/Под ред. Я. И. Вольтунского. Л. Судостроение, 1985
33. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983
34. Физический энциклопедический словарь: В пяти томах. М.: Советская энциклопедия, 1960—1966
35. Ходж Ф. Теория идеально пластичных тел. М.: Иностранная литература, 1956
36. Хорбенко И. Г. Звук, ультразвук, инфразвук. М.: Знание, 1978
37. Шлиомис М. И. Магнитные жидкости//Успехи физических наук, т. 112, вып. 3, 1974
38. Шульман З. П. и др. Электрореологический эффект. Минск: Наука и техника, 1972
39. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект. М.: Машгиз, 1955
40. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М.: Наука, 1977

УДК 658.512.2

Методы анализа проблем и поиска решений в технике.

Серия методических пособий

Разрабатывается и издается по инициативе и при участии
научно-технического кооператива «Метод»

Редакционная коллегия:

Вайнерман М И , Глазунов В. Н., Голдовский Б. И., Джурко В. А., Грачев С. Н.,
Кудрявцев А. В , Овчинников Е. А., Светлов Н. М , Титов В В., Уварова В. Е.

Книга 2.

Голдовский Б. И., Вайнерман М. И.

Комплексный метод поиска решений технических проблем. —
М.: «Речной транспорт», 1990. (Методы анализа проблем и поиска решений в технике). — 112 с., ил.

В книге дается характеристика методов направленного поиска новых технических решений. Подробно, с примерами применения, рассмотрен один из них: комплексный метод. Показано, как решаются задачи при наличии прототипа и при необходимости синтеза системы по заданной функции. Приведенный материал продолжает тему первой книги серии.

Для инженеров, научных работников, изобретателей, студентов вузов и методистов технического творчества.

*Методы анализа проблем
и поиска решений в технике
Серия методических пособий*

КНИГА 2. КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ПОИСКА РЕШЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

**Голдовский Борис Израилевич,
Вайнерман Михаил Ильич**

Художник Д. И. Бзраб-Тарле
Технический редактор Е. В. Кузьмина
Корректор Е. И. Малахова
© НТК «Метод», 1990 г.

Сдано в набор 31.03.90 Подписано в печать 27.04.90
T-00607 Формат 60×90^{1/16} Бумага тип. № 2 Гарнитура литературная
Печать высокая Объем 8,0 усл.-печ. л. 8,39 усл. кр.-отт. 9,10 уч.-изд. л.
Тираж 50 000 экз. Зак. № 29 Цена 2 р. 90 к.

Типография изд-ва «Радио и связь». 101000 Москва, ул. Кирова, д. 40