

МЕТОДЫ
АНАЛИЗА ПРОБЛЕМ
И ПОИСКА РЕШЕНИЙ
В ТЕХНИКЕ

Б.И.ГОЛДОВСКИЙ
М.И.ВАЙНЕРМАН

РАЦИОНАЛЬНОЕ

творчество

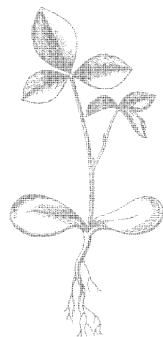


МЕТОДЫ
АНАЛИЗА ПРОБЛЕМ
И ПОИСКА РЕШЕНИЙ
В ТЕХНИКЕ

Б. И. ГОЛДОВСКИЙ
М. И. ВАЙНЕРМАН

РАЦИОНАЛЬНОЕ ТВОРЧЕСТВО

МОСКВА, 1990



Scan AAW

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 1

Голдовский Б. И., Вайнерман М. И.

Рациональное творчество. О направленном поиске новых технических решений. — М.: «Речной транспорт», 1990. (Методы анализа проблем и поиска решений в технике. — 120 с., ил.

В книге освещены основные элементы современной технологии творческого поиска в технике. Даны представления о технических системах, закономерностях их построения и развития, а также методика выявления и разрешения технических противоречий и структурно-энергетического синтеза систем. Все положения иллюстрированы примерами из различных областей техники.

Для инженеров, научных работников, изобретателей, студентов вузов и методистов технического творчества. Будет также полезна разработчикам экспертных систем, обеспечивающих поисковые этапы проектирования.

ПРЕДИСЛОВИЕ К СЕРИИ

Способность к техническому творчеству позволила человеку создать сумму технологий и технических средств, обусловивших блага нашей цивилизации, от которых, несмотря на их многочисленные недостатки, мы уже не можем отказаться. Путь у человечества один — вперед.

Начавшись более тысячи человеческих поколений назад, технический прогресс постоянно ускоряется. Девять десятых потребительских товаров, окружающих нас, в начале XX века вообще не существовало. А сроки обновления продукции в наиболее динамичных областях техники уменьшились до 2—3 лет.

При разнообразии причин постоянного обновления тех или иных видов техники следствие одно: неуклонно растет потребность в результатах творческого поиска, в новых технических решениях. Причем решения нужны не всякие. Некоторые экономисты считают, что в ближайшем будущем каждые три года должно происходить удвоение показателей производительности технических средств [30, с. 145]. Иначе они будут неконкурентоспособны, а их внедрение нерентабельно. Ясно, что для этого нужны решения высокого уровня. Необходимость перехода к принципиально новым технологиям, сберегающим ресурсы, обусловлена также все более обостряющейся экологической обстановкой. Возможно, мы находимся в преддверии глобальной технологической революции, подобной переходу от охоты и собирательства к скотоводству и земледелию.

Общественная потребность в потоке существенно новых технических решений, вовремя появляющихся в нужном месте, может быть удовлетворена так же, как до сих пор удовлетворялась нужда в каком-либо массовом продукте, созданием соответствующей технологии.

В данном случае — технологии творческого поиска. Поиск новых решений, как необходимый этап создания новой техники, должен быть органично включен в технологический цикл разработок и подкреплен соответствующими методами, являющимися, по сути дела, одним из видов методов проектирования [2].

Владение специальными методами поиска новых технических решений для современного специалиста не менее важно, чем компьютерная грамотность.

Разработка таких методов ведется во всем мире, в том числе и в нашей стране. Развивается научная основа методов — теория

поиска новых технических решений. Создана и расширяется сеть обучения методам. Издаются литература, описывающая различные методики [1, 2, 24], возможности их автоматизации [12], а также особенности применения методов в инженерных разработках [5]. Появились учебные пособия [6, 46] в основном обзорного типа.

Серия книг под общим названием «Методы анализа проблем и поиска решений в технике», также написана как учебно-методическое пособие. В ней описаны различные методы поиска новых решений: и формализованные, и активизирующие интуицию человека. Ведь одним инструментом выполнить все виды работ нельзя. И многообразие задач человек должен противопоставить соответствующее многообразие способов их решения. Методы поиска в книгах серии даются достаточно подробно и сопровождаются многими практическими примерами. Это позволяет читателям не только познакомиться с методами, но и освоить их применение.

Большая часть материалов, вошедших в серию, ранее не публиковалась и представляет собой оригинальные разработки авторов. Хотя нельзя не признать, что разработка данного пособия осуществлялась не на пустом месте, и авторы опирались и творчески развивали высказанные ранее идеи и методические подходы.

Практическая апробация и отработка методов, изложенных в серии, проходила в течение последних 5—8 лет в процессе преподавания авторами курса «Теория и практика поиска новых технических решений» в центральном институте повышения квалификации кадров Минавиапрома, в Московском общественном институте технического творчества и Горьковском народном университете научно-технического творчества.

Серия разрабатывается и издается по инициативе и при участии научно-технического кооператива «Метод» (г. Москва), который специализируется в области исследования и развития теории технического творчества.

Книги серии **предназначены для широкого круга специалистов и, прежде всего, разработчиков новой техники, изобретателей и рационализаторов.**

Их можно рекомендовать также исследователям теории поиска новых технических решений, методистам технического творчества, разработчикам экспертных систем и, конечно, молодым инженерам и студентам, желающим овладеть современными подходами к решению изобретательских задач.

Критические замечания и предложения по методическим пособиям следует направлять по адресу: 119048, г. Москва, а/я 453, НТК «Метод».

Редакция

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОЙ КНИГЕ

Посланец преисподней, явившийся за душами людей на Землю в одном из рассказов английского фантаста Дж. Уиндема, посчитал желание человека получить побольше, заплатив за это поменьше, безнравственным. Однако в наше время минимизация затрат на получение полезного результата называется оптимизацией.

Стремление к оптимизации характерно для любой технологии. И технология творческого поиска не исключение. Поэтому авторы основное внимание уделили направленному поиску новых решений, как наиболее рациональному.

В основу книги положены разработки, большая часть которых реализована в комплексном методе поиска новых технических решений [3]. Главы 2, 3, 4, 6 и приложения написаны Б. И. Голдовским, глава 5 — Н. И. Вайнерманом. Глава 1 написана совместно. Общую редакцию книги выполнил Б. И. Голдовский.

Авторы выражают искреннюю благодарность В. П. Горбунову и А. П. Сохину, принимавшим участие в разработках и практической проверке их результатов, а также Ю. Н. Шеломку за организацию практической проверки и участие в ней. Особую признательность авторы выражают Г. С. Альтшуллеру, благодаря работам которого они обратились к проблемам поиска новых технических решений, и идеи которого оказали на авторов большое влияние.

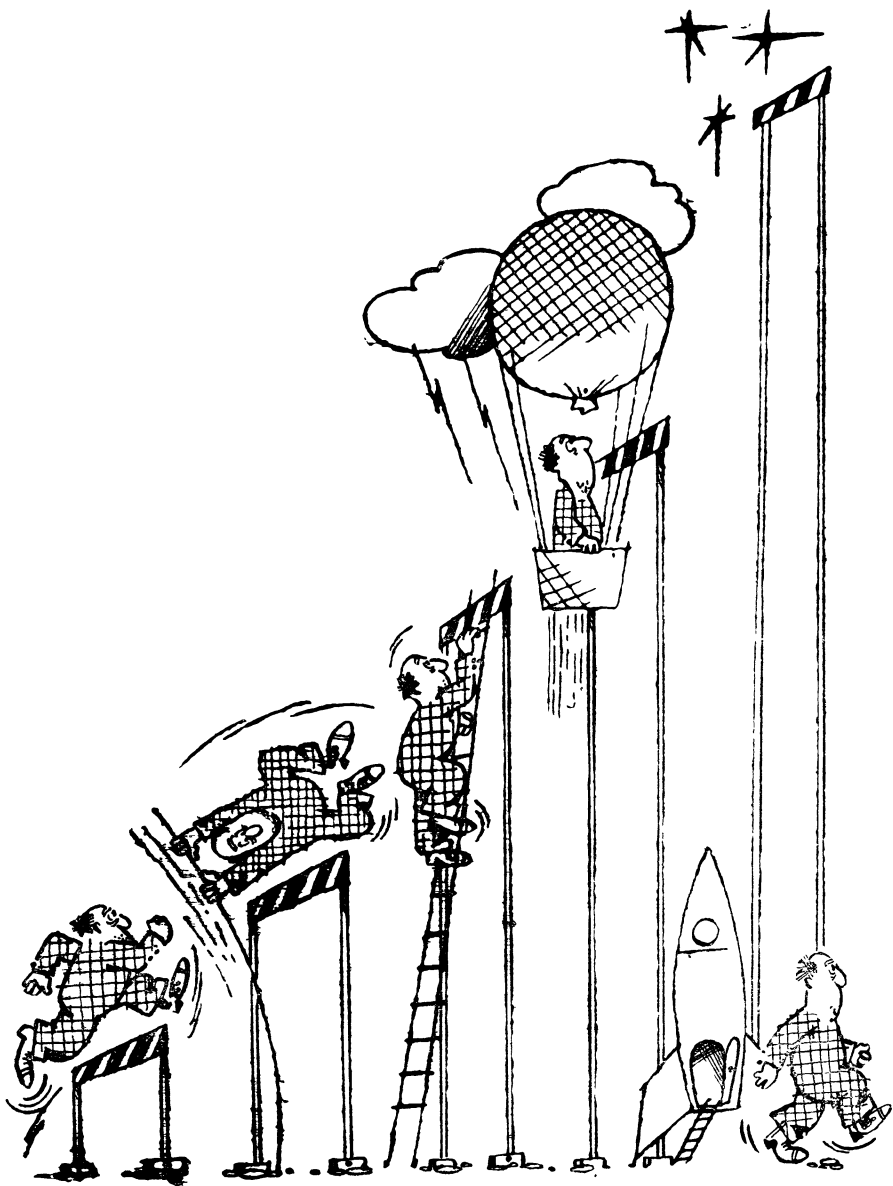
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

а, b, c, d	— свойства, состояния элементов (объектов)
В	— вещество (объект, элемент)
ГПФ	— главная полезная функция
З	— задача
МЗ	— модель задачи
МР	— модель решения (оперативная)
НР	— направление решения
НС	— надсистема
НЭ	— нежелательный эффект
$\overline{\text{НЭ}}$	— отрицание нежелательного эффекта
ОВР	— оценка и выбор решения
П	— поле (энергопоток)
ПД	— принцип действия системы, подсистемы
ПР	— принципиальное решение
ПрС	— проблемная ситуация
ПС	— подсистема
ПФ	— полезная функция (элементарная)
ПЭ	— положительный эффект
СР	— структурное решение
СТП	— социально-техническое противоречие
ТП	— техническое противоречие
ТР	— техническое решение
ТС	— техническая система
У	— управляющая энергоцепочка
УК	— узловой компонент
ФП	— физическое противоречие
ФР	— физическое решение
ФУР	— физические условия реализации модели решения
ЭС	— элементарное структурное звено

Глава 1

ТЕХНОЛОГИЯ ТВОРЧЕСКОГО ПОИСКА И ПРОБЛЕМА НАПРАВЛЕННОСТИ,

*а также о том,
как определял человека американский ученый,
что можно хранить в полиэтиленовом пакете,
что такое «метод тыка» и как от него избавиться;
кроме того, речь пойдет
о перевозке комбикорма,
о водоразборной колонке,
о психологических барьерах
и попытках вырваться из мира тривиальных представлений*



В сочетании слов «технология творчества» есть определенное противоречие. Ведь творчество суть искусство, а всякая технология предполагает ремесло, рутину. Однако переход от уникального искусства, доступного талантливым единицам, к массовой, воспроизводимой технологии типичен для всех видов человеческой деятельности. Особенно для деятельности, связанной с производством материальных благ и обеспечением безопасности. Когда-то выбор размеров и пропорций сооружений и механизмов базировался на интуиции и опыте наиболее искусных мастеров, а сейчас инженер — одна из массовых профессий. Никто не удивляется, когда на дисплее появляется изображение самолета, спроектированного ЭВМ, хотя в начале века считалось что «аэроплан не машина и рассчитан быть не может». Только благодаря регулярному понижению сложности часто повторяющихся проблем человечество получает возможность решать новые проблемы, все более сложные.

Применение методов творческого поиска не уничтожает творческий процесс, а рационализирует его, позволяя не тратить силы и время на поиск уже найденного. Эти методы включают в себя то повторяющееся, закономерное в творческом процессе, чему можно научиться и что делает получение требуемого результата более гарантированным, облегчая преодоление барьеров, преграждающих пути к новым решениям.

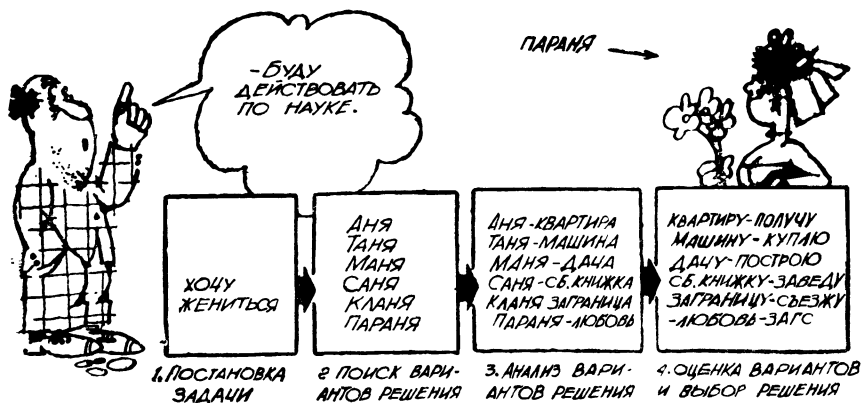


Каждому человеку в течение жизни приходится принимать множество решений: простых и сложных, важных и не очень, по-разному влияющих на окружение. Вообще способность сознательно принимать решения — одна из характерных человеческих черт. Американский ученый И. Брюсс даже определял человека как «животное, способное принимать решения». И независимо от того, решает ли человек какую-то повседневную, бытовую задачу, или ломает голову над труднейшей проблемой, опирается ли он на какой-либо метод или действует интуитивно — в процессе решения он должен обязательно пройти четыре основных этапа:

- 1) постановка задачи;
- 2) поиск вариантов решения;
- 3) анализ вариантов решения;
- 4) оценка вариантов и выбор решения.

Поставить задачу — значит уточнить исходную проблемную ситуацию, определив **цель, ограничения и критерий выбора** решения. Все эти категории определяют желаемое состояние, к которому надо прийти в результате решения.

Цель описывает желаемый результат, соответствующий какой-либо общественной (технической) потребности. Определить **цель** — значит ответить на вопрос: «Что мы будем иметь в результате решения?». Обычно в формулировке цели указываются



два состояния: исходное и конечное (желаемое). Например: получить из руды чистый металл.

Ограничения указывают условия, при которых достижение цели можно считать приемлемым. Эти условия обычно имеют вид запретов на изменение или применение чего-либо или, наоборот, указаний на необходимость применения какого-либо определенного средства достижения цели. К ограничениям относятся также указания на допустимые размеры затрат ресурсов и на количественные характеристики решения, не отраженные в формулировке цели.

Критерий выбора решения отражает тот из наиболее существенных признаков желаемого решения или ту совокупность существенных признаков, по которым его можно будет выделить среди множества возможных решений, обеспечивающих достижение цели при заданных ограничениях. По критерию проводится оптимизация решения. Основатели системотехники Г. Х. Гуд и Р. Э. Макол считали, что «правильный выбор критериев... по существу, эквивалентен правильной формулировке задачи. Однако в большинстве случаев это дает больше, чем формулировка задачи, и в том числе выбор правильной точки зрения и правильной области допустимых решений» [26].

В результате постановки задачи получается, по сути дела, **«модель решения»**, которая служит ориентиром на последующих этапах. Особенно на этапе оценки вариантов и выбора решения. Однако в процессе поиска подобная модель, сформулированная на уровне внешних, народнохозяйственных характеристик, помогает мало. Дело в том, что каждое техническое решение должно удовлетворять требованиям трех уровней. Решение должно быть:

- физически осуществимым (соответствовать законам природы);
- технически реализуемым (соответствовать ресурсам и научно-техническому потенциалу общества);
- экономически выгодным.

Модель решения при постановке задачи формулируется на уровне экономики и отчасти техники, а поиск ведется сначала на физическом уровне и лишь потом переходит к технике. Для любого технического средства (проведа его анализ) можно определить все характеристики на любом уровне. В том числе — всю совокупность целей, которые могут быть достигнуты с помощью этого средства. Обратный переход, от цели и характеристик к средству, возможен лишь для тривиальных задач. К примеру, самое дешевое средство для хранения трех литров воды можно определить без затруднений: полиэтиленовый пакет, стеклянная банка. Если же воду заменить универсальным растворителем (который растворяет все вещества), то однозначность перехода от цели к средству заменяется полной неопределенностью. Для устранения этой неопределенности и проводится творческий поиск.

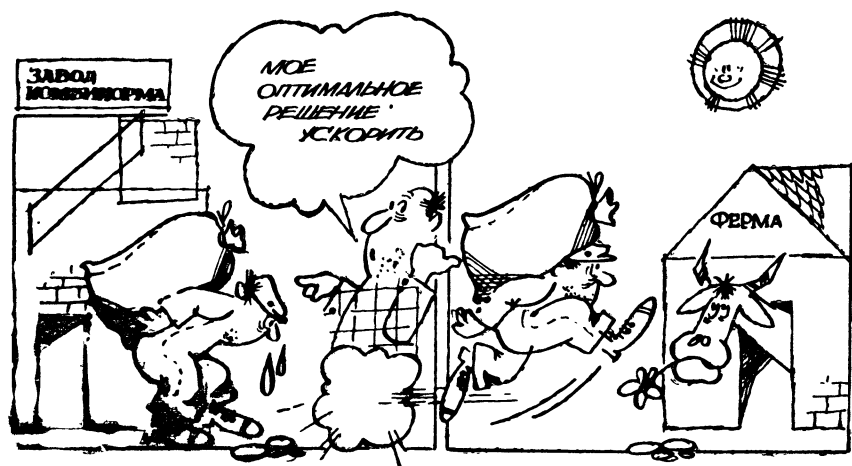
Несовпадение уровней описания модели решения (цели) и самого решения (средства), а также информационный разрыв между ними — это основное противоречие поиска новых решений. Разрешение этого противоречия и преодоление барьера неопределенности и незнания осуществляется за счет **перебора вариантов**. Сначала намечается несколько вариантов решения, затем с помощью анализа определяются характеристики этих вариантов на требуемом уровне, после чего путем сравнения выявленных характеристик с моделью решения производится отсев всех непригодных вариантов и выбор решения. Другими словами, сначала **поле поиска расширяется**, а затем **сужается** до одного варианта. Расширяется при синтезе, сохраняется при анализе и сужается при выборе решения.

Перебор вариантов как универсальная стратегия поиска решений в условиях неопределенности распространен довольно широко и в природе, и в человеческой деятельности. Но перебор перебору рознь. Одно дело метод проб и ошибок в чистом (природном) виде, когда пробы делаются слепо, хаотически, бессистемно (так сказать, «метод тыка»). И другое дело метод последовательных приближений, когда каждая последующая проба уточняет предыдущий вариант, приближая нас к решению. Ясно, что такая форма перебора гораздо рациональнее «метода тыка». Но для того, чтобы реализовать экономный перебор при поиске новых технических решений, необходимо преодолеть ряд барьеров.

* * *

Для наглядности представим поле поиска в виде **дерева целей — средств**, на котором показаны связи между целями и возможными путями их достижения. На рис. 1 в качестве примера приведен фрагмент такого дерева для проблемы «уменьшить затраты времени на доставку корма с комбикормового завода потребителю». В вершине дерева (на нулевом уровне) общая цель, достижение которой необходимо для решения проблемы. От вершины ветвятся возможные пути достижения этой цели, наме-

чающие направление решения проблемы. При этом каждая формулировка описывает средство для предыдущего уровня и цель для последующего. На самом нижнем уровне дерева «висят» решения, описывающие конкретные технические средства. К примеру, направлению «изменить тару для ускорения ее закрытия» могут соответствовать такие решения, как применить автоматизированную зашивку тары (мешка), заменить зашивку скреплением с помощью скоб, использовать застёжку типа «молния» и т. п. Если на дерево нанести ограничение (например, запретить менять транспортное средство и улучшать качество дороги), то получим множество возможных решений проблемы, одно из которых является предпочтительным (оптимальным).



Первый барьер на пути к решению заключается в том, что, как правило, человек, решающий задачу, за отдельными «веточками» не видит дерева. Обычно задача осознается на нижних уровнях дерева. Например, «ускорить зашивку мешков с комбикормом».

Человеческому мышлению присущи стереотипы, в которых закреплено все часто повторявшееся в прошлом опыте. Стереотипы эти навязывают человеку **психологические ограничения**, резко сужающие поле поиска вокруг исходной задачи и привычных путей ее решения. В результате перебор вариантов идет только на «веточках» вниз от сформулированной задачи. Причем чаще всего, эти варианты представляют собой небольшие видоизменения известных технических средств. Количество сгенерированных идей обычно находится в пределах десятка.

Если истинные ограничения не шире психологических, успех при традиционном подходе, базирующемся только на способностях человека, обеспечен. Однако для решений высокого уровня, дающих наибольший эффект, характерны более радикальные изменения по сравнению с известными средствами. Выход на такое решение требует пересмотра и обобщения задачи. Необходим

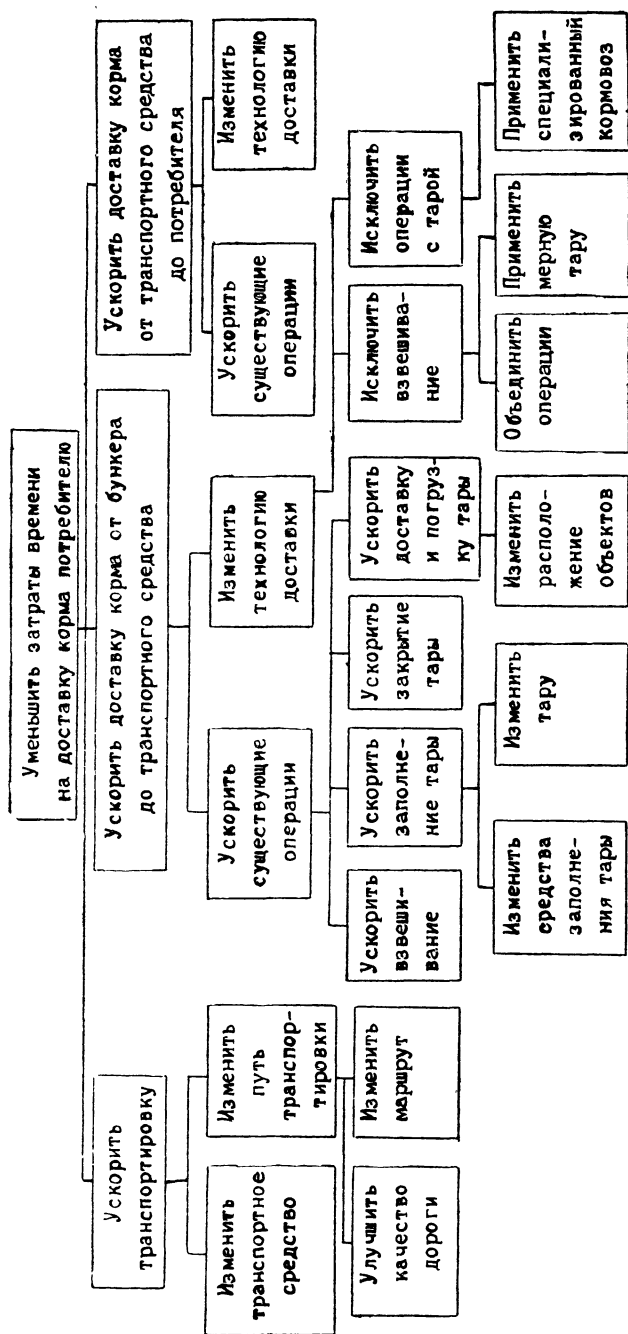
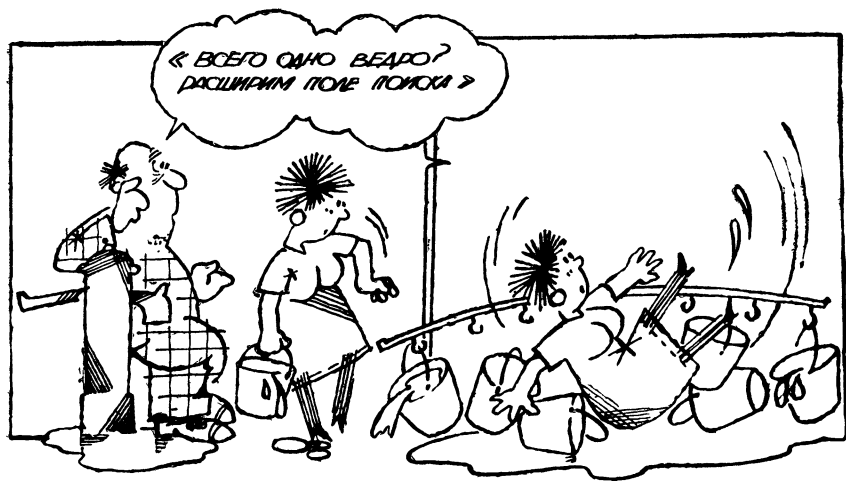


Рис. 1. Фрагмент дерева целей — средств для проблемы «Уменьшить затраты времени на доставку корма потребителю»

переход на другие, крупные и отдаленные ветви дерева в рамках истинных ограничений, которые значительно шире психологических. В этой ситуации психологические ограничения становятся ложными, а порождающая их психологическая инерция является препятствием для необходимого расширения поля поиска.

На преодоление барьера ложных ограничений приходится тратить много сил и времени.

На рис. 2 показаны схемы водоразборной колонки, эволюцию которой автор наблюдал в одном из небольших городов страны. Направление эволюции понятно: повышение удобства, уменьшение затрачиваемых человеком усилий. При последней схеме (рис. 2,г) достаточно налить в ведро полтора-два литра воды, и оно «само» начинает удерживать рычаг в нажатом состоянии. Поражает другое: почему сразу не сделали по этой схеме? Почему двигались отдельными шагами в течение трех десятилетий? Объяснение этому одно — влияние психологической инерции.



Примеры подобных издержек в своей практике может привести любой инженер. Это простои целых коллективов из-за того, что нужное решение никак не дается в руки. Или упущенные возможности, когда хорошая идея приходит после запуска машины в производство. В результате всегда потери — от мелких неудобств до серьезных убытков или аварий с катастрофическими последствиями.

Пагубное влияние психологической инерции на творческий процесс осознано давно. Именно на борьбу с ней нацелены эвристические методы, применение которых на практике началось за рубежом в 40-е годы нашего столетия [2, 6]. Средства в этих методах используются разные: коллективный поиск с запретом критики и использованием аналогий (мозговая атака, синектика);

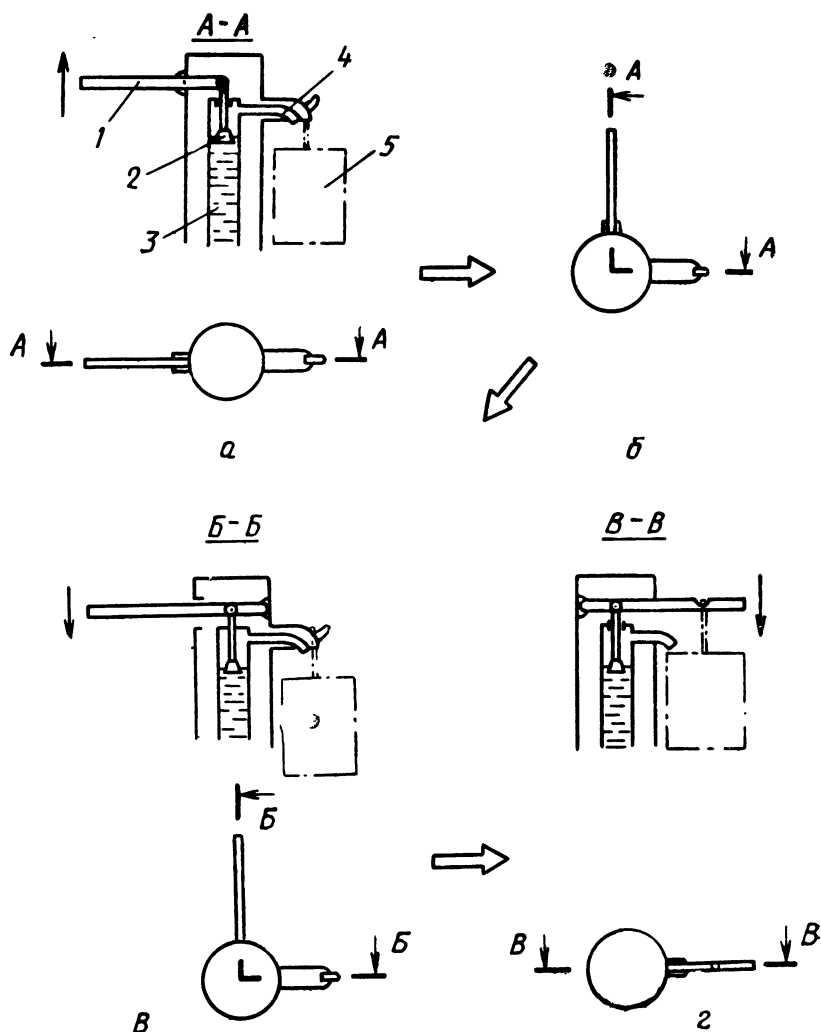


Рис. 2. Эволюция схемы водоразборной колонки:

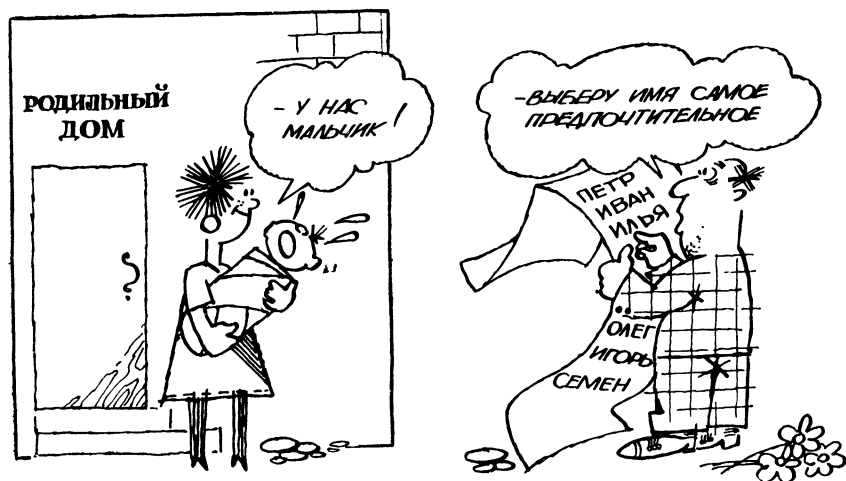
1 — рычаг; 2 — клапан; 3 — напорная магистраль; 4 — кран; 5 — ведро.
 ↑ ↓ — направление перемещения рукоятки рычага для подачи воды в кран;

→ — направление развития схемы

использование подсказок, случайных (метод каталога) и специально подобранных (метод контрольных вопросов); комбинирование признаков объекта (морфологический анализ) и т. д. Но цель одна: помочь человеку расширить поле поиска. Причем систематическое перекрытие зсего поля дает только морфологический анализ.

Традиционные схемы поиска на дереве целей — средств и схема поиска с помощью эвристических методов показаны на рис. 3 (а, б, в).

Эвристические методы, взламывающие психологический барьер, задачу свою выполняют достаточно успешно. С их помощью можно получить от нескольких десятков до сотен тысяч вариантов решения проблемы (особенно эффективен в этом отношении морфологический анализ). Однако тут же возникает новая проблема: как выбрать из этой массы вариантов наиболее предпочтительный?



Преодолеть барьер перебора большого числа вариантов, даже просто количественных и даже с помощью ЭВМ, — задача далеко не простая. Поэтому, например, в математическом программировании (разделе математики, в наибольшей степени связанном с перебором) высоко ценятся методы, позволяющие резко сократить количество рассматриваемых случаев, как в линейном программировании, где поиск оптимума удалось свести к сравнению между собой вершин многогранника, ограничивающего пространство возможных вариантов. Не случайно создателю линейного программирования присуждена Нобелевская премия. Необходимость в ограничении перебора разумными пределами настолько велика, что в рамках строгих математических методов начинают широко пользоваться приближенными, эвристическими методами [38, с. 299—303].

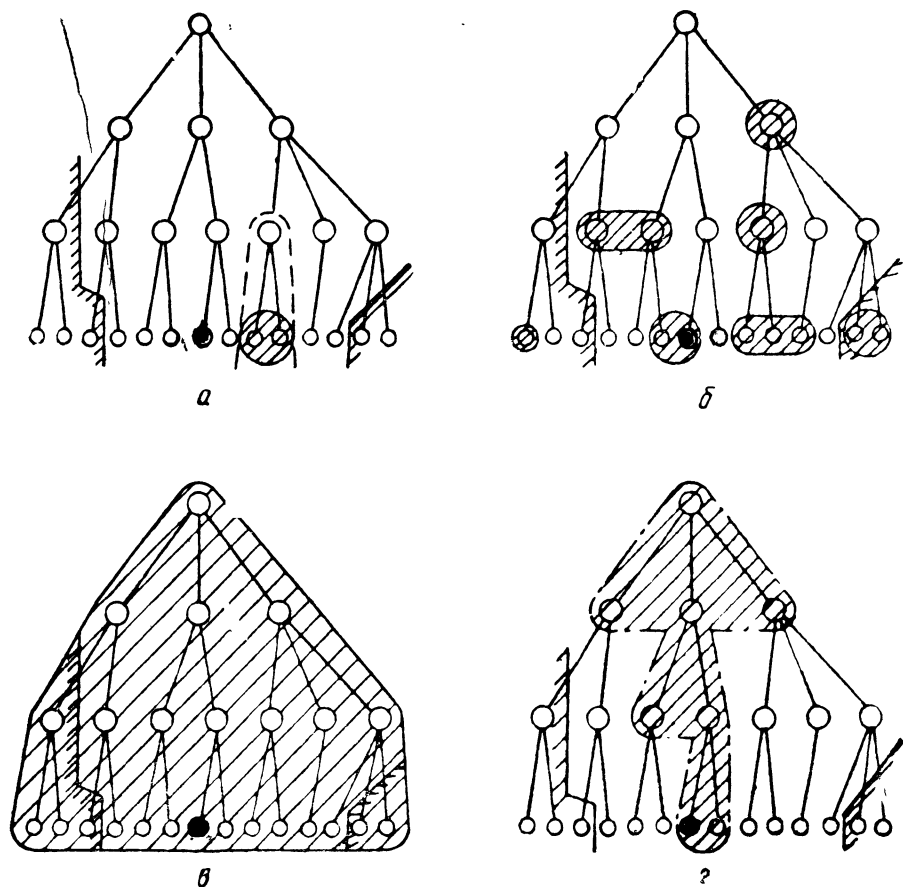


Рис. 3. Возможные схемы поиска новых решений:

а — традиционный; **б** — ненаправленный несистематический; **в** — ненаправленный систематический; **г** — направленный поиск; ||||| истинные ограничения; --- психологические ограничения; поисковые ограничения;



— предпочтительное решение;



— перекрытие поля поиска

Следует также учесть, что, как только возникает необходимость одновременного рассмотрения более 7—10 вариантов, человек испытывает психологический дискомфорт. Ясно, что расширение поля поиска должно быть минимальным и в то же время должно перекрывать район оптимального решения. Такой поиск называется **направленным**. Он наиболее рационален, экономичен и эффективен. Реализовать направленный поиск можно путем ступенчатого расширения и сужения поля поиска по уровням дерева целей — средств при движении от цели (вершины) к вариантам средств (рис. 3,г). При этом нет необходимости строить все дерево, достаточно того, что попадает в локальные расширения.

Чтобы поиск был направленным, надо уметь сформировать **поисковые** ограничения, выводящие в район предпочтительного решения. В свою очередь возможность создания поисковых ограничений связана с сущностью наших представлений о новом решении.

Авторами методов, создаваемых для преодоления психологического барьера, новое решение представлялось как «прорыв под-сознания», «нечто оригинальное, неочевидное», «случайная комбинация признаков», «неизвестное сочетание известных элементов». Такие представления помогают уйти от тривиального, привычного и облегчают получение решения, если его суть только в новизне и оригинальности. Подсказать же направление к решению какой-либо технической задачи они не могут. Выход на требуемое решение при этом во многом дело случая (хотя вероятность выше, чем при традиционном подходе — за счет расширения взгляда на проблему). Принципиальная ненаправленность эвристических методов, борющихся с психологической инерцией, коренится в их универсальности. Представление о новом решении, положенное в основу этих методов, может использоваться в любых областях человеческой деятельности: технике, организации, рекламе, искусстве...

В то же время опыт решения оптимизационных задач показывает, что для уменьшения перебора необходимо максимально учитывать особенности рассматриваемой задачи [38, с. 300]. За счет такого подхода удается в ряде случаев настолько упростить задачу, что вместо ЭВМ достаточно калькулятора [43].

Главной особенностью новых решений в технике является их обусловленность внешними условиями. Упомянутые три уровня требований к решению (см. с. 10) отражают необходимость соответствия вновь создаваемого технического средства объективным законам природы, общества и техники в целом. Под действием этих законов закономерным становится и процесс развития технических средств. Поэтому сделать поиск новых технических решений направленным можно, лишь представляя эти решения как закономерные этапы в прогрессивном развитии техники. Только **законы построения и развития объектов техники** и основанные на них модели развития технических средств могут слу-

жить объективной базой для формирования поисковых ограничений, обеспечивающих направленность.

Приближение схемы водоразборной колонки к состоянию «ведро само удерживает рычаг в рабочем состоянии» (рис. 2г) есть отражение объективного закона развития техники. И если знать его и руководствоваться им при разработке проекта, то не понадобились бы десятилетия для появления оптимального решения. «Закон есть ограничение разнообразия» — в этом определении, сделанном известным кибернетиком У. Эшби, наглядно показана роль знания законов в обеспечении направленности.

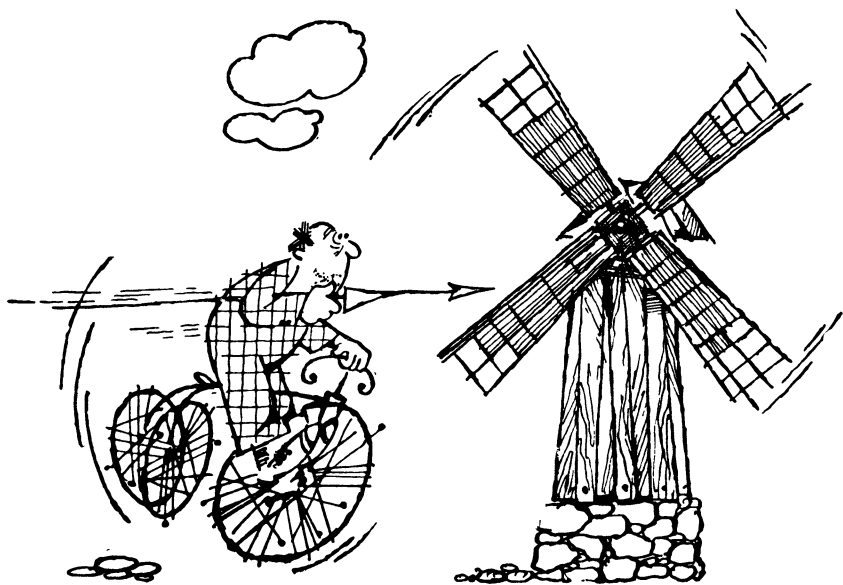
К настоящему времени выявлено достаточно большое количество законов прогрессивного развития объектов техники (краткий обзор литературы см. в приложении 1). На их основе можно прогнозировать вероятные будущие состояния тех или иных технических средств, то есть вести довольно направленный поиск прогрессивных изобретений. Примеры такого поиска приведены в [1]. Однако для реальных технических задач прогрессивность решения — условие необходимое, но не достаточное.

Нужно учитывать и условия реализации решения. Ясно, что решение, которое должно быть «в железе» через полгода, несомненно будет отличаться от решения, срок реализации которого наступит лет через пять. В последнем случае можно провести исследовательскую работу, ввести в разрабатываемый объект существенно новые, не освоенные пока средства. А при сроке в полгода приходится использовать то, что есть, с необходимыми, легко внедряемыми изменениями. Учет условий реализации решения производится через ограничения, имеющие нечеткий вид (типа «признаков предпочтительности»). Поэтому при поиске новых технических решений, в наибольшей степени отвечающих условиям их реализации, степень переборности объективно выше (а степень направленности ниже), чем при создании прогрессивных изобретений без привязки к конкретным моментам времени. По мере развития теории поиска новых технических решений и создания специализированных моделей развития техники [25] направленность поиска должна повышаться. Однако из-за наличия основного противоречия поиска новых технических решений поиск этот всегда будет оставаться вероятностным. Поэтому и сейчас и в будущем следует руководствоваться правилом: лучше рассмотреть несколько лишних вариантов, чем обойти оптимальное решение.

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ,

*а также о том,
как транспортировать груз по воздуху,
как тормозить велосипедисту,
как гулять собакам в ночное время,
о самолете и вертолете,
о паровой самобеглой машине
и даже о конструкции ветряных мельниц,
с которыми бился Дон Кихот,
хотя о Дон Кихоте как раз не будет сказано ни слова*



Каждое новое техническое решение описывает какой-то новый объект техники или его отличия от известных аналогичных объектов. Поэтому прежде чем приступить к рассмотрению элементов технологии направленного поиска, необходимо выделить наиболее общие черты и характеристики технических средств, приводящие их многообразию к «общему знаменателю». Для этого воспользуемся положениями системного подхода, который широко применяется и в научных исследованиях, и в проектных разработках [45]. Будем называть любые технические объекты термином **техническая система**, подразумевая под системой не «сложную систему машин», а некоторое целостное единство. Для краткости техническую систему обозначим ТС. Основные характеристики ТС будут элементами того языка, на котором пойдет дальнейший разговор о законах развития объектов техники и о технологии поиска новых технических решений. Хотя термины системного подхода распространены достаточно широко, ряд из них имеет различное толкование. Поэтому необходимо кратко рассмотреть наиболее существенные для нас понятия.



Техническую систему можно определить как искусственно созданное материальное единство взаимосвязанных элементов, имеющее целью своего функционирования удовлетворение некоторой потребности окружения (общества или окружающих технических систем). Цель создания и функционирования ТС назовем **главной полезной функцией** системы (ГПФ).

В соответствии с ГПФ элементы, составляющие систему, определенным (закономерным) образом организованы в пространстве и во времени. Элементы эти (**состав системы**) могут быть природными или искусственными, причем степень искусственности элементов ТС — одна из ее характеристик.

Элементы, образующие систему, — это относительно неделимые части целого. Элемент считается неделимым в пределах сохранения определенного данного качества системы, что зависит в первую очередь от масштаба рассматриваемой системы. Например, корабль представляет собой сложное сооружение, состоящее из множества частей: корпус, двигатель, палубные механизмы и т. д. В то же время в системе «морской порт» корабль можно считать элементом, то есть неделимым целым, так как сложность корабля при рассмотрении системы «морской порт» в определенном аспекте может не иметь никакого практического значения.

Каждый, даже самый простой элемент ТС обладает множеством различных свойств: геометрических, механических, физических, химических... Возьмем, к примеру, обыкновенный карандаш. Он имеет определенную форму, размеры, вес, прочность, цвет; грифель его может оставлять следы на поверхности при наличии трения, проводить электрический ток и т. д. В зависи-

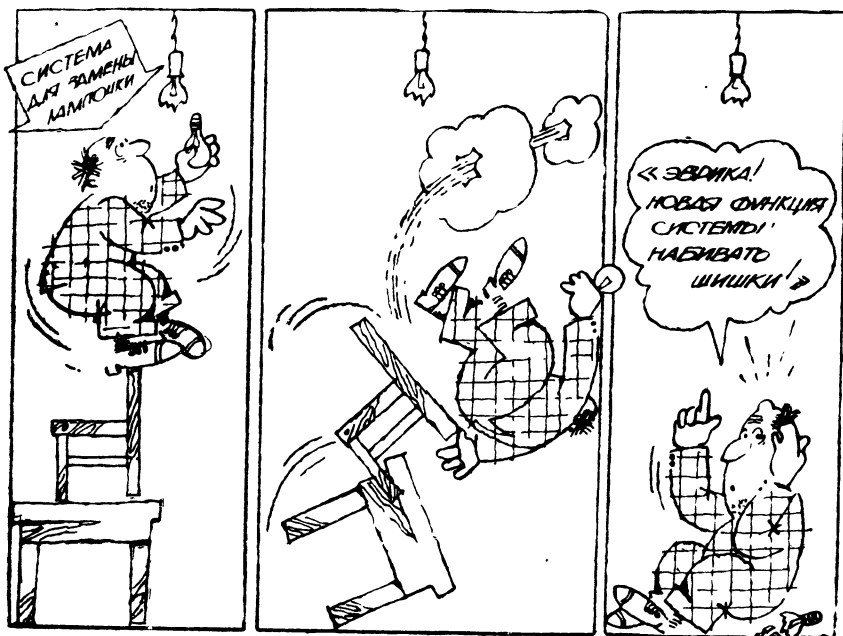
мости от того, с чем и каким образом взаимодействует карандаш, осуществляется реализация тех или иных его свойств и выполняется та или иная функция: писать, делать дырки в бумаге, служить опорой комнатному цветку, создавать электросопротивление... Другими словами, реализация свойств элементов зависит от структуры системы. **Структура** — это закономерная устойчивая связь между элементами системы, отражающая форму расположения элементов и характер взаимодействия их сторон и свойств. Структура делает систему некоторым качественно определенным целым, отличным от суммы качеств составляющих ее элементов — именно за счет того, что обеспечивает взаимодействие элементов только определенными сторонами, свойствами, а не в целом.

Структура — важнейшая характеристика ТС, ибо при одном и том же составе элементов, но при различном взаимодействии между ними меняются и способности системы, ее функции. Например, из элементов «пол, стол, стул, человек» можно составить разные системы:

1) стол, стул и человек взаимодействуют с полом, человек — со столом и стулом; возможные функции — «писать, читать, отдыхать...»

2) человек стоит на стуле, стул на столе, стол на полу; возможные функции — «смотреть, доставать...»

Состав и структура системы характеризуются сложностью и однородностью в пространстве и во времени (неоднородность во



времени имеет вид динамизма элементов и связей между ними). В зависимости от того, какие свойства элементов реализуют структуру, ТС характеризуется также **сложностью формы движения материи** в системе: механической, физической, химической, биологической. Естественно, что в ТС могут быть использованы те формы движения материи и, соответственно, те природные явления и эффекты, которые человек познал и освоил или осваивает технологически.

Особенности использования в технической системе природных явлений и эффектов, направленных на выполнение главной полезной функции (ГПФ), составляют **принцип действия** системы. Это важная характеристика ТС, ее существенный признак, по которому различают средства выполнения одной и той же функции. Например, функцию «транспортировка груза в воздушной среде» можно осуществить с помощью дирижабля, вертолета, самолета, ракеты, снаряда. И в самолете и в вертолете используется одно и то же природное явление: образование подъемной силы на теле особой формы, движущемся в воздушной среде с углом атаки. Однако в самолете энергия двигателя преобразуется в энергию движения всего аппарата в воздушной среде, которая преобразуется в подъемную силу на крыле. А в вертолете энергия двигателя преобразуется в обособленное от других элементов движение многокрыльевого устройства — несущего винта. Соответственно различают принципы создания подъемной силы «самолетный» и «вертолетный». Основываясь на одинаковом принципе действия, мы называем самолетом и аппарат братьев Райт и современный реактивный лайнер. По главной полезной функции и принципу действия системы определяется и принадлежность того или иного элемента к данной ТС.

Поскольку свойства элементов в любой структуре реализуются не полностью. В ТС всегда имеется множество **скрытых свойств и возможностей**. Умение выявить и использовать эти свойства — одно из необходимых условий успешного творческого поиска.

Взаимодействие элементов и сопутствующие ему явления и эффекты составляют **внутреннее функционирование ТС**. В свою очередь, результат внутреннего функционирования проявляется в форме внешних свойств системы, в виде ее «способностей». Часть «способностей» показывает, что система может делать, то есть какое действие может совершать (нагревать, перемещать, удерживать...). Эти действия суть **функции** ТС. Остальные «способности» показывают, как выполняются функции системы (например, надежно, удобно) и с какой интенсивностью. Именно совокупность «способностей» показывает, соответствует ли ТС цели своего существования. Функции системы, необходимые и достаточные для выполнения ГПФ, будем называть **элементарными полезными функциями (ПФ)**. Выполнение каждой полезной функции обеспечивается частью взаимодействующих элементов системы. Эта часть называется **подсистемой (ПС)**. В ряде ТС подсистемы выделяются конструктивно, в виде отдельных блоков

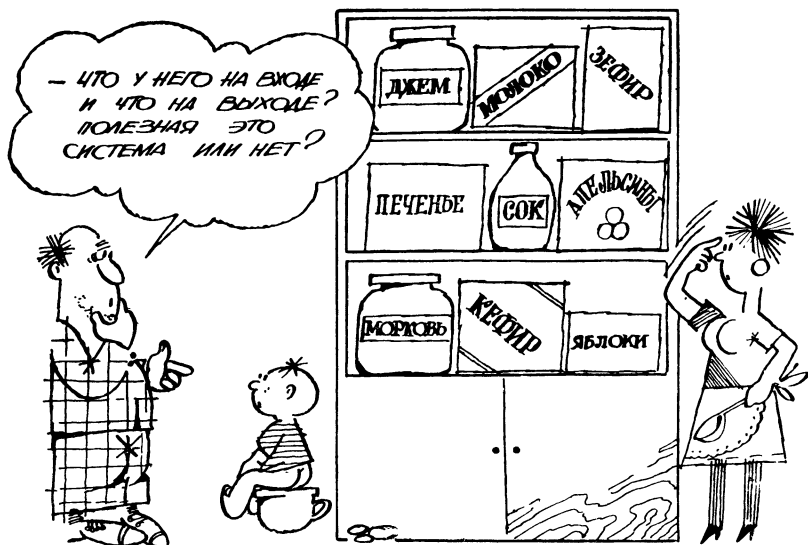
или отдельной совокупности элементов. Однако чаще всего одни и те же элементы входят в ряд подсистем, обеспечивая выполнение нескольких элементарных функций. Например, рама автомобиля входит в подсистемы обеспечения движения и удержание груза. (В общем случае взаимодействие элементов между собой не совпадает с взаимодействием подсистем.) Как и ТС в целом, каждая подсистема имеет свой принцип действия.

Среди полезных функций и соответствующих им подсистем есть своя иерархия. Те полезные функции, выполнение которых непосредственно связано с осуществлением ГПФ, называются основными. Остальные полезные функции, обеспечивающие выполнение основных функций, называются вспомогательными.

При взгляде извне, из окружения, ТС, как и любую систему, можно представить в виде так называемого «черного ящика» с **входами и выходами**. Сам «ящик» играет роль процессора, преобразующего входы и выходы. Выходы ТС соответствуют ее «способностям», а входы — затратам на функционирование системы. Еще часть затрат идет на создание самой ТС. В физическом аспекте входы и выходы представляют собой чаще всего потоки энергии, вещества и информации.

Входы и выходы далеко неоднородны по своей ценности. Те «способности» и затраты, которые необходимы для выполнения ГПФ, считаются **полезными**, остальные — **избыточными**. Избыточные входы и выходы не просто бесполезные, но и вредные. Примеры этого повсюду: выхлопные газы автомобиля, шум работающих механизмов, тепловые загрязнения окружающей среды, пыль в воздухе, поступающем в цеха электронного производства... При этом следует подчеркнуть, что полезность и бесполезность входов и выходов относительна и зависит от ГПФ системы. Например, у электродвигателя, вращающего малошумный механизм, все выходы, кроме вращения вала (вибрация, шум, тепло), будут избыточными — вредными. А у электродвигателя, приводящего во вращение вибратор, вибрация перейдет в число полезных способностей. Если же во вращение приводится сирена, то полезным становится шум, а если помещение, в котором работает электродвигатель, нужно подогревать, то в число полезных способностей попадает и выделение тепла.

Совокупность полезных «способностей» определяет полезный результат функционирования ТС, называемый также **функциональным эффектом**. А отношение функционального эффекта к затратам называется **эффективностью** системы. В физическом плане эффективность функционирования определяется отношением полезного выхода ко всему входу. Для отдельных видов затрат физическая эффективность функционирования имеет вид таких распространенных характеристик, как коэффициент полезного действия, коэффициент использования времени, весовая отдача и др. Из определения эффективности видно, что она снижается с ростом избыточности ТС, то есть с увеличением доли бесполезных выходов и нереализованных свойств элементов. Кроме эффектив-



ности ТС в целом очень полезно выделять эффективность отдельных подсистем, сравнивая вклад этих ПС в общий полезный эффект с их долей затрат. Такой анализ помогает выявлять резервы совершенствования системы: эффективность вспомогательных ПС не должна быть заметно меньшей, чем эффективность ПС основных.

Своими входами и выходами ТС взаимодействует с окружением, осуществляя **внешнее функционирование**. При этом в окружении необходимо выделять объекты (системы), входящие вместе с данной ТС в систему более высокого ранга (надсистему — НС) в качестве ее подсистем. Кроме того, взаимодействующие с ТС объекты ее окружения могут входить в соседние надсистемы. Всю остальную часть окружения, связанную с системой, можно считать средой.

Столь конспективное и, в известной мере, упрощенное рассмотрение основных понятий, связанных с технической системой, не исчерпывает этой темы. Однако этих понятий и представлений о системе достаточно, чтобы на качественном уровне выполнить анализ ТС, уточняя ее состав, структуру, входы и выходы и акцентируя внимание на отмеченных выше наиболее важных характеристиках. (Более подробно процедура такого исследования системы, называемого предметно-функциональным анализом, изложена в [2, 3].)

* * *

Состав характеристик внешнего функционирования ТС по сути дела отражает условия связи системы с ее окружением. Основ-

ные требования к ТС, выполнение которых делает систему приемлемой для окружения таковы:

1) полезные «способности» ТС (ГПФ, функциональный эффект) должны соответствовать потребностям окружения (общества);

2) затраты на создание и функционирование ТС должны соответствовать возможностям окружения (ТС должна быть эффективной);

3) должно быть обеспечено надежное выполнение ГПФ (надежное функционирование) ТС;

4) вредные выходы ТС должны быть допустимы для окружения.

Эти требования, расположенные по степени их важности, отражают законы функционирования общества и поэтому определяют строение и развитие технических систем. Изменение в системе, способствующее выполнению этих требований, считается улучшением (положительным эффектом), а мешающее их выполнению — ухудшением (нежелательным эффектом).

Как видно из списка требований, определяющей характеристикой системы является ее функция (ГПФ). Со степенью выполнения функции связаны типы задач, которые необходимо решать при разработке и совершенствовании техники:

1) ГПФ не выполняется полностью (системы нет, требуется построение ТС с нуля);

2) ГПФ не выполняется частично (требуется достройка ТС);

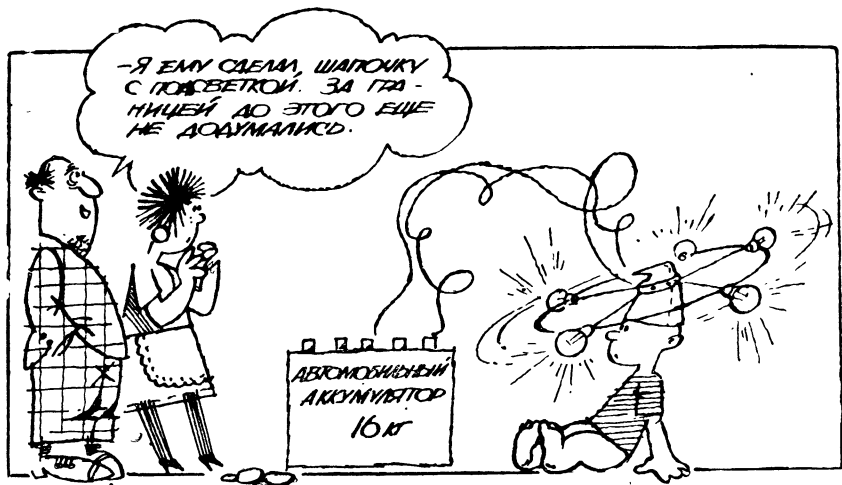
3) ГПФ выполняется, но положительные и нежелательные эффекты вступают в противоречие (требуется преобразование ТС).



Функционирование определяет и строение системы: **соответствие между функцией и структурой ТС** — это объективный закон, который проявляется через ряд закономерностей, имеющих вид требований к любым работоспособным ТС.

Каждая техническая система должна быть **функционально полной**, то есть состав ее подсистем (элементарных функций) должен быть достаточен для выполнения ГПФ системы. Требование это кажется элементарным, поскольку при грубом его нарушении ТС становится явно неработоспособной. Однако не редки случаи, когда для части элементарных функций, чаще всего вспомогательных, отсутствуют подсистемы, и тогда работа ТС обеспечивается за счет человека. Например, велосипед с педалями был создан в 1840 г., а тормоз на нем появился только в 1846 г. [6]. До этого велосипедист тормозил собственными башмаками. Функциональная неполнота ТС является причиной появления технических проблем при качественном росте потребностей и соответствующем расширении ГПФ системы. Это соответствует задаче на достройку системы, в результате решения которой ТС «обрастает» новыми подсистемами. К примеру, когда

обеспечение безопасности бегунов и собак от автомобильного транспорта в вечернее время осозналось как проблема, в США промышленность освоила производство кроссовок с подсветкой, а в Англии был изобретен ошейник для собак со светодиодами (причем подсистема подсветки в том и другом случаях имеет собственный источник питания).



Поскольку ГПФ системы характеризуется не только качественными признаками, но и количественными параметрами, работоспособная ТС должна иметь значение главного параметра, соответствующего ГПФ, не ниже некоторого минимального уровня — «параметрического порога». Для ТС «самолет», например, подобным порогом было создание подъемной силы, превышающей вес самолета на 10—20%. Только при этом условии самолет мог уверенно летать. Для ТС «пароход» параметрический порог был связан с расстоянием, которое пароход мог пройти без дозаправки топливом. Именно с преодолением этого порога был связан переход от речного парохода к морскому, а затем океанскому. Необходимость преодоления параметрического порога при существующих в данный исторический период ограничениях на технологические возможности общества определяет принцип действия создаваемой технической системы. Еще в XIX веке сторонники создания летательных аппаратов тяжелее воздуха были уверены, что человека в воздух поднимет винт (то есть ориентировались на принцип действия, называемый сейчас вертолетным). Не избежали этого увлечения и братья Райт. Но быстро убедились, что для реализации аппарата с несущим винтом нужен легкий и очень мощный двигатель, которого техника в то время дать не могла. Поэтому они обратились к самолетному принципу, при котором за счет аэродинамического качества крыла удалось

подняться в воздух в 1903 г. при скромной мощности двигателя в 12 л.с. А вертолет уверенно взлетел (на 18 м) только через 27 лет [21].

Соответствие между сочетаниями основных количественных параметров функционирования и наиболее подходящим принципом действия ТС диктуется в основном ограничениями на ресурсы, то есть экономическими требованиями. Физические возможности применения того или иного принципа действия всегда шире экономических. Переместить какой-либо объект на 10 м можно и за счет явления теплового расширения. Но нецелесообразно. Для примера на рис. 4 показано современное распределение различных транспортных средств [40] с разными принципами действия по «параметрическим нишам» масса — скорость.

Одним из проявлений закона соответствия функции и структуры является также требование **соответствия между изменчивостью условий функционирования и управляемостью** технической системы. ТС либо должна быть нечувствительной к изменению внешних условий и целей функционирования без нежелательных последствий, либо иметь изменяемые (управляемые) элементы, за счет которых она может приспособиться к этим изменениям. При этом для каждой ГПФ существует некоторый минимум («порог») управляемости, ниже которого опускаться нельзя. В истории техники известны случаи, когда ТС оказывались неработоспособными именно из-за недостаточной управляемости. Например, первый самоходный сухопутный экипаж с паровым двигателем француза Н. Ж. Кюньо (1769—1770 гг.). Чаше же неуправляемые ТС просто не оставляли следа в истории. В Европе, где направление ветра переменчиво, не удалось найти свидетельство о существовании ветряных мельниц, не имеющих возможности поворачивать ось вращения крыльев навстречу ветру. Правда, в наше время на западном берегу острова Крит успешно работают мельницы с валом ветряного колеса, фиксированным в одном положении. Они расположены на склоне горы и приводятся в действие в определенные часы поднимающимися с моря регулярными потоками воздуха [36]. Но это едва ли не единственное исключение, вызванное особыми характеристиками местности, лишь подтверждает общую закономерность. (Следует заметить, что нарушение требования о преодолении «порога управляемости» не редкость и в наши дни.)

Все технические системы можно разделить на два больших класса: динамические (машины) и статические (сооружения). В динамических ТС происходит обмен с окружением и преобразование потоков вещества, энергии и информации. Причем наиболее общим признаком является энергообмен, так как потоки вещества и информации обязательно сопровождаются энергопотоками или совпадают с ними. У сооружений нет явного обмена с окружением. Они характеризуются восприятием внешних воздействий, в основном энергетических, преобразованием их в усилия (напряжения) и передачу усилий к основанию сооружения (грунту). С некоторой долей условности картину механических напряжений

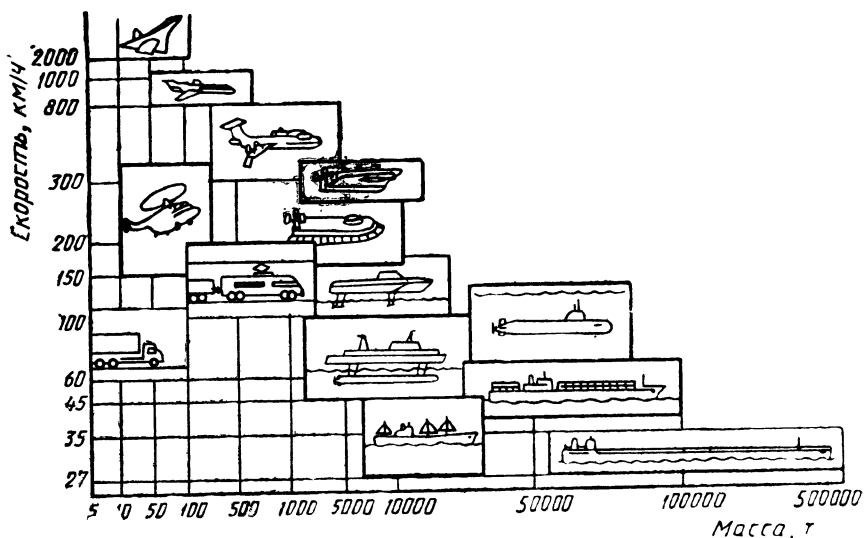


Рис. 4. Распределение принципов действия транспортных технических систем по «параметрическим нишам» масса — скорость

в сооружении тоже можно считать как бы «застывшим» энергопоток.

Поэтому можно сформировать общее требование ко всем ТС: техническая система должна быть **энергетически проводимой** (обеспечивать прохождение энергии по всем своим частям) и **энергетически полной** (обеспечивать все необходимые преобразования энергии в системе).

В технологической системе, предназначенной для обработки (изменения) материальных предметов (изделий), в общем случае присутствуют следующие энергетические компоненты: источник энергии, преобразователь энергии источника к требуемому виду (двигатель), передача энергии от двигателя к инструменту (трансмиссия), инструмент, осуществляющий энергетическое взаимодействие с изделием, а также орган управления. При этом основной энергопоток идет через инструмент к изделию.

Аналогичные компоненты есть в энергопотоках информационных («измерительных») и энергетических систем, часть из них есть и в сооружениях. Однако в них энергопоток идет, как правило, от изделия к инструменту.

Разумеется, полный набор энергетических компонентов встречается далеко не всегда. Обязательно должны быть только изделие и инструмент. Под **изделием** понимается элемент системы, в преобразовании или сохранении (стабилизации) свойств которого или в получении информации о котором заключается функция этой системы. Причем изделие — это не только конечный продукт функционирования ТС («товар»), но и исходное «сырье», обраба-

тываемое системой. **Инструментом** считается элемент, непосредственно взаимодействующий с изделием с целью получения полезного результата (выполнения функции ТС). В токарном станке, например, можно выделить два основных инструмента: резец и патрон, придающий детали вращательное движение.

Реальные системы обычно включают в себя части разных функциональных типов. В любом станке элементы, обеспечивающие изменение изделия, крепятся на станине, которая по сути является сооружением. В измерительных приборах сигнал, несущий информацию о состоянии изделия, после его получения в «измерительном» блоке может затем подвергаться обработке в «изменительных» блоках (фильтроваться, усиливаться, переводиться на другие носители). Поэтому, анализируя энергетические потоки в ТС, целесообразно рассматривать отдельные подсистемы, выполняющие элементарные полезные функции. В каждой подсистеме соответственно выделяются свои изделие и инструмент. (В пределе любую систему можно разбить на функциональные пары взаимодействующих элементов, один из которых будет считаться изделием, а другой — инструментом.)

Поскольку один и тот же элемент может входить в несколько подсистем, инструмент одной ПС может оказаться изделием в другой. Резец токарного станка (инструмент по своему основному назначению) входит как изделие в подсистемы перемещения резца и охлаждения.

Сложность структуры (то есть сложность элементов и взаимодействий между ними) также **должна соответствовать сложности функционирования**. Например, сложную по форме деталь можно изготовить за счет сложных воздействий простого инструмента (ковка, чеканка), либо за счет простого воздействия сложного инструмента (штамповка).

При этом для заданной ГПФ всегда есть некоторый минимальный уровень сложности структуры, обеспечиваемый соответствующим подбором принципа действия. А при заданных ГПФ и ПД — оптимизацией организации системы в пространстве и во времени.

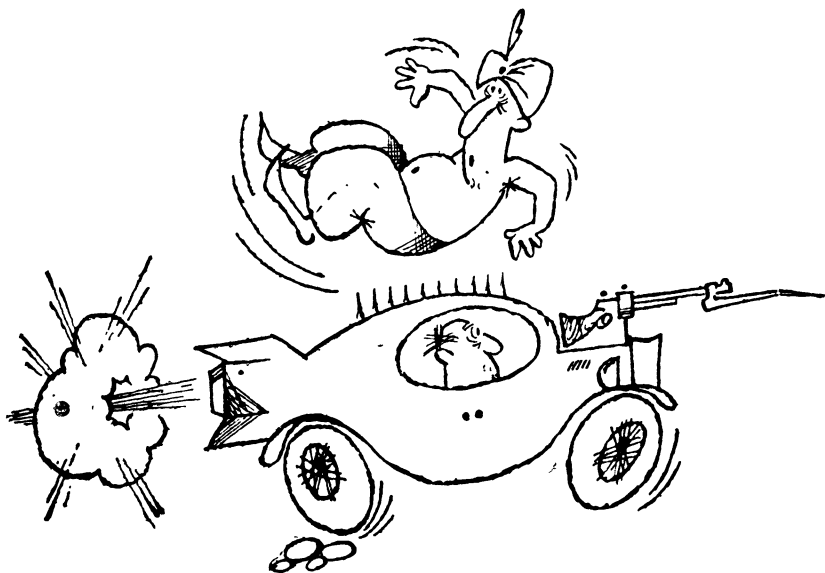


Рассмотренные закономерности, являющиеся частью законов построения технических систем, необходимы как основание для аппарата решения задач на построение и достройку ТС. Кроме того, поскольку законы построения ТС действуют на всех этапах жизненного цикла систем, описанные закономерности необходимы и для рассмотрения развития технических систем. Ведь процесс развития ТС можно представить как устранение рассогласования между требуемым функционированием и имеющимся составом и структурой системы. Формы устранения этого рассогласования также закономерны и связаны с разрешением противоречий.

Глава 3

ПРОТИВОРЕЧИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ,

*а также о том,
почему нет худа без добра,
почему гибнут морские танкеры,
почему конструкторы мучились с винтовкой;
кроме того,
о гоночном автомобиле,
о реве реактивного самолета,
об аккумуляторах
и, наконец,
о ложе факира, том самом, что из одних гвоздей*



«Нет худа без добра и добра без худа». Справедливость этой поговорки, отражающей диалектическую, противоречивую природу нашего мира, известна каждому изобретателю, каждому разработчику новой техники. Нет ни одного технического новшества, введение которого не повлекло бы за собой кроме положительного эффекта еще и эффект нежелательный. Распространение компьютеров и микроэлектроники, к примеру, открывает перед человеком огромные возможности совершенствования почти всех областей деятельности — и одновременно порождает проблему утилизации отработавших полупроводников, микробатареек и других деталей электроники, содержащих ртуть, мышьяк, прочие ядовитые ингредиенты.

Этот пример наглядно иллюстрирует действие закона единства и борьбы противоположностей, который В. И. Ленин назвал «ядром диалектики». В соответствии с этим законом источником развития технических систем, как и всякого другого объекта материального мира, является борьба противоположностей, связанных с этими системами. А само развитие выглядит как процесс зарождения, обострения и разрешения противоречий, присущих ТС.

Особенность связи диалектического противоречия с развитием заключается в том, что противоречие выступает как источник самодвижения и саморазвития.

Технические системы, созданные человеческой цивилизацией, не являются саморазвивающимися в подлинном смысле этого слова. Все изменения в ТС — дело рук человека. Поэтому технический прогресс, как процесс развития технических систем, должен рассматриваться в системе «общество — техника» как орудие разрешения противоречия между потребностями общества и возможностями их удовлетворения с помощью технических средств [32, 49]. Это противоречие, которое можно назвать **социально-техническим противоречием** [39], принимает разные формы.

При возникновении качественно новой потребности общества социально-техническое противоречие возникает сразу и в чистом виде; потребность есть, а нужного технического средства и, соответственно, возможности удовлетворения этой потребности нет (то есть возникает задача на построение ТС).

Некоторые противоречия, возникнув, остаются неразрешенными столетиями или даже тысячелетиями. Примером может служить проблема освоения воздушного пространства. Подняться в небо и пролететь над землей было давней мечтой человека. И люди упорно искали технические средства для осуществления этой мечты. Дедал и Икар, Леонардо да Винчи, Х. Гюйгенс, М. Ломоносов, Д. Кейли, А. Можайский, братья Райт, К. Циолковский... И, наконец, во второй половине XX века: «В отпуск и командировку — самолетами». Проблема решена, мечта стала реальностью. Другие противоречия разрешаются почти одновременно с появлением. Ибо зачастую качественно новая потребность появляется тогда, когда осознается возможность ее удовлетворения. Так было, например, когда Эдисон, поняв, что звук так же, как и изобра-

жение, можно зафиксировать, создал свой фонограф, соединив в новую комбинацию известные элементы.

В любом случае появление качественно новой общественной потребности, удовлетворить которую необходимо с помощью техники, порождает новый функциональный класс технических систем. Число таких классов сравнительно невелико, рождаются они не так часто. Соответственно проблемы, связанные с появлением качественно новой потребности, — явление сравнительно редкое (хотя частота их появления по мере ускорения темпов технического прогресса и увеличения доли передаваемых машине функций человека растет).

Гораздо более частый случай — количественный рост общественных потребностей. При этом сначала возникает количественная диспропорция между потребностью и возможностью ее удовлетворения. Эта диспропорция поначалу устраняется за счет соответствующего количественного изменения параметров известной технической системы, не меняя ее качественно. Однако с некоторого момента догонять потребность за счет такого изменения параметров ТС становится все труднее, и диспропорция превращается в социально-техническое противоречие, которое постепенно обостряется. Требуется качественно изменить ТС.

Почему же известное, проверенное техническое средство вдруг перестает удовлетворять растущую потребность? Дело в том, что любое, даже небольшое изменение в системе, направленное на улучшение одной из ее сторон, одновременно приводит к ухудшению другой стороны, к нежелательному эффекту. Увеличение количества углерода в стали улучшает ее прочностные качества и одновременно ухудшает способность противостоять ударным нагрузкам. Рост грузоподъемности танкера увеличивает его транспортную эффективность, но, из-за соответствующего роста водоизмещения, ухудшает маневренные качества судна и создает повышенную экологическую опасность. Аварии танкеров с тяжкими экономическими и экологическими последствиями тому подтверждение.

Увеличение числа инструментов в наборе улучшает возможности дифференцированного воздействия на изделие, но ухудшает условия работы с набором, который становится более громоздким.

Такое единство улучшения и ухудшения сторон ТС, единство положительного и нежелательного эффектов, обусловленное изменением или состоянием некоторой части системы, называется **техническим противоречием** [3].

$$ТП = ПЭ + НЭ; \quad ТП = (ПЭ \rightarrow НЭ),$$

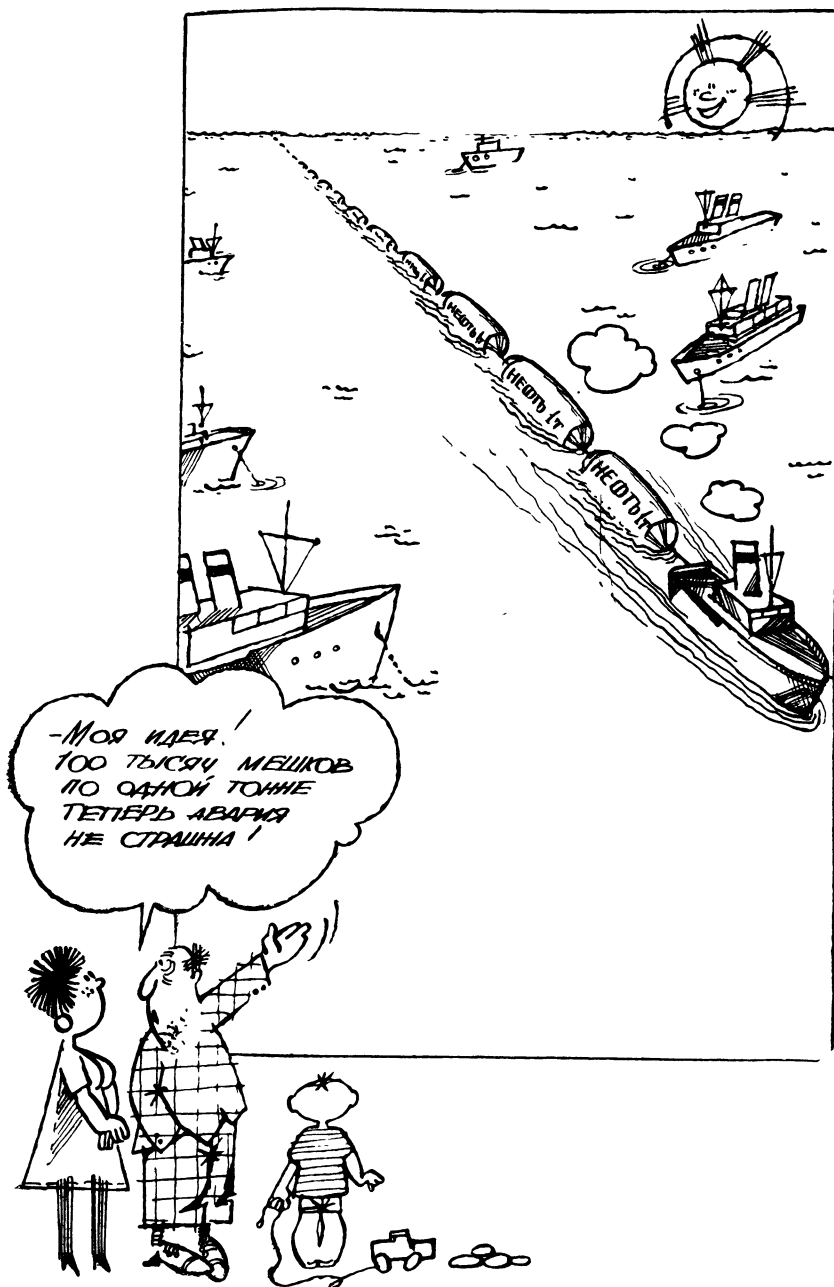
где ТП — техническое противоречие;

ПЭ — положительный эффект;

НЭ — нежелательный эффект;

ПЭ $\rightarrow$ НЭ — ПЭ причина НЭ.

Техническое противоречие — это диалектическое противоречие технической системы в данной системе отношений. Каждая ТС.



может быть охарактеризована присущим ей «букетом» технических противоречий не менее красноречиво, чем комплексом обычных параметров. Эти противоречия рождаются вместе с созданием системы и изменяются или исчезают при качественном изменении этой системы или ее окружения. Причем главные противоречия, связанные с принципом действия системы, определяют те проблемы, которые постоянно приходится решать в процессе совершенствования этой ТС. Например, самолетный принцип действия приводит к необходимости разбега при взлете и пробега при посадке. Это порождает ТП между летным и взлетно-посадочным качествами самолета, необходимость разрешения которого привела к массе изобретений: от механизации крыла до создания гибридных аппаратов с вертикальным взлетом и посадкой. Именно техническое противоречие является источником развития технической системы, если рассматривать это развитие как относительно самостоятельный процесс.

Пока положительный эффект превышает нежелательный, техническое противоречие мало заметно. Когда же ухудшение начинает приближаться к границам допустимого, ТП начинает обостряться. Соответственно диспропорция между потребностью и возможностью ее удовлетворения перерастает в социально-техническое противоречие, которое начинает обостряться вместе с техническим противоречием. При разрешении или устранении ТП одновременно разрешается и СТП. Таким образом, новые технические решения, предполагающие качественное изменение исходной системы (то есть решение задачи на преобразование ТС), связано с разрешением обостренного технического противоречия. (Следует отметить, что связь устранения ТП с созданием изобретения была выявлена более 30 лет назад, хотя представление о техническом противоречии в то время было не совсем верным [19].)

Понятие «техническое противоречие» очень важно для направленного поиска новых технических решений. Поскольку ТП (в отличие от социально-технического противоречия) увязывает противоположности внешнего функционирования с внутренним функционированием, с составом и структурой системы, с состоянием ее элементов, познание форм и механизма разрешения технического противоречия, а также анализ конкретных противоречий позволяют создать аппарат, подсказывающий направления к решению.

* * *

Рассмотрим сущность разрешения технического противоречия. Разрешить обостренное техническое противоречие — значит перевести техническую систему в такое состояние, при котором ухудшение одной из ее сторон, связанной с данным противоречием, перестает быть недопустимым, угрожающим. Поскольку понятие «ухудшение стороны ТС» зависит от окружения системы, от критериев ее оценки, разрешить техническое противоречие можно как за счет изменения ее внутреннего функционирования при неизменных

внешних связях и оценках, так и за счет изменения внешнего функционирования ТС.

При устранении обострения технического противоречия стороны технической системы, составляющие это ТП, либо остаются противоположностями, либо перестают быть ими. В последнем случае можно сказать, что данное техническое противоречие устранено полностью. Однако технических систем без противоречий не бывает. Вместо устраненного ТП возникает другое, которое должно быть необостренным. В противоположном случае устранение исходного технического противоречия нельзя считать приемлемым.

Чтобы лучше уяснить сущность понятий «разрешение» и «устранение» технического противоречия, обратимся к примеру из работы Ф. Энгельса «История винтовки» [9]. У ружья или винтовки, заряжаемых с дула, с увеличением длины ствола улучшается способность к штыковому бою и ухудшается скорострельность (рис. 5). Пока ружье было гладкоствольным, условие обеспечения приемлемых скорострельности ($B_1 \geq B_{\min}$) и способности к штыковому бою ($A \geq A_{\min}$) выполнялось ($l_A \leq l \leq l_{B_1}$, при $l_A < l_{B_1}$). Противоречие между скорострельностью и способностью к штыковому бою существовало, но было необостренным. В этих условиях, меняя длину ствола в пределах от l_A до l_{B_1} , можно было варьировать степень улучшения и ухудшения указанных сторон ружья, осуществляя компромисс.

Когда ствол ружья стали делать с нарезам и ружье превратилось в винтовку, ситуация изменилась. Заряжать винтовку пулей, врезающейся в нарезы, стало труднее и при прежней длине ствола скорострельность существенно уменьшилась (B_2). Теперь уже приемлемые значения скорострельности и способности к штыковому бою не удавалось обеспечить, так как для этого должно было выполняться невыполнимое условие: $l_A \leq l \leq l_{B_2}$ при $l_A > l_{B_2}$. Противоречие обострилось до крайности.

Изобретательская мысль заработала, и была создана пуля, меняющая свой диаметр. При зарядании она была тонкая и легко проходила в ствол, а затем с помощью ударов шомпола до выстрела или под действием газов при выстреле утолщалась и врезалась в нарезы. Зависимость скорострельности от длины ствола стала такой же, как и у гладкоствольного ружья ($B_3 \equiv B_1$). Произошло разрешение противоречия, которое осталось, но стало необостренным. Когда же сделали винтовку, заряжавшуюся с казенной части, то скорострельность (B_4) перестала зависеть от длины ствола. Противоречие между скорострельностью и способностью к штыковому бою исчезло, так как эти стороны перестали быть противоположными. Произошло устранение противоречия.

Из приведенного примера видно, что разрешение ТП связано, как правило, с менее кардинальными изменениями в системе, чем устранение противоречия. Кроме того, степень значительности изменения в ТС при разрешении или устранении ТП зависит от его значимости, от связи этого противоречия с принципом действия системы (подсистемы).

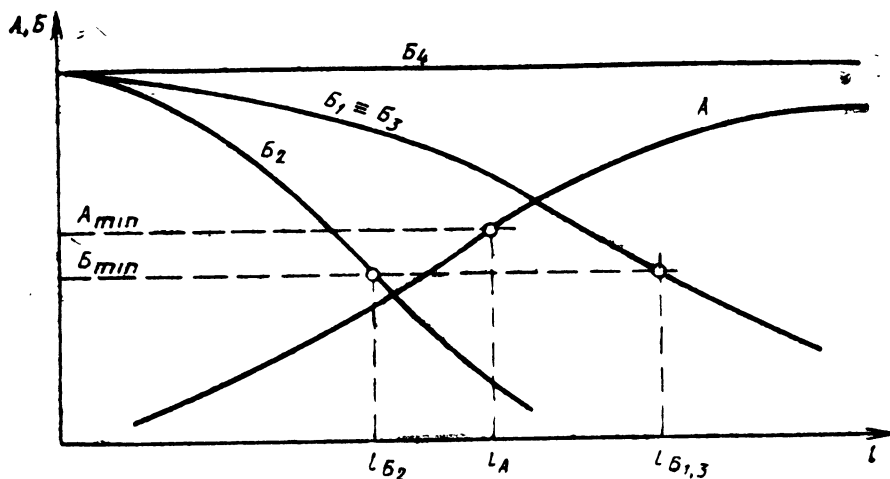


Рис. 5. Связь сторон систем «ружьё» и «винтовка» с длиной ствола l : A — способность к штыковому бою; B — скорострельность (B_1 — ружья; B_2 — винтовки, заряжаемой с дула обыкновенной пулей; B_3 — винтовки, заряжаемой с дула пулей, меняющей диаметр; B_4 — винтовки, заряжаемой с казенной части); $A_{\min}$, $B_{\min}$ — минимально допустимые уровни сторон A и B ; l_A — длина ствола при $A=A_{\min}$; l_B — длина ствола при $B=B_{\min}$.

Пример и график на рис. 5 показывают также, что судить об обострении, разрешении или устранении ТП можно лишь на основании количественного анализа системы. При этом противоречие проявляется в виде несовместимых неравенств.

Каждое изменение в системе, направленное на разрешение (или устранение) технического противоречия, приводит, разумеется, к возникновению новых ухудшений. Пуля, диаметр которой «отзывчив» к действию пороховых газов или ударов шомпола, оказалась чувствительной и к другим внешним воздействиям, что приводило к ее порче при хранении или транспортировке. Затвор в казенной части ствола заметно усложнил конструкцию винтовки. Поэтому, работая с техническим противоречием, необходимо не столько стремиться к устранению исходного НЭ, сколько добиваться снятия обострения всего комплекса нежелательных эффектов: и исходного и возникающих вновь.

* * *

Начинать работу с противоречием надо с его выявления на качественном уровне. Из определения ТП следует, что для этого необходимо установить, как связаны между собой положительный и нежелательный эффект через внутреннее функционирование ТС. Другими словами, необходимо построить причинно-следственную цепочку между улучшаемой и ухудшаемой сторонами систем [3].

Улучшаемая сторона ТС
(положительный эффект)

|
Основные признаки ТС на уровне внутреннего функционирования (изменения в системе или ее состоянии), обеспечивающие улучшение указанной стороны

|
Последствие этих признаков (изменений, состояния) в виде эффектов и явлений на уровне свойств и взаимодействий элементов

ТС

|
Ухудшение другой стороны ТС (нежелательный эффект)

Для винтовки, заряжаемой с дула, такая причинно-следственная цепочка имеет вид:

Улучшение способности к штыковому бою
(положительный эффект — ПЭ)

|
Штык достаточно удален от приклада

|
Большая длина ствола

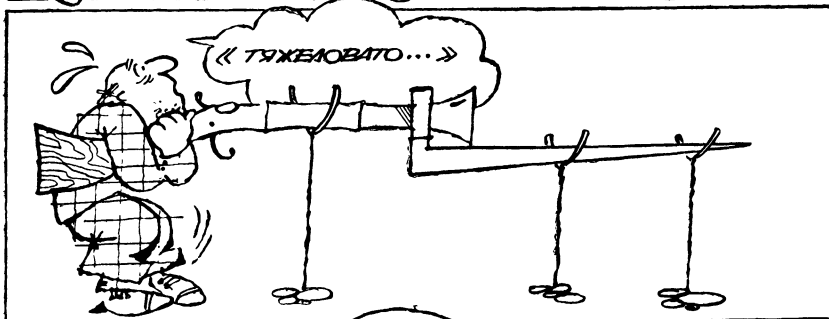
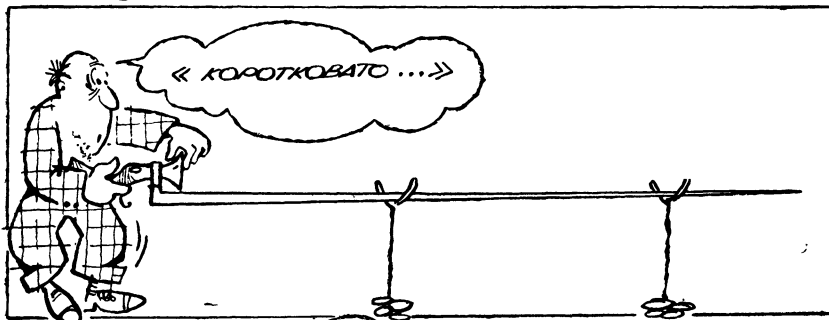
|
Пуля при заряде проходит большой путь

|
Большие затраты времени на зарядание

|
Большие интервалы между выстрелами

|
Низкая скорострельность (нежелательный эффект — НЭ)

Если начать движение по полученной цепочке снизу, от нежелательного эффекта к положительному, то можно заметить, что каждое из четырех звеньев выше позиции «нежелательный эффект» (включая звено «большая длина ствола») представляет собой как бы ответ на вопрос «Почему?» по отношению к ближайшему нижестоящему звену. А начиная со звена «большая длина ствола» вопрос «Почему?» сменяется на вопрос «Для чего?». Такое «пограничное» звено причинно-следственной цепочки является узлом противоречия и описывает состояние части ТС, которое обеспечивает существование положительного эффекта и одновременно является причиной нежелательного эффекта. Эта часть системы, называемая **узловым компонентом**, может иметь вид элемента, группы элементов или взаимодействия элементов системы. Состояние узлового компонента может иметь вид количества не-



которого параметра (или изменения этого количества), наличия или отсутствия параметра, самой части системы.

Связь состояния узлового компонента с улучшаемой и ухудшаемой сторонами технической системы, составляющая упрощенную логическую структуру ТП, представлена на рис. 6,а. Из приведенной схемы видно, как однозначное состояние части системы на уровне внутреннего функционирования ТС раздваивается на противоположности: на улучшение и ухудшение внешних сторон системы. Там же показано, что техническое противоречие может существовать в двух симметричных формах (ТП' и ТП''), соответствующих двум противоположным состояниям узлового компонента и, соответственно, двум состояниям системы. Пример структуры ТП для ТС «винтовка, заряжаемая с дула», показан на рис. 6,б. Соответствующие формулировки технического противоречия имеет вид:

«улучшение способности к штыковому бою за счет большой длины ствола винтовки ухудшает ее скорострельность» или «улучшение скорострельности винтовки за счет уменьшения длины ее ствола ухудшает способность к штыковому бою».

* * *

Выявление технического противоречия необходимо не само по себе, а для того, чтобы на основе анализа противоречия наметить пути его разрешения. (Следует отметить, что, хотя термин «техническое противоречие» используется в ряде методов, анализ противоречия для повышения направленности поиска в полной мере применяется только в комплексном методе поиска новых технических решений [3].)

В соответствии с законами диалектики механизм разрешения противоречий заключается в **диалектическом отрицании**.



Применительно к техническому противоречию отрицанию (инверсии) должен подвергнуться нежелательный эффект, а положи-

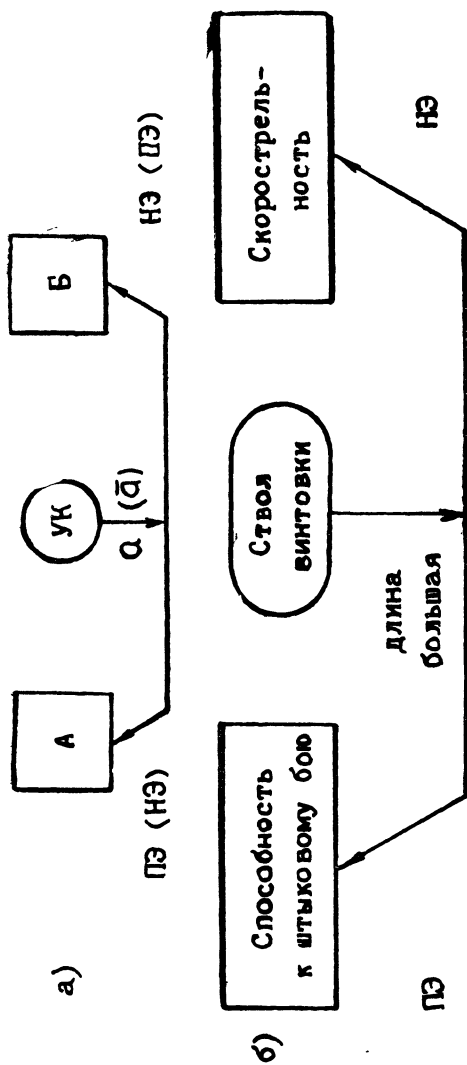


Рис. 6. Упрощенная логическая структура технического противоречия и пример для ТС «винтовка, заряжаемая с дула»:

$$ТП' = (ПЭ\ A + НЭ\ B) (a\ УК);$$

$$ТП'' = (НЭ\ A + ПЭ\ B) (\bar{a}\ УК).$$

$ТП$ — техническое противоречие; A, B — стороны $ТС$ на уровне внешнего функционирования; $УК$ — узловой компонент (часть системы); a — состояние узлового компонента (на уровне внутреннего функционирования); $\bar{a}$ — инверсия (отрицание) a (не a : антия); $ПЭ$ — положительный эффект (улучшение); $НЭ$ — нежелательный эффект (ухудшение).

тельный должен остаться:

$$\overline{ПП} = ПЭ + \overline{НЭ},$$

где $\overline{НЭ}$ — отрицание (инверсия) НЭ.

Поскольку положительный и нежелательный эффекты соединены между собой причинно-следственной цепочкой, то отрицание НЭ предполагает отрицание звеньев этой цепочки (кроме самого улучшения).

Если сопоставить друг с другом две цепочки: исходную и полученную после отрицания — и наметить возможные варианты перехода с одной на другую (от положительного эффекта к отрицанию нежелательного эффекта), то получим возможные направления разрешения технического противоречия, соответствующие особенностям данной системы (рис. 7). Эта процедура в комплексном методе поиска новых технических решений называется «оператором отрицания» [3].

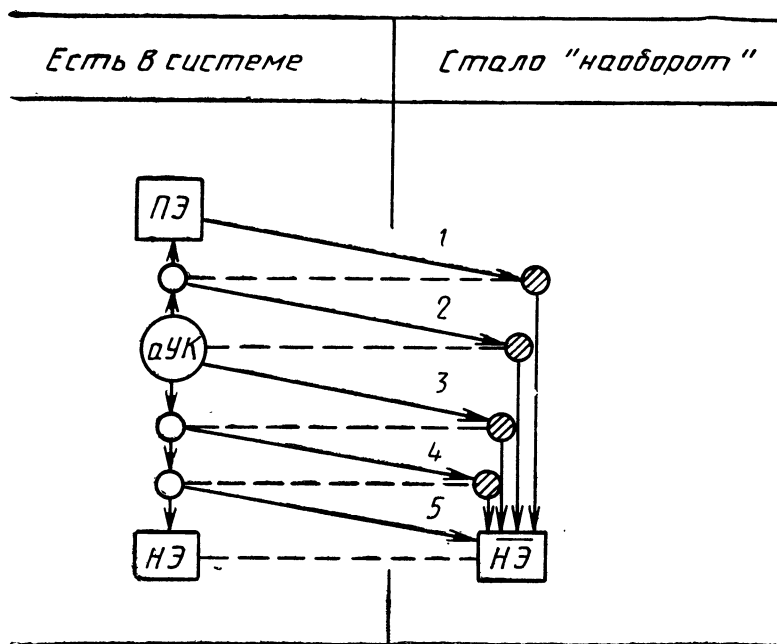


Рис. 7. Схема построения направлений разрешения технического противоречия через отрицание звеньев причинно-следственной цепочки:

ПЭ — положительный эффект; НЭ — нежелательный эффект; $\overline{НЭ}$ — отрицание (устранение) НЭ; аУК — состояние узлового компонента:  — звенья

причинно-следственной цепочки;



— отрицание звеньев причинно-след-

ственной цепочки; 1—5 — направления разрешения противоречия.

Обратимся к примеру. Масса гоночного автомобиля должна быть минимальной, чтобы обеспечить хорошие маневренные характеристики. Особенно разгон и торможение. Однако у легкого автомобиля колеса слабо прижимаются к поверхности дороги, что ухудшает попутную устойчивость.

Отрицание звеньев причинно-следственной цепочки этого противоречия приведено в таблице 1.

В результате получаем такие направления разрешения противоречия:

Таблица 1

Отрицание звеньев причинно-следственной цепочки технического противоречия
«маневренность — устойчивость автомобиля»

Есть в системе	Стало "наоборот"
Улучшение маневренных характеристик автомобиля	—
Малая масса автомобиля	1 Большая масса автомобиля
Малый вес автомобиля	2 Большой вес автомобиля
Малая сила прижима колес к поверхности дороги	3 Большая сила прижима колес к поверхности дороги
Слабое сцепление колес с поверхностью дороги	4 Сильное сцепление колес с поверхностью дороги
Малая боковая сила на колесе при боковом перемещении автомобиля	5 Большая боковая сила на колесе
	6 Большая боковая сила не на колесе
Ухудшение попутной устойчивости автомобиля	7 Хорошая попутная устойчивость автомобиля

1) хорошие маневренные характеристики при большой массе автомобиля;

2) большой вес автомобиля при малой его массе;

3) большая сила прижима колес к поверхности дороги при малом весе автомобиля;

4) сильное сцепление колес с поверхностью дороги при малой силе прижима;

5) большая боковая сила на колесе при слабом сцеплении колес с поверхностью дороги;

6) большая боковая сила не на колесе, а на каком-то другом средстве (элементе);

7) хорошая путевая устойчивость при слабой боковой силе.

Управлять гравитацией (направление 2) мы пока не умеем, а для остальных направлений известны следующие решения:

— применение ускоряющих и тормозных двигателей (1);

— создание силы прижима колес к дороге за счет энергии набегающего на автомобиль воздушного потока (за счет формы кузова и установки «антикрыльев») (3);

— профилировка покрышек по ширине (5);

— применение аэродинамических стабилизирующих (и управляющих) плоскостей (6, 7).

Сравнение этих решений с формулировками направлений разрешения технического противоречия показывает, что уже из формулировки направления можно увидеть, с преобразованием какой части ТС связана реализация этого направления. Поэтому при ограничении на изменение системы в той или иной части можно сразу же отбросить направления, нарушающие ограничение.

К примеру, если на изменение колес наложен запрет, то направления 4 и 5 можно не рассматривать.

Условием успешного применения «оператора отрицания» является тщательная отработка причинно-следственной цепочки. Практика показывает, что построение логичной и достаточно дробной цепочки требует не менее двух-трех приближений. Чем более подробно будут выявлены условия, приводящие к НЭ и составляющие причинно-следственные звенья, тем больше потенциальных путей разрешения противоречия удастся наметить. С не меньшей тщательностью следует проводить и отрицание звеньев цепочки. При этом инверсии надо подвергать каждый из существенных признаков. Например, для звена «взаимодействие разнородных диэлектриков» после отрицания получаем такие формулировки: «Нет взаимодействия разнородных диэлектриков. Взаимодействие однородных диэлектриков. Взаимодействие проводника с диэлектриком (проводником)».

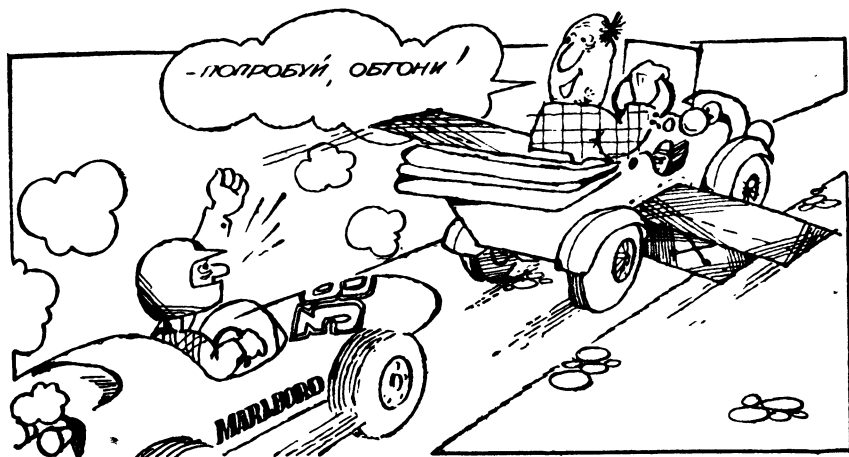
Если при составлении причинно-следственной цепочки подробно расписать причины возникновения нежелательного эффекта и составить все возможные варианты «наоборот», то подсказка получается довольно близкой к решению. Например, у авиационных реактивных двигателей для получения хорошей тяги при жестких ограничениях на массу и размеры двигателя скорость реактивной струи должна быть большой. Но взаимодействуя с неподвижным воздухом, частицы струи на ее границах сильно завихряют его, порождая всем знакомый рев реактивного двигателя [42]. Возьмем одно звено этого противоречия: «скоростные частицы реактивной струи на ее границах взаимодействуют с неподвижным воздухом», и сделаем операцию отрицания.

Получается:

— с неподвижным воздухом взаимодействуют нескоростные частицы;

— с неподвижным воздухом взаимодействуют частицы нереактивной струи;

— скоростные частицы струи взаимодействуют с подвижным (движущимся) воздухом;



— скоростные частицы струи взаимодействуют с неподвижным воздухом не на границах струи.

Если попытаться объединить все это, то видна идея решения проблемы: вокруг реактивной струи создается слой воздуха, движущегося в том же направлении, но с меньшей скоростью. Этот принцип реализован в двухконтурных и турбовентиляторных реактивных двигателях, которые в настоящее время широко применяются в дозвуковой транспортной авиации.



При построении причинно-следственных цепочек надо учитывать, что линейная структура противоречия в чистом виде встречается сравнительно редко.

Как правило, структура технического противоречия имеет сложный вид. На рис. 8 представлены связи между положительными и нежелательными эффектами для ТС «винтовка, заряжаемая с дула». На этой схеме ПЭ₁, ПЭ₂ и ПЭ₃ — улучшения функциональных характеристик ТС, а НЭ — ухудшение одной из них. ПЭ₄ и ПЭ₅ связаны с упрощением конструкции, характеризующим снижением затрат на изготовление. Из схемы, в частности, видно, что обостренное противоречие воспринималось по линии ПЭ₃ ↔ НЭ, в то время как это обострение связано и со всеми другими ПЭ.

Технические решения, разрешившие противоречие, пошли по направлениям отрицания ПЭ₅ и ПЭ₄, то есть за счет увеличения затрат, но не в ущерб функциональным характеристикам. Это соответствует приоритету функции перед экономичностью в списке требований к ТС со стороны окружения, приведенном в предыдущей главе.

Полная (сложная) структура технического противоречия строится так же, как и простая причинно-следственная цепочка (от НЭ с помощью вопросов «Почему?» и «Для чего?»). Построение полной структуры ТП требует несколько большего времени, чем выявление противоречия по упрощенной схеме. Однако полная струк-

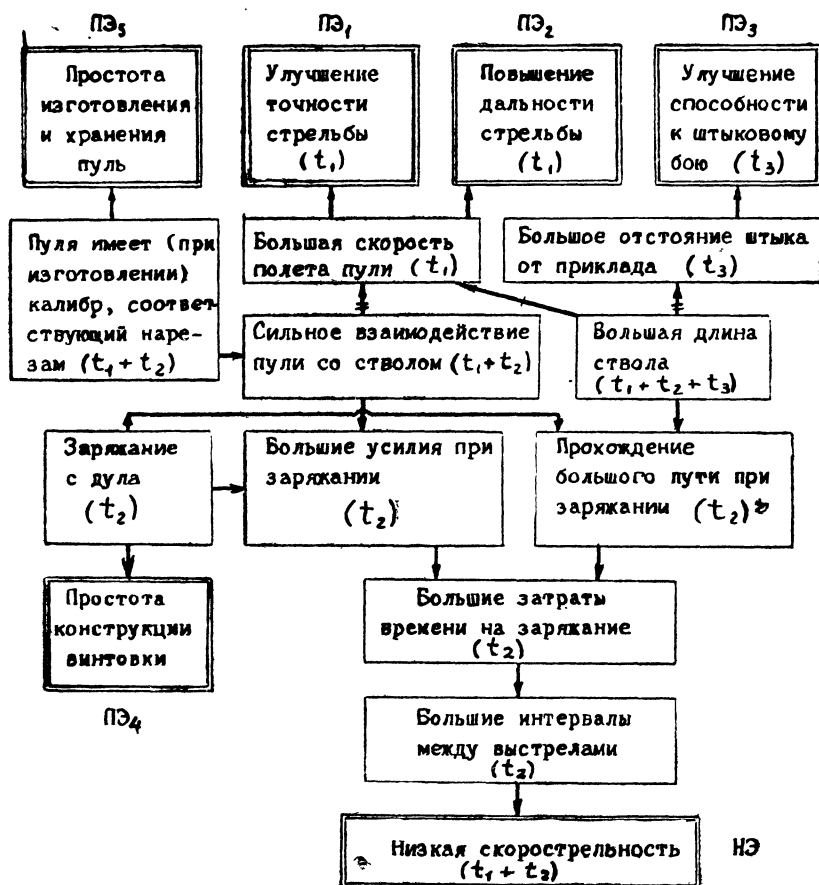


Рис. 8. Причино-следственные связи между положительными и нежелательными эффектами ТС «винтовка, заряжаемая с дула»:

t_1 — время выстрела; t_2 — время зарядания; t_3 — время штыкового боя;

▬→ более сильное влияние; |→ менее сильное влияние.

тура позволяет не только наметить возможные направления разрешения данного ТП, но и выявить новые нежелательные эффекты, соответствующие этим направлениям. На такую структуру удобнее накладывать ограничения. Многоаспектность рассмотрения ТП позволяет использовать законы построения и развития ТС при выборе направлений разрешения противоречий. В результате выбор направлений получается более обоснованным.

Обычно разрешение противоречия противопоставляют компромиссу. Но при разрешении любого ТП неизбежно возникают новые нежелательные эффекты, новые противоречия. Поэтому любое решение — это компромисс. Надо только различать компромисс в рамках одного простого (линейного) ТП (одного качественного состояния системы) от компромисса между разными простыми ТП (несколькими качественными состояниями системы). В последнем случае вероятность получения действительно оптимального решения значительно выше. Осуществить же компромисс между ТП без выявления полной структуры противоречия невозможно.



Если при отрицании технического противоречия ограничиться рассмотрением только узлового звена причинно-следственной цепочки, то получается, что для устранения нежелательного и сохранения положительного эффекта необходимо совместить два противоположных состояния узлового комплекта: a и $\bar{a}$. Это явно видно из упрощенной логической структуры ТП (рис. 6,а). Например, количество углерода в стали должно быть большим (для улучшения прочностных качеств) и должно быть маленьким (чтобы не ухудшалась способность противостоять ударным нагрузкам). Или: число инструментов в наборе должно быть большим (чтобы улучшить возможности обработки изделия) и должно быть маленьким (чтобы набор не был громоздким). Стремясь убрать конфликтующие, противоречивые отношения между внешними сторонами технической системы, получим противоречие на уровне внутреннего функционирования системы. Такое противоречие, в отличие от технического, называется **физическим противоречием** (ФП) [1, 3, 17].

Необходимо отметить, что термин «физическое противоречие» в определенной степени условен. Состояние узлового компонента может отражать не только физические, но и химические или биологические свойства элементов системы.

(Название «физическое противоречие» для этой логической конструкции предложил в 1973 г. бакинский физик Ю. В. Горин, подчеркивая этим, что отношения противоречия перенесены на уровень физических свойств и взаимодействий элементов системы, как наиболее общих для ТС).

Логическая структура физического противоречия в общем виде представлена на рис. 9,а, а пример для системы «винтовка, заряжаемая с дула» — на рис. 9,б. Типовая формулировка ФП имеет вид: Состояние узлового компонента ($aУК$ — указать) должно

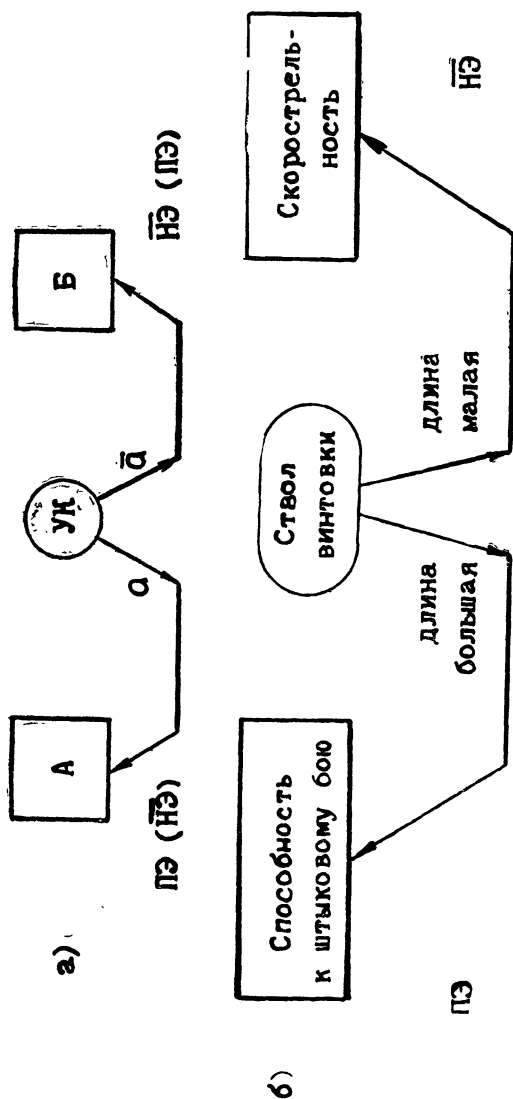


Рис. 9. Логическая структура физического противоречия и пример для ТС «винтовка, заряжаемая с дула»:

$$\text{ФП} = a\text{УК}(\text{пэ } А) + a\text{УК}(\text{нэ } Б).$$

ФП — физическое противоречие; нэ — отрицание нежелательного эффекта; (остальные обозначения — см. рис. 6).

быть (должно быть большим), чтобы улучшить сторону А (указать), и не должно быть (должно быть маленьким, должно быть противоположным — $\bar{a}$ УК), чтобы не ухудшать (улучшать) сторону Б (указать)».

Как видно из рис. 6 и 9, физическое противоречие однозначно связано с техническим: каждому ТП соответствует ФП и наоборот. Физическое противоречие — это, по сути дела, форма выражения проблемы устранения технического противоречия, частный случай антиномий-проблем, известных в философии и формальной логике [29].

Главная ценность физического противоречия заключается в том, что в форме ФП легче всего выявлять противоречие при заданных состояниях или свойствах одной из частей ТС, а также при формировании требований к этой части (что очень часто встречается в процессе поиска). Если заданные состояния, свойства или требования несовместимы (противоположны), то в системе есть противоречие. При этом надо отыскать стороны системы, для улучшения которых нужны эти состояния, свойства или требования, и составить структуру ФП, от которой легко перейти к структуре ТП.

Формулировка физического противоречия, как и все формулировки антиномий-проблем, обладает большой эвристической ценностью. Представляя в предельно обостренной форме проблему устранения ТП, физическое противоречие в то же время указывает и условие этого устранения. Причем на том же уровне (свойств и взаимодействия элементов ТС), на котором формируется техническое решение. (Учитывая эвристическую ценность ФП, правильное было бы называть эту форму выражения проблемы устранения ТП эвристическим противоречием).

Если с позиций формальной логики выражения типа ФП — это тупик, ошибка, то с позиций диалектической логики несовместимость — понятие относительное. Несовместимость истина лишь при определенных условиях, при их абсолютизации. Поэтому для совмещения несовместимых требований к узловому компоненту надо проанализировать систему и найти «зацепку», найти тот аспект, в котором эти требования противоположны не абсолютно. При этом необходимо использовать специальные принципы разрешения физического противоречия [1, 3]. В первую очередь необходимо проверить, действительно ли необходимо совмещать оба противоположных состояния компонентов в одной и той же точке пространства и в один и тот же момент времени. Другими словами, нельзя ли разрешить противоречие в пространстве или во времени. При разделении несовместимых свойств или действий в пространстве в объекте выделяются две части (две области), каждая из которых имеет свои свойства или выполняет свои действия.

Когда догадались, что науглероженная твердая сталь нужна только на поверхности детали, а вся деталь может оставаться малоуглеродистой, была изобретена цементация, помилившая проч-

ность и ударную вязкость. В соответствии с этим же принципом были разработаны резцы составной конструкции, авиационные композиты типа «сэндвич», несимметричные фары автомобиля, а также винтовка, заряжающаяся с казенной части (пути пули при заряджании и при выстреле разнесли в пространстве).

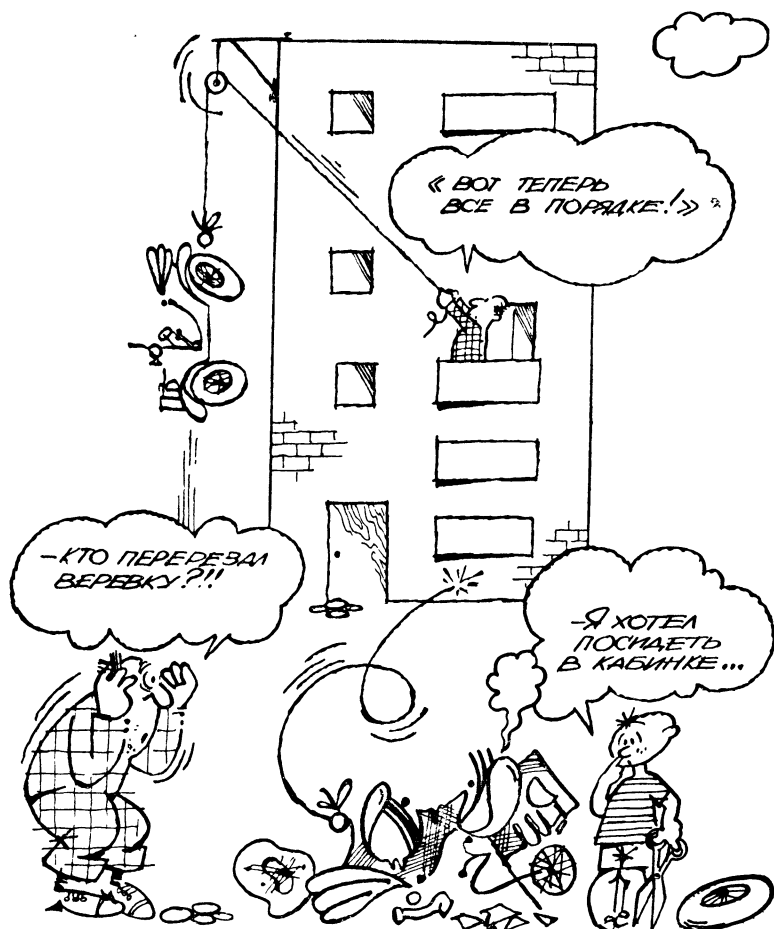
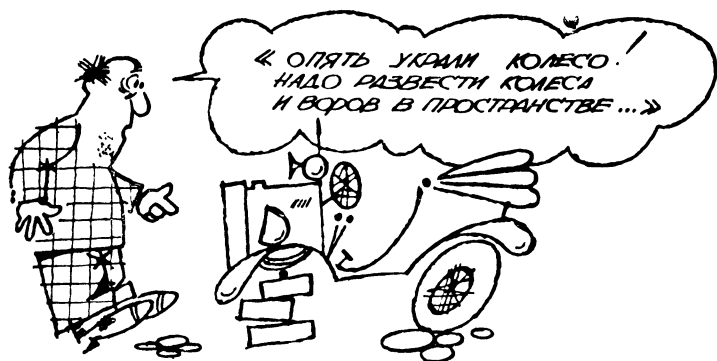
При разделении несовместимых свойств или действий во времени объект меняет свои свойства или действия в разные отрезки времени. Система при этом становится более динамичной. Так были придуманы упоминавшаяся уже пуля с меняющимся диаметром (уменьшенным при заряджании и соответствующим калибру при выстреле), очки «хамелеон» с меняющейся прозрачностью стекол, убирающиеся шасси самолета, складной велосипед.

Когда противоположные требования к узловому компоненту должны обязательно реализовываться в одних и тех же точках пространства и моментах времени, необходим более тонкий анализ системы. Сначала рекомендуется проверить, в одинаковой ли степени зависят положительный и нежелательный эффекты от состояния узлового компонента. Если налицо существенная нелинейность, можно применить принцип частичной реализации требований, ограничив одно из требований до минимума (минимизация параметра в пространстве и во времени). Например, в аккумуляторах сепаратор, отделяющий один электрод от другого, имел вид перфорированных пластин и создавал заметное сопротивление передвижению ионов. В то же время анализ влияния размеров сепаратора на его функции показал, что достаточно вместо пластин иметь ряд отдельных капель пластмассы. (Хотя вред подобной «сверхизбыточности» очевиден, такие случаи пока не редки).

Если минимизация одного из требований невозможна, необходимо проверить возможность разрешения физического противоречия в разных отношениях, то есть найти тот аспект реализации каждого из несовместимых требований, который необходим и достаточен для системы. Необходимо проверить, с одинаковых ли точек зрения или отсчета выдвинуты эти требования. К примеру, противоречие «объект должен двигаться и не должен двигаться» вполне разрешимо, если первое требование должно выполняться по отношению к дороге, а второе — по отношению к автомобилю, движущемуся по этой дороге. Или если первое требование (двигаться) должно выполняться абсолютно, в любых точках пространства, а второе (не двигаться) — относительно, как условие не выходить за некоторые границы. В этом случае оба требования выполняются при движении внутри заданной области пространства, например, по замкнутой кривой или в виде колебаний.

Интересный подход, с помощью которого можно отыскивать формы разрешения противоречий в разных отношениях, предложил бакинский исследователь Е. Б. Карасик [28]: использовать известные формы единства противоположностей. Часть и целое, форма и содержание, причина и следствие...

Примером разрешения противоречия между частью и целым может служить ложе факира. Каждый отдельный гвоздь острый, а на ложе, часто утыканном такими гвоздями, можно безопасно лежать, так как давления, приходящегося на один гвоздь, недостаточно для прокола кожи.



Противоречие «вещество должно быть.. и вещество не должно быть» легко разрешается, если требование «должно быть» относится только к химическому составу вещества (к содержанию), а требование «не должно быть» — к конкретному агрегатному состоянию этого вещества (к его форме).

При разрешении ФП между причиной и следствием абсолютно реализуется, как правило, одно из требований, а другое — косвенно, через достижение результата, за счет взаимодействия с другими элементами (вплоть до построения специальной подсистемы). На этом принципе построены все системы управления, когда слабое (управляющее) воздействие приводит к сильному изменению в системе (как маленький камушек порождает в горах камнепад),

Рассмотренные принципы разрешения ФП (в пространстве, во времени, частичная реализация и в разных отношениях) описывают потенциальные формы совмещения противоположных состояний компонента системы. Определить какая из них будет реализована в данной ТС, можно только перебором (от простого к сложному).

Следует отметить, что анализ и отрицание полной структуры противоречия дает близкие и более конкретные подсказки к разрешению, ТП, нежели анализ физического противоречия. Особенно, если на структуре отразить организацию системы во времени (как это сделано на схеме рис. 8) и в пространстве. Поэтому потенциальные формы разрешения ФП целесообразнее всего использовать как дополнение к анализу причинно-следственных цепочек.

* * *

Есть еще одно средство, помогающее разрешению противоречий: информация о типовых решениях, то есть о вероятных формах изменения исходной технической системы. Обзор известных подходов к построению массивов информации о типовых решениях дан в приложении 2. В качестве примера некоторые типовые решения приведены в приложении 3.

Закономерные формы разрешения противоречий в процессе развития ТС будут рассмотрены в следующей главе.

* * *

Завершая главу, можно рекомендовать следующий порядок работы с противоречиями в технической системе:

1) выявить и построить полную (сложную) структуру технического противоречия; показать на ней особенности пространственно-временной организации свойств и взаимодействий элементов в системе;

2) отметить основные возможные направления разрешения противоречия (линии и звенья причинно-следственной структуры, отрицание которых приведет к устранению заданного нежелательного эффекта);

3) сравнить намеченные направления с ограничениями, выбрать допустимые;

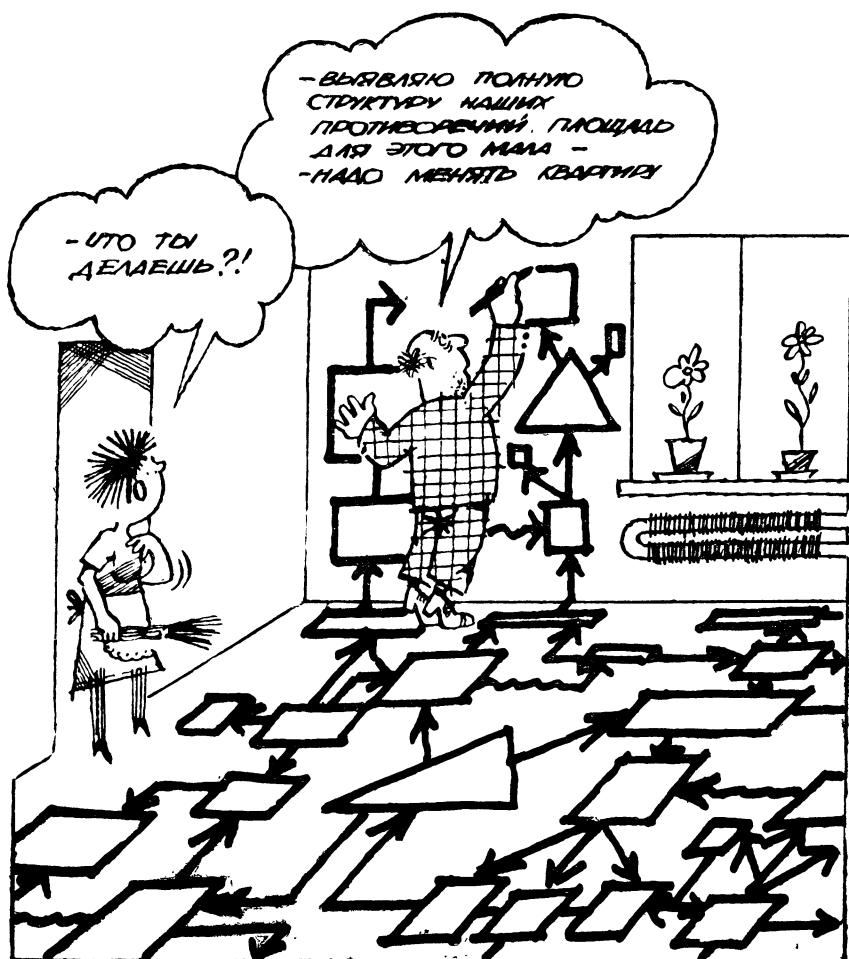
4) для узлового компонента, отрицание состояния которого соответствует допустимым направлениям разрешения ТП, сформу-

лизовать ФП, и проверить возможность разрешения его в пространстве, во времени или минимизацией параметра. Если простейшие формы разрешения ФП неприменимы (а также при разрешении ФП во времени), необходимо проанализировать степень абсолютности и относительности несовместимых требований к состоянию узлового компонента;

5) для допустимых направлений разрешения ТП сформулировать типовые задачи, по которым подобрать соответствующие типовые решения (из имеющихся массивов информации);

6) используя всю выявленную информацию, синтезировать возможные решения.

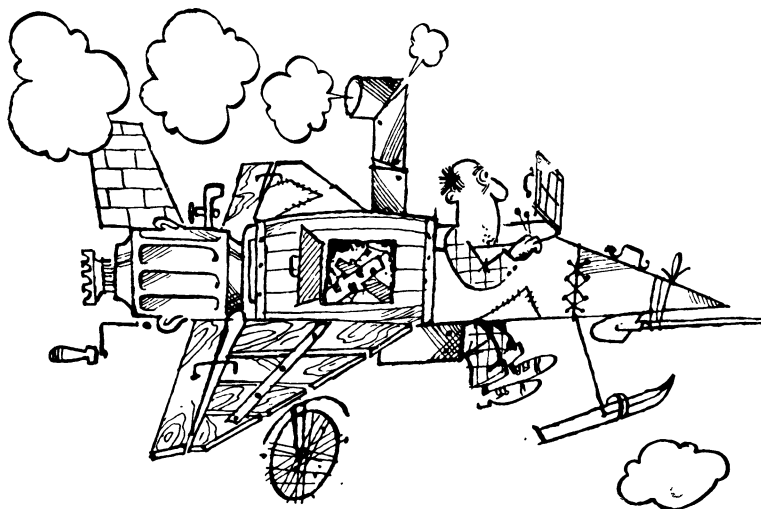
Главным условием для успешного поиска решений, разрешающих техническое противоречие, является тщательный, многоаспектный анализ этого противоречия, проясняющий «образ» решения.



Глава 4

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗРЕШЕНИЯ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ,

*а также о том,
что изобрел киевский студент в 1910 году,
как разбомбили мост на Дунае,
как холодильником обогреть магазин;
кроме того,
о почтовой марке,
сменных крыльях,
одноразовых электробритвах,
космических конструкциях
и о многом другом*



Как отмечалось в главе 2, закономерными являются не только строение технических систем, но и формы преобразования ТС при разрешении противоречий в процессе развития. Формы эти отражают законы развития технических систем.

Знание законов развития ТС позволяет при решении задач учитывать не только суть конфликта и связи его со структурной системой, но и особенности этапа развития, на котором находится данная ТС. Кроме того, на базе законов развития технических систем можно прогнозировать вероятные будущие состояния системы, предупреждая обострение противоречий.



Обратимся к рассмотрению процесса развития технических систем. Некоторые считают, что ТС рождается универсальной, специализируясь по мере развития. На самом деле при рождении ТС принцип действия этой системы обеспечивает выполнение главной полезной функции в самом минимальном объеме. Какова степень универсальности для самолета, который способен только поднять летчика в небо и более или менее гарантированно вернуть его назад? Или «экипажа с мотором», перемещающего по дороге одного — двух человек со скоростью меньшей, чем скорость рыскака? На этом этапе (становления системы) главной задачей является уход от параметрического барьера, чтобы выполнение ГПФ было надежным и гарантированным. Изобретения, мешающие этому, в период становления системы не приживаются.

В 1910 г. киевский студент Ф. И. Былинкин изобрел интерцептор: пластинку, которая встает поперек потока перпендикулярно поверхности крыла, уменьшая подъемную силу крыла и увеличивая сопротивление. И применил его на своем самолете для управления подъемной силой. Изобретательский скачок при этом был сделан большой. (Интерцептор — это «антиэлерон», то есть инверсия элерона, применявшегося для управления полетом, в основном путем увеличения подъемной силы крыла). Однако при дефиците мощности двигателя и подъемной силы интерцептор оказался вреден. Моноплан Ф. И. Былинкина не взлетел, а интерцепторы нашли широкое применение только на реактивных самолетах [47].

Общественная потребность, для удовлетворения которой удалось создать техническую систему, закономерно начинает расти, образуя все увеличивающуюся «функциональную нишу». Соответственно начинает расти ГПФ системы, стремящейся заполнить эту нишу своим принципом действия. (На самом деле стремится к этому человек; не упоминая человека, мы считаем развитие ТС относительно самостоятельным). Рост этот, проявляющийся в увеличении наиболее важных параметров (скорости, грузоподъемности, производительности, точности...), приводит к обострению технических противоречий между различными полезными функ-

циями системы. Разрешение этих противоречий осуществляется путем специализации, то есть за счет сужения ГПФ. «Функциональная ниша» делится при этом на несколько более мелких, каждую из которых занимает специализированный вариант системы.

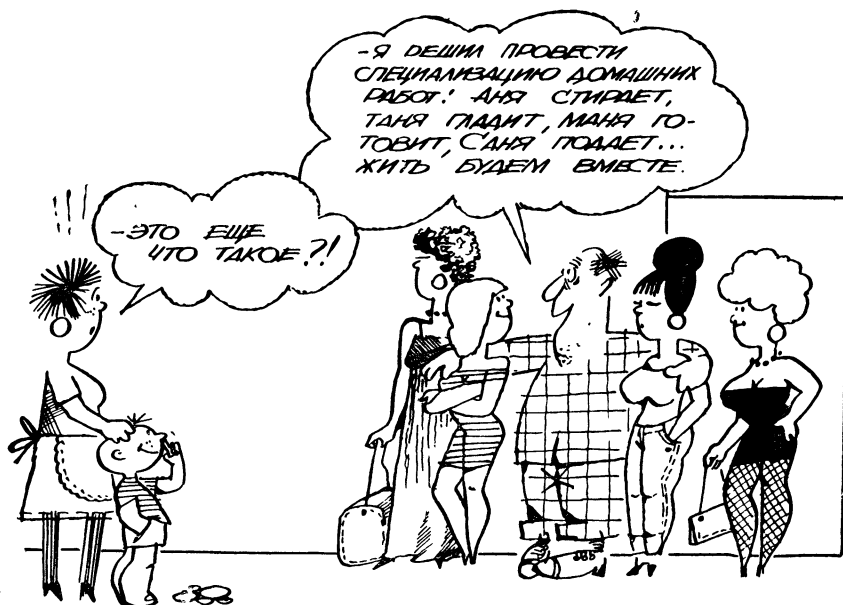
Увеличение числа систем с их одновременной дифференциацией и специализацией — закономерность развития ТС. Проявляется она и на уровне элементов системы (в первую очередь — инструментов). Самолеты, которые сразу же стали использоваться в военном деле, разделились на разведчиков, бомбардировщиков и истребителей. А токарные резцы — на обдирные, черновые, чистовые, торцевые, обрезные, резьбонарезные и т. п. Взаимодействие специализированных ТС осуществляется за счет надсистемы. При этом удается решать задачи, для которых нет соответствующих специальных средств. В 1941 г., например, нашей авиации удалось разбомбить мост через Дунай у Бухареста за счет использования «звена» В. С. Вахмистрова, состоящего из тяжелого бомбардировщика ТБ-3, несущего на себе два истребителя И-16 [47]. (Применение такой комбинации было вынужденным, так как у нас не было пикирующих бомбардировщиков с соответствующей дальностью полета).

Получение требуемого функционального эффекта, соответствующего количественному расширению «функциональной ниши», за счет комбинации одинаковых по принципу действия и функции, но имеющих различные («сдвинутые») характеристики систем или элементов — это закономерная форма разрешения противоречий, возникающих в процессе развития ТС. Наглядный пример эффективности такой комбинации на уровне элементов — биметаллическая пластина. Объединение двух металлических пластин с разными коэффициентами теплового расширения позволило при нагреве увеличить перемещение концов пластин более чем на порядок. (Соответствующее типовое решение «би—принцип» было предложено Т. А. Кенгерли в 1973 г.)

Специализация — истинное благо только в том случае, когда для специализированной системы есть постоянная работа. Поэтому, как только позволит уровень развития техники, близкие системы объединятся в одну, более универсальную. Когда-то истребители и легкие бомбардировщики существенно различались по энерговооруженности. У современных сверхзвуковых самолетов этих типов энерговооруженность практически сравнялась, поэтому возник единый класс истребителей — бомбардировщиков [44].

Циклы «специализация — универсализация» в процессе развития ТС могут повторяться несколько раз.

По мере роста наиболее важных параметров технической системы все чаще обостряется главное противоречие этой ТС и все труднее дается его разрешение. Это свидетельствует о приближении к пределам возможностей данного принципа действия. Разрешение противоречия в такой ситуации возможно за счет комби-



нации близких по функции, но различных по принципу действия систем. Причем в комбинации должны взаимно компенсироваться недостатки каждого из принципов действия. Пример такой «гибридизации» на границе «функциональных ниш» — самолет вертикального взлета и посадки (объединение принципов действия самолета и ракеты).

При исчерпании возможностей принципа действия системы происходит его замена более перспективным. На ленинградском объединении «Невский завод» для замены механического способа развальцовки труб теплообменников было опробовано применение электрогидравлического эффекта, электрического взрыва проволочки, импульсных магнитных полей, а также взрывчатых веществ [41]. Сейчас одним из наиболее перспективных принципов развальцовки считается использование «ледяной технологии» изобретателя П. А. Радченко [1]. Смена принципа действия ТС фактически означает рождение новой технической системы.

Вообще прогресс техники можно представить себе в виде двух дополняющих друг друга процессов: с одной стороны, в каждой «функциональной нише» происходит неизбежная смена принципа действия ТС более перспективным, и, с другой стороны, вновь открытый принцип действия стремится заполнить все подходящие «функциональные ниши».

В тех случаях, когда принцип действия ТС сменить нельзя (из-за отсутствия более перспективного принципа действия или из-за невозможности получить требуемый эффект), рост функционального эффекта достигается за счет надсистемы. При этом техническая система более плотно «привязывается» к надсисте-

ме, ее связи с соседними системами из организационных переходят в физические.

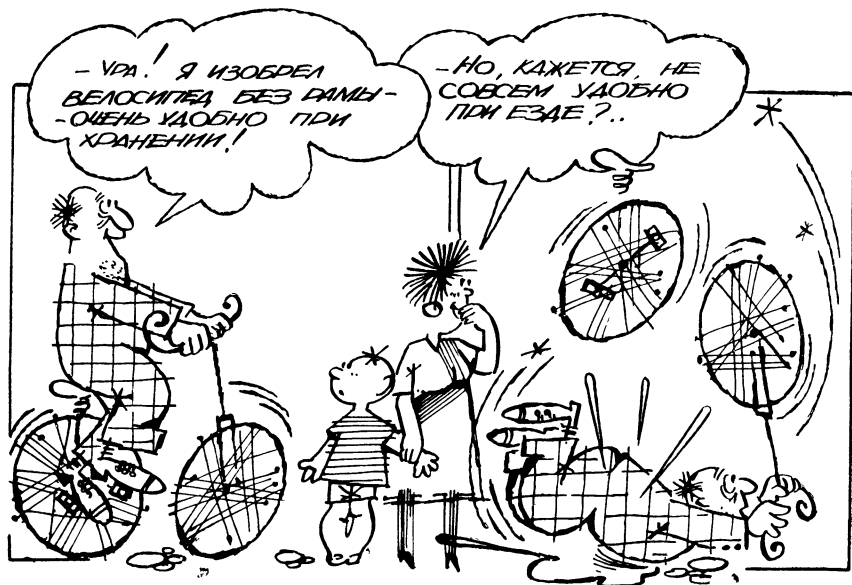
Скорость движения обычного дорожного велосипеда, как системы, приводимой в движение мускульной энергией человека, имеет, естественно, свой предел. Можно заменить энергию человека энергией мотора, но тогда велосипед перестанет быть велосипедом. Между тем среднюю скорость перемещения велосипеда по городу можно заметно повысить, если выделить специальные велосипедные дорожки, сделать специальные транспортные развязки или перейти к крытым велосипедным трассам, расположенным над землей подобно трассе монорельса. Возможно также применение самодвижущихся велодорожек [34].

Еще одна форма разрешения противоречий, связанных с принципом действия ТС, за счет надсистемы заключается в разделении системы на несколько специализированных частей, которые действуют только вместе, вступая в физическое взаимодействие. Примером такого преобразования ТС, позволяющего соединить достоинства специализации и универсализации, является проект авиационной транспортной системы, предложенной в США. Система эта состоит из постоянно летающего по замкнутому маршруту тяжелого самолета с атомным двигателем и нескольких стыкующихся с ним легких самолетов, обеспечивающих доставку пассажиров на тяжелый самолет с земли и обратно. Цель разработки — устранить вредное влияние тяжелых самолетов, взлетающих и приземляющихся через небольшие промежутки времени, и уменьшить потребность в больших аэродромах. Главное отличие этой системы от «звена» В. С. Вахмистрова заключается в том, что использование частей системы порознь практически невозможно.



У социально-технического противоречия есть два аспекта. Первый заключается в опережающем росте потребностей по сравнению с возможностями их удовлетворения. В результате ГПФ и функциональный эффект технических систем постоянно растут. Закономерные формы изменения ТС нами уже рассмотрены. Второй аспект заключается в принципиальной бесконечности потребностей при конечных возможностях (ресурсах). Разрешить это противоречие можно лишь за счет постоянного роста эффективности технических систем, как отношение полезного результата к затратам. Повышение эффективности ТС — процесс постоянный. Он останавливается только в том случае, когда вступает в противоречие с повышением функционального эффекта. Наглядное подтверждение этому — история развития ракетной космической техники. В первой трети XX века было много идей об использовании авиационных принципов, облегчающих выход ракеты в космическое пространство и повышающих эффективность космических систем. К ним относятся: использование аэродинамического качества и кислорода воздуха на атмосферном участке полета, многократное использование космических аппаратов, запуск ракет с аэростата или самолета, ракетные аэропланы [37]. Однако преодолеть параметрический порог (первую космическую скорость) удалось самым расточительным способом: через атмосферу напролом, окислитель с собой, одноразовые ракеты. И только сейчас начинается использование идей, повышающих эффективность [23].

Если же функциональный эффект ТС перестает расти, все развитие этой системы идет в направлении роста эффективности. Именно поэтому не перестают изобретать велосипед: он становится технологичным, легким, занимающим меньше места при хранении.



Представим себе предел повышения эффективности, тот недостижимый идеал, который является как бы полюсом развития системы. Назовем такое предельное состояние ТС с бесконечной эффективностью (полезный результат есть, а затраты равны нулю) **абсолютно идеальной технической системой**. А степень приближения реальных систем к абсолютному идеалу будем считать **идеальностью ТС**. Тогда закономерность повышения эффективности технических систем будет выглядеть как закономерность повышения идеальности ТС в процессе развития.

Понятие абсолютно идеальной технической системы, несмотря на свою фантастичность, очень продуктивно, поскольку позволяет выделить те стороны ТС, те ее «способности», стремление улучшить которые является доминирующим в развитии этой системы.

Абсолютно идеальное транспортное средство — когда средства нет, а груз транспортируется, то есть «сам» движется в нужном направлении с необходимой скоростью. Стремление к этому идеалу проявляется, в частности, в увеличении размеров транспортных средств, так как при этом удастся более эффективно использовать их массу. Танкер водоизмещением 3 тыс. т полезно использует 55—60% своего водоизмещения, а танкер водоизмещением более 200 тыс. т — уже 86—87% (рис. 10).

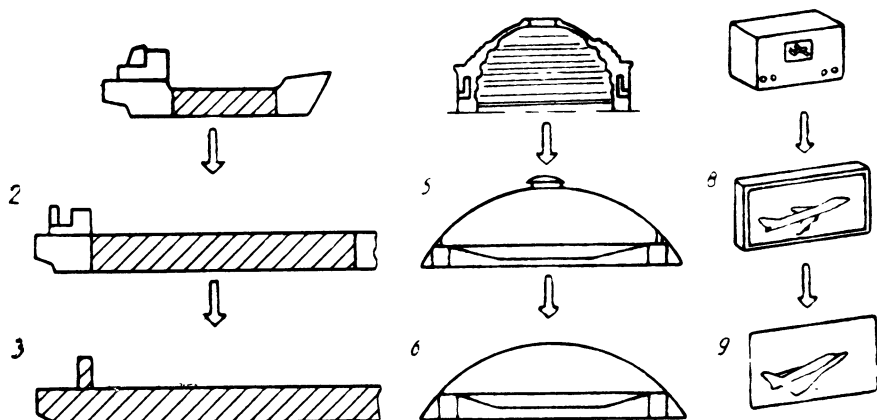
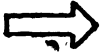


Рис. 10. Направление развития некоторых технических систем в соответствии с законом повышения эффективности (идеальности):

1 — танкер массой 3 тыс. т; 2 — танкер массой 200 тыс. т; 3 — идеальный танкер; 4 — купол Пантеона в Риме, П в. н. э.; 5 — купол спортивного зала, XX в.; 6 — идеальный купол; 7 — телевизор КВН; 8 — «плоский» телевизор; 9 — иде-

альный телевизор;  — полезный груз;  — направление развития.

Абсолютно идеальное вещество — набор полезных свойств (прочность, непроницаемость и т. п.) без самого вещества. В соответствии с этим происходит неуклонное уменьшение толщины стен и перекрытий зданий и сооружений. В частности, отношение толщины сечения куполов к диаметру за последние пять веков уменьшилось в 30 раз (рис. 10). В соответствии с представлением об абсолютно идеальном средстве передачи визуальной информации увеличивается размер экрана телевизора с одновременным уменьшением всех других его частей (рис. 10).

Абсолютно идеальный процесс — результат процесса без самого процесса: мгновенное получение результата. Этому соответствует непрекращающаяся борьба за время, за скорость, за производительность. На неизбежность снижения затрат времени в общественном производстве указывал еще К. Маркс, отмечавший, что к экономии времени сводится в конечном счете вся экономия [11, с. 119]. Повышение идеальности процесса (увеличение скорости, производительности) соответствует увеличению функционального эффекта средства, выполняющего этот процесс. Поэтому повышение идеальности процесса имеет приоритет перед повышением идеальности технического средства.

Закономерность повышения степени идеальности технических систем впервые была сформулирована Г. С. Альтшуллером, правда, для частного случая — «идеальной машины» [16].

Главная ценность этой закономерности заключается в том, что она позволяет сформулировать принципы идеальности [3], подсказывающие, как должна быть построена эффективная ТС.

Принципы идеальности можно сформулировать так:

1) необходимо получать полезный результат от действия или средства без самого действия или средства («получить даром»);

2) в каждый момент времени и в каждой точке пространства в ТС должны быть только те свойства и взаимодействия, которые необходимы для получения полезного результата («ничего лишнего»);

3) необходимо максимально использовать имеющиеся свойства и взаимодействия элементов системы и ее окружения, устранять потери и отходы («из лишнего — максимальную пользу»);

4) необходимо доводить до минимума затраты времени на получение полезного результата («получить сразу, мгновенно»).

Первые три принципа идеальности представляют собой поэтапное отступление от абсолютно идеальной системы к реальности. Реализация первого принципа возможна за счет использования выходов соседних систем и окружения (чаще всего бесполезных). Так, в ряде универсамов ГДР торговые залы обогреваются теплом, выделяемым холодильниками, в которых хранятся продукты. Специалисты научной лаборатории «Бионика» болгарской академии наук разработали способ получения кровельного материала из изношенных шин, а в а. с. № 1 364 274 предлагается применять отходы целлюлозно-бумажной промышленности для консервирования зеленых кормов. В соответствии с этим же принципом ведутся работы по использованию возобновляемых видов энергии: солнечной, ветра, волн, приливов, земного тепла. Нет смысла доказывать актуальность такого подхода при возрастающем дефиците на природные ресурсы. При реализации первого принципа идеальности увеличивается число связей ТС с надсис-



темой, имеющиеся связи становятся более «физическими». В целом связанность надсистемы растет.

Второй принцип ориентирует на создание ТС, лишенных избыточности. В соответствии с ним происходит разрешение технических противоречий в пространстве и во времени. Реализация этого принципа достигается за счет специализации частей системы в пространстве и во времени, что приводит к возрастанию числа и неоднородности элементов ТС и взаимодействий между ними. Крыло современного сверхзвукового истребителя состоит из керамических, титановых, дюралевых и углепластиковых деталей, каждая из которых оптимальным образом соответствует условиям работы этой части ТС [44]. А у частей системы, условия работы которых меняются, повышается степень динамичности.

Поскольку изменение условий работы ТС — скорее правило, чем исключение, переход от «статичных» систем к «динамичным» встречается все чаще. Динамизм ТС может быть разного уровня: от опускающегося стекла автомобиля до двигателя внутреннего сгорания с изменяющимся объемом цилиндра, обеспечивающим переменную мощность при постоянной оптимальной степени сжатия. Не редкость, когда повышение динамизма приводит к превращению детали (железки, кирпича) в энергетически активную систему (машину). В Ереванском НИИ строительства и архитектуры разработали конструкцию стены зданий, состоящую из двух тонких панелей, в воздушном зазоре между которыми подвешена тонкая биметаллическая пластина, которая при нагреве изгибается навстречу тепловому потоку, отражая его. Такая стена удерживает тепло внутри здания зимой и не пропускает в здание жар солнца летом.

Функциональный динамизм ТС может быть обеспечен и за счет надсистемы, путем использования сменных элементов. При этом достигается единство универсальности и специализации. Товарный железнодорожный состав универсален, так как может везти любые грузы. Но для каждого рейса (для требуемого набора грузов) он приспособливается за счет применения набора специализированных элементов — вагонов. Подобный динамизм за счет смены специализированных блоков считается перспективным для техники ближайшего будущего [30].

Динамизация системы предполагает также придание элементам требуемых свойств на период их изготовления. При этом твердые материалы размягчаются или дробятся, а чересчур мягкие или хрупкие переводятся в требуемое состояние соединением в пакет с подобными элементами, нанесением на твердую подложку замораживанием и другими аналогичными средствами.

Снижение избыточности системы в пространстве и во времени возможно и за счет вынесения части элементов или свойств в надсистему. У робота-манипулятора с магнитным управлением довольно большая часть энергии тратилась на перемещение тяжелых элементов магнитного управления. Поскольку управляющее воздействие магнитного поля было необходимо только в местах и моментах времени захвата и освобождения детали, разработчики отделили магнитную систему от манипулятора и установили ее стационарно в местах, где она должна срабатывать. Скорость перемещения робота-манипулятора при этом удалось увеличить в несколько раз [31]. Пример этот также наглядно показывает, что вся экономия от повышения идеальности, как правило, «съедается» повышением функционального эффекта.

Реализация второго принципа идеальности требует также согласования временных и пространственных ритмов отдельных частей системы, сроков их «жизни». Простейшим примером согласования пространственных ритмов может служить применение магнита с рельефной поверхностью для создания «рельефного» магнитного поля. А суть согласования временных ритмов видна из а. с. № 52 1107. В ТС-прототипе наносилось покрытие путем осаждения порошка на поверхность детали с помощью электрических разрядов и постоянного по величине магнитного поля. Переход к магнитным импульсам, совпадающим с импульсами электрического поля (разрядами), позволил повысить твердость и мелкозернистость покрытия и снизить затраты энергии.

Повышение оптимальности распределения свойств и взаимодействий элементов системы в пространстве и во времени часто требует увеличения степени изменчивости элементов. Увеличивается степень их дробления (переход к порошкам, жидкости, газу — изменение агрегатного состояния), используются хорошо управляемые виды энергии (магнитная, электрическая).

Третий принцип идеальности ориентирует на максимальное использование всех резервов системы. Он применяется наиболее часто, поскольку совершенно избыточных систем не бывает. Третий принцип тесно связан с первым, который можно рассматривать как применение третьего на уровне надсистемы.

Основные формы реализации этого принципа идеальности таковы:

- 1) использовать неполезные выходы подсистем и элементов (отходы);

- 2) использовать скрытые (побочные) свойства частей ТС, в том числе довести степень загрузки частей системы до максимума;

- 3) вместо введения в систему новых элементов использовать видоизменения имеющихся элементов или внешней среды за счет введения добавок, воздействия полями, изменения формы и т. п.;

- 4) максимально использовать пространство за счет увеличения числа измерений (в частности, осуществить переход «точка — линия — поверхность — объем») и обратную сторону поверхности в объектах;

- 5) максимально использовать время за счет повышения непрерывности процессов, холостых и промежуточных ходов и пауз;

- 6) снижать потери энергии, в частности, за счет уменьшения числа преобразований энергии в системе.

В целом реализация третьего принципа идеальности ведет к повышению универсальности элементов системы. Как в а. с. № 1364 508, где в качестве маховика, установленного на валу электродвигателя, который получает питание от аккумуляторной батареи, используются сами аккумуляторы. Хорошим примером целенаправленного использования скрытых резервов ТС являются также разработки ОКБ «Ралснемг» при Горьковском политехническом институте, выполнявшиеся под руководством д. т. н. А. Ф. Николаева. Это и трубчатая фреза, в полости которой помещен шнек, убирающий осколки льда, образующиеся при работе фрезы. И использование затылочных частей резцедержателей, закрепленных на дисковой фрезе, для зацепления с цевочной машиной, вращающей фрезу. И предохранение привода вращения дисковой фрезы от воздействия грунта за счет самой фрезы: привод размещен внутри полого

диска. А при создании малогабаритной ледофрезерной установки использование внутренних ресурсов системы позволило не только повысить эффективность этой ТС, но и обеспечить ее работоспособность. Поскольку вес установки был мал, колеса или гусеницы для передвижения по льду негодились: не было должного сцепления со льдом. Тогда разработчики решили воспользоваться прорезью во льду, создаваемой фрезой установки. Уперев в стенки прорези барабан с шипами, они создали оригинальный распорный движитель.

Четвертый принцип идеальности соответствует повышению эффективности происходящих в системе процессов. Основной путь его реализации, кроме интенсификации процессов, — сокращение числа операций и совмещение их в пространстве и во времени. Например, соединение перемещения веществ с переработкой, что в настоящее время считается одним из основных направлений развития связующих (транспортирующих) систем [30]. Если совмещение в пространстве невозможно, то оно осуществляется во времени, что равносильно переходу от последовательных операций к параллельным, от циклических процессов к непрерывным.



Иногда полностью совместить операции во времени не удастся: какая-то операция все равно должна быть выполнена в свое, особое время. В таком случае уменьшить затраты этого времени можно применив «принцип отзывчивости» (предложенный как типовое решение Ю. И. Хотимлянским): выполнить часть операции заранее, чтобы в требуемый момент времени осталось только завершить ее. Простейший пример «отзывчивости» к процессу — перфорация по контуру почтовой марки.

Ряд типовых форм разрешения противоречий в ТС, соответствующих принципам идеальности, приведен в приложении 3. А если система построена в соответствии с этими принципами, то обострения некоторых противоречий (особенно разрешающихся в пространстве и во времени) удастся избежать.

Довольно эффективно принципы идеальности используются при разрешении часто встречающихся противоречий, обострение которых было связано с недопустимым ростом затрат на улучшение функционирования ТС. Если, к примеру, в систему требуется ввести какой-то дорогостоящий элемент, то эффективность ТС при этом можно сохранить и даже увеличить за счет максимального использования всех явных и скрытых «способностей» этого элемента.

Хороший пример использования всех резервов принципа действия системы — проект турбопоезда, разработанный институтом Лайнга (ФРГ) [34], как конкурента поезду на магнитной подвеске, движущемуся в вакуумированной трубе. Турбопоезд Лайнга использует воду. Тоннель турбопоезда заполнен разреженными водяными парами (1/60 атмосферы). Водяные пары, имея большую плотность, чем разреженный воздух, отдают звуковой барьер на 30%. В результате на максимальной скорости (около 800 км/ч) сопротивление движению уменьшается. Опорой поезду служат полый рельс и направляющие башмаки на водяной смазке. Трение настолько мало, что 300-тонный поезд с выключенным на скорости 100 км/ч двигателем проходит по инерции 1200 км. Двигателем служит «линейная» турбина (по аналогии с линейным электродвигателем), лопатки которой расположены на поезде, а направляющие сопла, подающие воду, — на донной стенке тоннеля. КПД турбины около 95%. Торможение и разгон поезда производятся возле станций, с рекуперацией энергии. За 12 км до станции на дне тоннеля начинается тормозной желоб с водой. Трубка, опущенная с поезда в желоб, тормозит поезд, забирает воду и подает ее в герметичный бак, сжимая находящийся в нем газ. Газ нагревается и передает тепло в тепловой аккумулятор. При разгоне энергия передается в обратном порядке воде, создавая тягу. Энергетически такой поезд очень выгоден: затраты энергии на 1 тыс. км меньше, чем у самолета, в 24,6 раза, чем у поезда на магнитной подвеске — в 14,8 раза, чем у обычного поезда — в 1,7 раза. Пример этот подтверждает известное правило: главное не в сложности или экзотичности средств, а в умелом их использовании.

Постоянное применение принципов идеальности, стремление максимизировать эффект, получить пользу от любых условий функционирования системы — это признаки сильного инженерного мышления. Такого, какое было, например, у генерального конструктора космических кораблей академика С. П. Королева. Когда определялась форма первого искусственного спутника Земли, он остановил свой выбор на шаре. Уже тогда он думал о форме спускаемого аппарата. Форма шара позволяла по торможению спутника в верхних слоях атмосферы уточнить параметры самой атмосферы — ведь аэродинамические характеристики шара хорошо известны [23].

Принципы идеальности имеют еще одну область применения: при анализе функционирующих систем. Такой анализ, устанавливающий отступления фактической организации системы от идеальной, позволяет выявить резервы повышения эффективности ТС и сформулировать соответствующие задачи, требующие решения. Подобное исследование системы проводится при проведении функционально-стоимостного анализа (ФСА).

* * *

Увеличение функционального эффекта и, особенно, эффективности (идеальности) системы при данном принципе ее действия неизбежно усложняет систему, что, в свою очередь, ведет к снижению надежности функционирования ТС. Поэтому на усложнение и динамизм наиболее ответственных частей системы идут только под угрозой обострения важного противоречия. Так, даже у современных самолетов шасси делают неубирающимися, если скорость полета не превышает 200—250 км/ч. Попытки кардинально изменять геометрию и компоновку крыльев самолета для их большего соответствия изменяющимся условиям полета, в нашей стране делались давно [47, 48]. Еще в 1911 г. инженер А. С. Кудашев предусмотрел на своем самолете сменные крылья для разных скоростей полета (60 и 80 км/ч). В 1937 г. был испытан самолет РК («раздвижное крыло») — моноплан с меняющейся площадью крыла. Узкое крыло при постоянном размахе превращалось в широкое за счет телескопических элементов. В 1940 году был построен и успешно летал самолет ИС («истребитель складной») с изменяемой схемой крыльев: моноплан превращался в полутораплан и обратно. Однако ни одно из этих предложений не получило распространения из-за невысокого эффекта при снижении надежности важнейшей подсистемы самолета. Только в наши дни у ряда сверхзвуковых боевых самолетов сделаны крылья с изменяющейся стреловидностью: для обеспечения полета на малой высоте с дозвуковой скоростью, что является важным режимом использования этих самолетов [44]. То есть наряду с минимально необходимой степенью динамизма существует и максимальный ее уровень, выгодный для данного этапа развития системы.

Тем не менее сложность технических систем растет постоянно. Поэтому при достижении определенного порога сложности возникает необходимость **«свернуть»** структуру системы, уменьшив число элементов и связей между ними. Произвольно уменьшить сложность структуры, не ухудшив функционирования ТС, нельзя. Можно лишь «перекачать» сложность в другие формы. В частности, перенести в надсистему часть функций или возложить на нее задачу стабилизировать условия функционирования ТС. Поезд метро, движущийся по рельсам в закрытом тоннеле, устроен явно проще автопоезда, который должен эксплуатироваться, например, в северных районах. Упрощения ТС можно добиться и заменой ее большим числом аналогичных систем разового действия. Так, в Японии получили распространение дешевые фотоаппараты, рассчитанные только на один ролик пленки, и электробритвы со сроком службы от двадцати минут до часа. Этот путь развития, упрощая систему и сохраняя, чаще всего, принцип ее действия усложняет надсистему. Поэтому возможности его применения не так уж велики.

Структура может упрощаться и при повышении универсальности элементов системы (когда один элемент заменяет несколько).



Наиболее же перспективен путь усложнения формы движения материи в системе, путь перехода на микроуровень.

Большая интегральная схема, представляющая собой сложное вещество, нужные свойства которого обеспечиваются заданным порядком расположения молекул, заменяет целые схемы, состоящие из полупроводниковых элементов (которые в свое время так же заменили электронные лампы). Только благодаря такой «перекачке» сложности на микроуровень удалось добиться столь впечатляющих успехов в развитии ЭВМ.

Стержни из сплава никеля с титаном (нитинола), обладающего эффектом «памяти формы», движением своей кристаллической решетки при нагреве заменяют многозвенный механизм с приводом. Сделанные из такого сплава крупногабаритные конструкции были развернуты, например, в космосе при совместном полете орбитального комплекса «Мир» и автоматического корабля «Прогресс-40» (март, 1989 г.).

За счет использования эффектов на микроуровне (в первую очередь эффектов физических) удается создавать саморегулирующие системы, простые по структуре. В Англии разработан нагревательный элемент, применяющийся для разогрева жидкостей в трубопроводах (например, мазута) и самовключающийся (и выключающийся) в зависимости от температуры. Этот элемент представляет собой кабель из пластика с угольными частицами. При охлаждении пластик сжимается, частицы угля входят в контакт, замыкают цепь, и по кабелю начинает течь ток, нагревая его.

Смена принципа действия технической системы с усложнением формы движения материи в системе — главная закономерная тенденция развития современной техники. Техника может развиваться только за счет использования законов природы, за счет более полного, комплексного использования всех известных и ос-

военных природных явлений и эффектов. Однако исторически сложилось так, что первые технические системы использовали в основном механику. Поэтому прогресс техники имеет вид постепенного освоения физической, химической и биологической форм движения материи. В то же время в системах со сложной формой движения развитие проявляется в использовании более простых явлений и эффектов. Для получения требуемых химических соединений все шире начинает применяться «труд» микроорганизмов, а также в помощь традиционным химическим реакциям электрические разряды, магнитные поля, гидравлические удары и другие физические явления. А в медицине, начинавшейся с использования биологических средств (лекарственных трав и животных), постепенно стали применяться психологические (внушение) и более простые химические, физические и механические (массаж) воздействия на человека.



Подводя итог краткому рассмотрению закономерных форм развития технических систем, следует отметить, что в среднем сложность технических систем постепенно растет (в основном за счет передачи технике функций человека). Увеличивается универсальность ТС, их динамизм, а также сложность форм движения материи в технических системах.

Используя изложенный материал, необходимо учитывать, что **постоянно воздействуют на процесс развития только два наиболее общих закона: увеличение функционального эффекта и повышение эффективности (идеальности) ТС.** Остальные закономерные формы, являющиеся следствием действия этих двух законов (и описывающие типовые формы разрешения технических противоречий), проявляются периодически, циклически меняясь на свою противоположность. Специализация или универсализация системы и ее элементов, усложнение или упрощение (свертывание) структуры, повышение или понижение динамизма, переход в надсистему или на микроуровень, к непосредственному или косвенному действию элементов системы — реализация каждой из этих частных закономерностей в тот или иной период времени определяется видом обостряющихся технических противоречий, а также этапом развития системы. При этом должны соблюдаться приоритеты требований к ТС со стороны ее окружения, приведенные в главе 2. Кроме того, в соответствии с определяющей ролью функционирования в построении и развитии технических систем законы изменения функционирования более важны, чем законы изменения структуры и состава ТС. Они реализуются только в том случае, когда дают эффект на уровне внешних характеристики системы.

В соответствии с одной закономерностью построения ТС, определяющей ее симметрию [6], ветроколесо, работающее в условиях ветра переменных на-

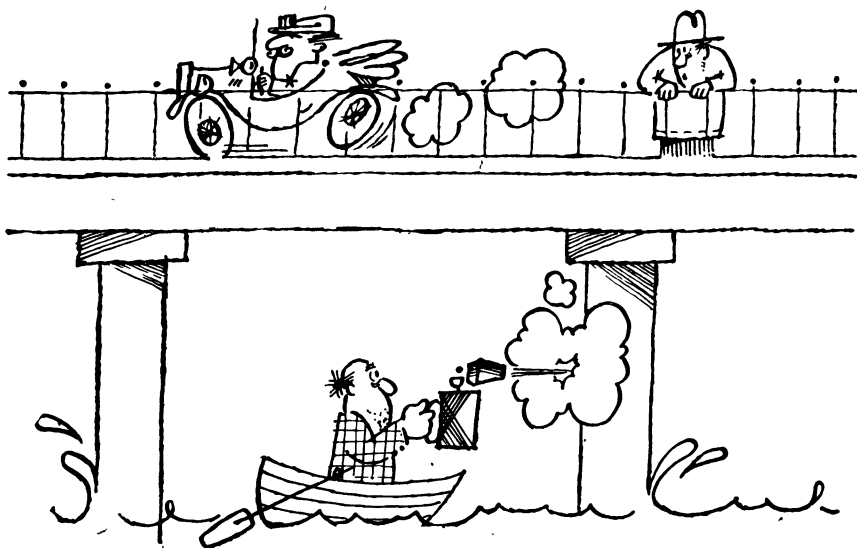
правлений, должно иметь вертикальную ось вращения. Попытки применить такие колеса на ветряных мельницах делались еще в конце XVI века, но не увенчались успехом из-за их низкого коэффициента полезного действия [36]. Возможность перехода к ветрякам с вертикальной осью вращения появилась только в наше время. Современные материалы позволяют придать лопастям такую форму и осуществить такой цикл их работы, при которых обеспечивается высокая эффективность ветряка.

Учет этих особенностей необходим при использовании законов развития ТС для решения задач, возникающих при разработке системы под заданные условия функционирования. При прогнозировании возможных будущих состояний системы надо, напротив, идти от законов изменения состава и структуры, определяя затем новые функциональные возможности спрогнозированных вариантов технической системы.

Глава 5

СТРУКТУРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ,

*а также о том,
зачем и как нагревать мостовые опоры,
для чего обычным тискам кольца и шарики,
как намагнитить древесину;
кроме того,
о сортировке дрови,
об аэрозольных баллончиках,
о золотнике паровой машины,
о кипении электролита
и, наконец, рассуждения о том,
стоит ли увлекаться преобразованиями,
и если нет, то почему*



Противоречие между потребностями и возможностями их удовлетворения (социально-техническое) возникает и обостряется по двум причинам: когда есть потребность (функция), но нет системы, и когда в известной технической системе обостряется техническое противоречие. Аппарат разрешения ТП, применяющийся во втором случае, опирается на анализ технической системы, на особенности конфликта, на связь его со строением и функционированием ТС. А на что опереться в первом случае? За что можно ухватиться, чтобы нащупать пути перехода от функции к физике, к природным явлениям и эффектам, регулирующим эту функцию, к принципу действия создаваемой системы?

В подобной ситуации оказался герой фантастической повести Е. Гуляковского «Планета для контакта». Обладая способностью материализации своих мыслей, он никак не мог представить себе во всех деталях генератор нейтринного поля. Тогда он представил себе само нейтринное поле. И материализовал его. Попробуем и мы «ухватиться за поле»; вернее за энергопоток, которые в соответствии с законами построения ТС должны проходить через систему, обеспечивая ее функционирование.

Переход от функции к энергии осуществить проще всего, поскольку в самой формулировке функции содержатся подсказки насчет типа энергопотока или его части. Рассмотрим для примера задачу: «Для создания поверхностного наклепа, повышающего усталостную прочность изделий, деталь обрабатывают струей стальной дроби диаметром 5 мм. При этом на поверхности дробинок не должно быть трещин, а также раковин и выступов, создающих неровности с радиусом кривизны менее 1,5 мм. Особенно недопустимы острые сколы. Дробинки, не соответствующие этим требованиям, должны быть отсортированы до проведения дробеструйной обработки. Сортировка выполняется вручную со всеми вытекающими отсюда последствиями. Необходимо повысить производительность процесса сортировки и полностью его автоматизировать». Формулировка функции «сортировка (разделение) дроби» предполагает перемещение дроби в пространстве, то есть предполагает наличие потоков вещества (дроби) и совпадающих с ними потоков механической энергии. Если определить источник этой энергии и найти, каким образом энергопоток сделать чувствительными к форме дробинок, то будет определен принцип действия системы.

Проходя через элементы системы, энергия претерпевает превращения, причем можно выделить четыре типа энергетических превращений [3]. Во-первых, **излучение энергии**. Примерами такого превращения могут служить: радиоактивное излучение куском урана, разряд конденсатора, отдача тепла нагретым телом, расширение сжатого газа. Во-вторых, **поглощение энергии**. Например, таяние льда, деформация, сжатие газа, поглощение радиоактивного излучения. В-третьих — **преобразование потока энергии по программе**. То есть такое преобразование, при котором вид энергии не меняется, а изменяется лишь ее простран-

венно-временная организация: величина энергии и характеризующих ее параметров, направление энергопотока, и т. п. К таким преобразованиям относятся явление прохождения электрического тока по проводнику, тепломассообмен, передача давлений в струе жидкости или газа (закон Бернулли), механическая передача усилий и перемещений, поляризация света и другие подобные явления. И, в-четвертых, **преобразование энергии по виду**. Например, преобразование электрической энергии в тепловую при прохождении тока по проводнику (закон Джоуля-Ленца), переменной электрической энергии в магнитную (закон электромагнитной индукции), механической энергии в электрическую в пьезокристалле и многие другие явления.

Следует отметить, что такое деление энергетических превращений на четыре типа в общем-то относительно. Можно все свести к излучению и поглощению энергии. Тогда преобразование энергии будет соответствовать единству поглощения и излучения в одном объекте. А можно выделять только преобразование. В этом случае излучение будет соответствовать превращению внутренней энергии объекта в излучаемую, а поглощение — преобразованию поглощаемой энергии во внутреннюю энергию. Такой подход даже более правилен с физической точки зрения. Однако поскольку в технике есть источники и поглотители энергии как самостоятельные объекты, иметь четыре типа энергетических превращений удобнее. Надо только помнить, что за излучением и поглощением энергии «спрятано» изменение внутренней энергии вещества.

Если все природные явления и эффекты в энергетическом смысле сводятся к четырем типам, то можно части ТС, совершающие те или иные энергетические превращения, представить в виде типовых энергетических «кубиков» — **элементарных структурных звеньев**. И уже из этих «кубиков» набирать систему, учитывая и требования к пространственно-временной организации ТС и, обобщенно, физику.

Для того, чтобы представить себе эти типовые «кубики» и всю ТС в обобщенной физико-энергетической форме, используем два базовых понятия — вещество и поле [3, 17].

Под **веществом** будем понимать часть системы (в частности, элемент), имеющую массу и способную излучать, поглощать и преобразовывать энергию. А **полем** будем называть форму взаимодействия веществ, эквивалент энергообмена. Поле характеризуется отсутствием массы, видом энергии и интенсивностью энергообмена.

Обозначим вещество буквой «В», а поле — буквой «П». А для записи возможных преобразований и взаимодействий введем следующие обозначения:

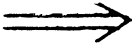
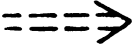
$\left. \begin{matrix} B_m, B_n \\ P_m, P_n \end{matrix} \right\}$ — качественно разные элементы (вещества, поля);

$\left. \begin{matrix} B', B'' \\ P', P'' \end{matrix} \right\}$ — видоизмененные элементы (вещества, поля), отличающиеся по количественным характеристикам, форме, внутреннему состоянию, направлению;

$\Delta B, \Delta \Pi$ — часть («порция», квант) вещества, поля;
 $B(t), \Pi(t)$ — элементы, организованные во времени;
 $B(x), \Pi(x)$ — элементы, организованные в пространстве;
 ψ — мелкие частицы вещества;

 — направленное воздействие;
 — взаимодействие;
 } — отсутствующее необходимое (желаемое) воздействие, взаимодействие;
 }
 } — воздействия, отличающиеся по степени (силе)
 } — (воздействие  сильнее воздействия );

$\tilde{B}, \tilde{\Pi}$ — плохое вещество, поле } элементы и связи между ними, являющиеся источником нежелательного эффекта;
 $\sim \rightarrow$ — плохое воздействие,
 $\sim \leftrightarrow$ взаимодействие

 — переход от одного состояния к другому (от «было» к «стало»);
 — желаемый переход от одного состояния к другому.

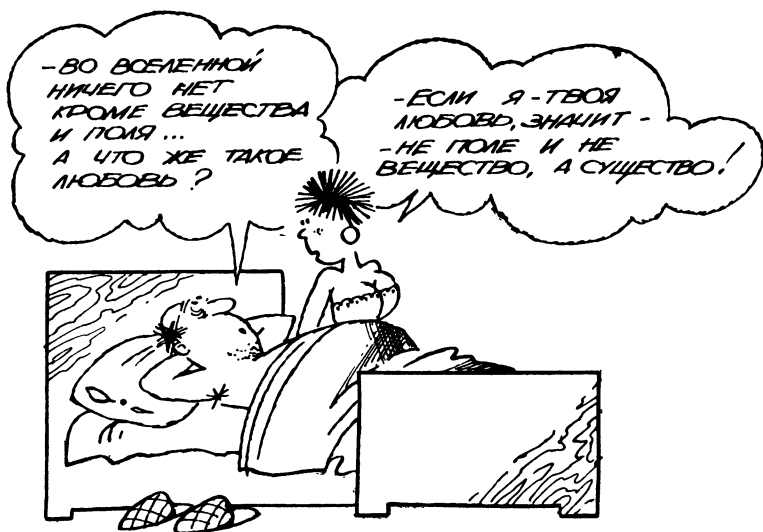
Используя понятия «вещество» и «поле», следует иметь в виду следующее. Во-первых, веществом может быть обозначена и какая-то элементарная часть системы, например, участок покрышки велосипедного колеса, и вся система в целом, например, весь велосипед (ведь ТС тоже часть для надсистемы).

Во-вторых, понятие поля как эквивалента энергообмена включает в себя не только «истинные» физические поля (электромагнитное, гравитационное, поле сильных и слабых взаимодействий), но и такие условные поля, как тепловое, механическое и другие, характеризующиеся каким-то определенным видом энергии.

В-третьих, поскольку поле есть форма взаимодействия веществ, то, строго говоря, взаимодействие веществ кроме как через поле невозможно. В этом смысле совершенно эквивалентны, например, следующие записи структуры ТС:

$$\begin{array}{ccccccc}
 B_1 & \rightarrow & B_2 & \rightarrow & B_3 & \equiv & B_1 \rightarrow \Pi_1 \rightarrow B_2 \rightarrow \Pi_2 \rightarrow B_4 \\
 \downarrow & & & & \downarrow & & \uparrow & \downarrow & \uparrow \\
 & & B_3 & & & & B_3 & \leftarrow & \Pi_3
 \end{array}$$

Хотя более верна правая запись структуры, возможна и левая, сокращенная запись. Она допустима в том случае, если отражение формы взаимодействия между веществами несущественно.



Эквивалентны также записи типа V_1V_2 и V_1-V_2 . Первая запись, однако, удобнее, если надо подчеркнуть, что вещества образуют смесь.

Введение понятий «вещество» и «поле» для представления структуры ТС уже само по себе позволяет сформулировать общие положения, применимые при построении структур. Вот они:

- 1) для видоизменения вещества путем воздействия на него следует использовать поле;
- 2) для преобразования поля следует использовать вещество;
- 3) наличие поля всегда предполагает наличие вещества, являющегося источником этого поля.

Однако настоящий аппарат синтеза структуры ТС появляется лишь при использовании энергетических «кубиков» — элементарных структурных звеньев (ЭС). Четыре таких звена, соответствующих четырем типам энергетических превращений, с помощью введенных обозначений изображаются следующим образом [3]:

1-е звено. Вещество — «источник» поля («излучение» поля)

$$\text{ЭС } 1 \equiv V \rightarrow \Pi;$$

2-е звено. Вещество — преобразователь поля по программе

$$\text{ЭС } 2 \equiv \Pi \rightarrow V \rightarrow \Pi;$$

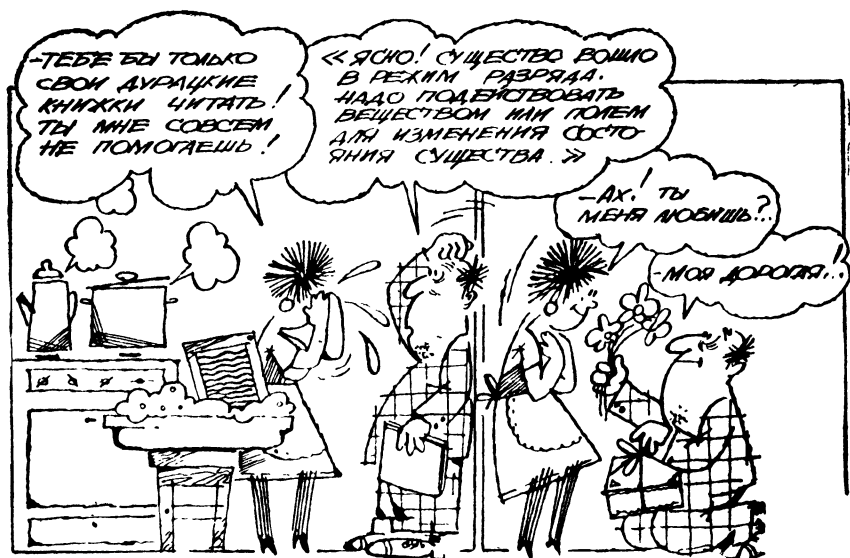
3-е звено. Вещество — преобразователь поля по виду

$$\text{ЭС } 3 \equiv \Pi_1 \rightarrow V \rightarrow \Pi_2;$$

4-е звено. Вещество — «приемник» поля («восприятие», «поглощение» поля).

$$\text{ЭС } 4 \equiv \Pi \rightarrow V.$$

Масштаб применения элементарных структурных звеньев для отображения структуры ТС также относителен, как относительно понятие «вещество». С их помощью можно записывать не только части ТС, в которых происходят простейшие, элементарные физические процессы и явления, примеры которых были рассмотрены выше. Они могут отображать и целые ТС, совершающие соответствующие энергетические превращения. Например, ЭС 1 может соответствовать аккумуляторной батарее в режиме разряда и ядерному реактору, ЭС 2 — линии электропередач, теплотрассе и трансформатору, ЭС 3 — электродвигателю, холодильнику и радиоприемнику, ЭС 4 — «абсолютному» теплоизолятору, спортивным матам в яме для прыжков в высоту и аккумулятору в режиме заряда.



Как же строится структура из типовых «кубиков»? Рассмотрим такой пример. Пусть даны два вещества V_1 и V_2 . Надо обеспечить, чтобы V_1 подействовало на V_2 , то есть $V_1 \rightarrow V_2$. Но изменять эти вещества нельзя.

Известно, что V_1 излучает поле Π_1 ($V_1 \rightarrow \Pi_1$), а V_2 может воспринять поле Π_2 ($\Pi_2 \rightarrow V_2$). Поскольку V_1 и V_2 должны остаться такими, как они есть, то остается только один путь: как-то преобразовать Π_1 в Π_2 ($\Pi_1 \Rightarrow \Pi_2$).

Допустим, известно, что преобразование может совершить вещество V_3 в возбужденном состоянии: $\Pi_1 \rightarrow V'_3 \rightarrow \Pi_2$. А переход вещества V_3 в состояние V'_3 возможен под действием поля Π_3 : $V'_2 \equiv \Pi_3 \rightarrow V_3$. Таким образом, получим четыре элементарных структурных звена: ЭС 1 $\equiv V_1 \rightarrow \Pi_1$; ЭС 3 $\equiv \Pi_1 \rightarrow V'_3 \rightarrow \Pi_2$; ЭС 4 $\equiv \Pi_2 \rightarrow V_2$; ЭС 2 $\equiv \Pi_3 \rightarrow V_3 \equiv V'_3$. Объединив их, получим структуру:

$$V_1 \rightarrow \Pi_1 \rightarrow V_3 \rightarrow \Pi_2 \rightarrow V_2 \equiv V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2$$

$\uparrow$
 Π_3

$\uparrow$
 Π_3

Из этого (несколько абстрактного) примера видно, что для построения структуры в обобщенной физико-энергетической форме необходимо записать желаемые взаимодействия и определить по ним те типовые структурные задачи, которые необходимо решить, чтобы желаемые взаимодействия превратились в действительные. Типовых задач также, как и элементарных структурных звеньев, четыре [3].

1-я типовая задача — построение структурного звена, обеспечивающего «излучение» поля веществом

$$Z_1 \equiv B \longrightarrow \Pi.$$

2-я типовая задача — построение структурного звена, обеспечивающего преобразование поля по программе (в том числе изменение интенсивности поля вплоть до его компенсации или устранения)

$$Z_2 \equiv \Pi = \Rightarrow \Pi'.$$

3-я типовая задача — построение структурного звена, обеспечивающего преобразование поля по виду (в том числе изменение количества видов полей на выходе)

$$Z_3 \equiv \Pi_1 = \Rightarrow \Pi_2$$

— преобразование с изменением количества полей на выходе;

$$Z_3 \equiv \rightarrow \Pi_1 = \Rightarrow \begin{array}{l} \rightarrow \Pi_2 \\ \rightarrow \Pi_3 \end{array}$$

— преобразование с изменением количества полей на выходе.

4-я типовая задача — построение структурного звена, обеспечивающего «восприятие» поля веществом

$$Z_4 \equiv \Pi \longrightarrow B.$$

Нетрудно догадаться, что в простейшем случае каждую типовую задачу можно решить путем применения соответствующего ей элементарного структурного звена.

Посмотрим теперь, как это делается на примере задачи.

«Быки мостов в зимнее время обмерзают, что неблагоприятно сказывается на их долговечности. Необходимо устранить этот недостаток наиболее простым и дешевым способом». Обозначим: B_1 — лед возле быка; B_2 — вода; B_3 — бык.

Их взаимодействие:

$$\begin{array}{ccc} \bar{B}_1 & \longrightarrow & B_3 \\ \uparrow & & \uparrow \\ & \longrightarrow B_2 \longleftarrow & \end{array}$$

желаемое состояние: $P_2 \leftrightarrow B_3$.

Ясно, что для устранения $\tilde{B}_1$ ($\tilde{B}_1 = \Rightarrow$) надо на него подействовать каким-то полем — решить задачу $Z_4 \equiv \Pi \longrightarrow V_1$.

Даже не прибегая к каким-либо подсказкам, нетрудно определить, что возможны два вида поля, эффективно воздействующих на лед и, соответственно, два варианта решения этой типовой задачи:

- 1) $\Pi_{\text{мех}} \rightarrow V_1$ (механическое воздействие);
- 2) $\Pi_T \rightarrow V_1$ (тепловое воздействие).

Поскольку решение должно быть дешевым, то в соответствии с принципами идеальности необходимо искать «даровые» источники энергии, желательно требуемого вида. Опять же нетрудно догадаться, что в качестве такого источника энергии может быть взята окружающая вода: если есть течение, то есть и $\Pi_{\text{мех}}$, а нижние слои воды зимой всегда теплее верхних и хранят значительные запасы Π_T . У энергии течения есть один недостаток — она может быть мала и вовсе отсутствовать (например, если мост перекинут через залив или бухту). Тепловая энергия нижних слоев воды есть всегда, поэтому решение, ориентирующееся на Π_T , будет более универсальным.

Итак, у нас есть звено $V'_2 \rightarrow \Pi_T$, которое надо соединить в цепочку со звеном $\Pi_T \rightarrow V_1$. Здесь возможны два варианта:

- 1) $V'_2 \rightarrow \Pi_T \rightarrow V_1$ — непосредственный контакт теплой воды со льдом;
- 2) $V'_2 \rightarrow \Pi_T \longrightarrow \Pi'_T \rightarrow V_1$ — передача тепла от нижних слоев воды ко льду через верхние слои воды.

Чтобы осуществить первый вариант, необходимо перемещать воду:

$$\Pi_{\text{мех}} \rightarrow V'_2(X_1) \rightarrow \Pi^{\Delta s}_{\text{мех}} \Rightarrow V'_2(X_2).$$

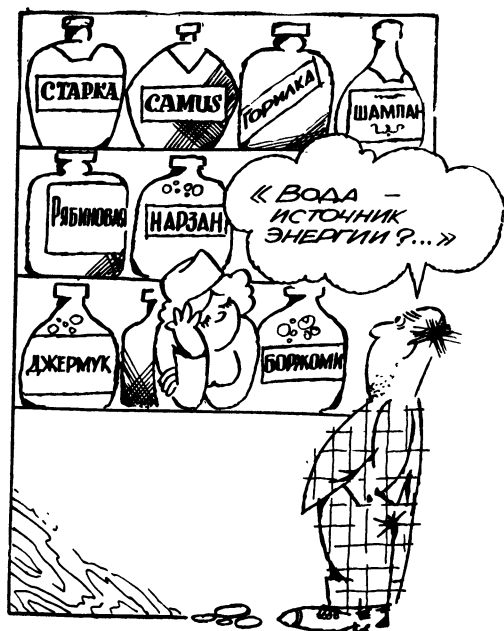
Для этого придется затратить дополнительную энергию, преодолевая силы тяготения.

Для реализации второго варианта достаточно решить задачу $Z_2 \equiv \Pi_T(X_1) \Rightarrow \Pi'_T(X_2)$. Задача эта решается легко, если ввести теплопроводное вещество. Тепло, согласно законам термодинамики, само пойдет от теплых слоев воды к холодным. В результате получаем структуру:

$$V'_2 \rightarrow \Pi_T \rightarrow V_4 \rightarrow \Pi'_T \rightarrow V_1.$$

Решение готово: поставим вокруг быка теплопроводные металлические пластины (патент США № 170 299).

Следует отметить, что решение действительно получилось простым и дешевым и вполне приемлемо при условии, что пластины вокруг быков мешать никому не будут. Если же на пластины (V_4) будет наложен запрет, то предпочтение следует отдать отвергнутому варианту с перемещением теплых слоев вверх. В этом случае придется решать задачу $Z_1 \equiv B \longrightarrow \Pi_{\text{мех}}$ (где и какую взять энергию для перемещения воды?).



В рассмотренном примере типовые структурные задачи легко решались введением соответствующих элементарных структурных звеньев. Но так удастся сделать только в том случае, когда взаимодействие заданных полей и веществ допускается законами природы. Или когда применение нужного поля или вещества не запрещено ограничениями. А как быть, если необходимо переместить кусок древесины с помощью магнитного поля? Ясно, что заданное вещество надо как-то преобразовать. Такие преобразования также можно типизировать. Будем выделять четыре так называемые типовые структурные решения [3].

Решение P1. Использование «хорошего» вещества:

- а) $\Rightarrow \underline{B}$ — введение вещества вновь;
- б) $\tilde{B}_1 \Rightarrow \underline{B_2}$ — замена «плохого» вещества «хорошим».

Решение P2. Видоизменение вещества путем дробления его на части (вплоть до мелкодисперсного состояния):

- а) $B \Rightarrow B - \Delta B$ — выделение части вещества;
- б) $B \Rightarrow Ч$ — переход к частицам вещества (мелкое дробление вещества).

Решение Р3. Видоизменение вещества путем присоединения дополнительного вещества (добавки):

$B \Rightarrow BB_1$ — добавка и вещество образуют смесь;

$B \Rightarrow B - B_1$ — добавка присоединена как отдельный элемент.

Решение Р4. Видоизменение вещества путем воздействия на него:

$$B \Rightarrow B \equiv B'.$$

Использование этих типовых структурных решений позволяет решать типовые структурные задачи следующим образом.

Таблица 2

Типовые структурные решения типовых задач

Типовые струк- турные решения	Типовые задачи			
	$З_1$	$З_2$	$З_3$	$З_4$
	$B \rightarrow \Pi$	$\Pi \Rightarrow \Pi'$	$\Pi_1 \Rightarrow \Pi_2$	$\Pi \rightarrow B$
P1	$ \overline{B} \rightarrow \Pi$	$\Pi \rightarrow \overline{B} \rightarrow \Pi'$	$\Pi_1 \rightarrow \overline{B} \rightarrow \Pi_2$	$\Pi \rightarrow \overline{B} $
P2	$B - \Delta B \rightarrow \Pi$ $\text{Ч} \rightarrow \Pi$	$\Pi \rightarrow \Delta B - B \rightarrow \Pi'$ $\Pi \rightarrow \text{Ч} \rightarrow \Pi'$	$\Pi_1 \rightarrow \Delta B - B \rightarrow \Pi_2$ $\Pi_1 \rightarrow \text{Ч} \rightarrow \Pi_2$	$\Pi - \Delta B \rightarrow B$ $\Pi \rightarrow \text{Ч}$
P3	$B_1 B_2 \rightarrow \Pi$ $B - \overline{B}_1 \rightarrow \Pi$	$\Pi \rightarrow BB_1 \rightarrow \Pi'$ $\Pi \rightarrow B - B_1 \rightarrow \Pi'$	$\Pi_1 \rightarrow BB_1 \rightarrow \Pi_2$ $\Pi_1 \rightarrow B - B_1 \rightarrow \Pi_2$	$\Pi \rightarrow BB_1$ $\Pi \rightarrow B_1 - B$
P4	$B \rightarrow \Pi$ $\uparrow$	$\Pi \rightarrow B \rightarrow \Pi'$ $\uparrow$	$\Pi_1 \rightarrow B \rightarrow \Pi_2$ $\uparrow$	$\Pi \rightarrow B$ $\uparrow$

Первое типовое структурное решение (P1) соответствует случаю «чистого» синтеза, то есть тому случаю, когда имеется возможность свободно **подбирать** и использовать необходимые физические решения, соответствующие элементарным структурным звеньям. Остальные решения применяются, как правило, при наличии ограничений, запрещающих замену вещества-процессора, или при наличии особых требований к нему и требуют, естественно, некоторого усложнения структуры.

Второе типовое структурное решение (Р2) применяется в первую очередь тогда, когда энергетическое превращение необходимо определенным образом **организовать в пространстве**. Причем, если требуемая пространственная организация не слишком сложна, то чаще всего используется выделение части вещества, а при необходимости обеспечения сложной пространственной организации целесообразно увеличивать степень дробления вплоть до перехода к частицам вещества. Например, разделение электрода на части, особым образом расположенные в пространстве, позволяет получить электрическое поле сложной конфигурации:

$$3_1 \equiv \left| \overline{B - B(x)} \right| \rightarrow \Pi_{\mathfrak{A}_1}(x).$$

Если в обычные тиски установить дополнительные стенки и насыпать туда мелкие кольца или шарики, то удастся равномерно зажимать детали сложной формы (а. с. № 510 350):

$$З_2 \equiv \Pi_{\text{мех}} \rightarrow Ч \rightarrow \Pi'_{\text{мех}}(x)$$

(здесь как бы раздробили на частицы наружный слой губок тисков).

А способ бесфильтрного волочения стальной проволоки (а. с. № 499 912), где роль фильтра выполняет ферромагнитный порошок, формируемый магнитным полем, является иллюстрацией применения решения Р2 к решению третьей типовой структурной задачи:

$$З_3 \equiv \Pi_{\text{магн}}(x) \rightarrow Ч \rightarrow \Pi_{\text{мех}}^{\text{спл}}(x).$$

И, наконец, разделение шумопоглощающего покрытия на отдельные элементы, нужным образом расположенные в пространстве, делают покрытие более «поглощающим»:

$$З_4 \equiv \Pi_{\text{ав}} \rightarrow \Delta B(x) - B.$$

Однако дробление в ряде случаев дает и более тонкие эффекты. Например, мелкодисперсное вещество, как правило, более химически активно. А разделение на части вибрирующей массы позволяет избежать резонанса, меняя коэффициент преобразования механической энергии. Общеизвестно также, что монолитное вещество, хорошо передающее усилия, становится поглотителем механической энергии после дробления на мелкие частицы.

Более верным способом придать веществу новые нужные свойства является типовое структурное решение (Р3), которое заключается в создании композиционного материала ($ВВ_1$) или в простом присоединении двух веществ ($В-В_1$).

Скажем, «вкрапление» в дерево намагниченных частиц делает его источником магнитного поля:

$$З_1 \equiv ВВ_1 \rightarrow \Pi_{\text{магн}}.$$

А наличие электропроводных примесей в пластмассе позволяет использовать ее для передачи электрического тока и для преобразования его в тепло:

$$З_2 \equiv \Pi_{\text{эл}} \rightarrow ВВ_1 \rightarrow \Pi'_{\text{эл}};$$

$$З_3 \equiv \Pi_{\text{эл}} \rightarrow ВВ_1 \rightarrow \Pi_{\text{т}}.$$

Если же в пластмассу ввести добавки свинца, то она становится защитой от радиации:

$$З_4 \equiv \Pi_{\text{эл.ч}} \rightarrow ВВ_1.$$

По сравнению с решением Р2, применение которого для изменения свойств вещества требует знания некоторых тонкостей, механизм срабатывания решения Р3 более прост. Надо подобрать элементарное структурное звено, решающее соответствующую типовую задачу и обеспечиваемое физикой, и попросту присоединить это звено к веществу, замена которого запрещена ограничениями. Поэтому-то решение Р3 очень широко распространено и, как правило, дает хороший эффект в виде сильных технических предложений.

Четвертое типовое структурное решение (Р4) также направлено на изменение свойств вещества, обеспечивающего энергетические преобразования. Но это изменение в отличие от Р2 и Р3 производится за счет активного воздействия на вещество каким-то полем. Примеров применения этого решения можно привести много. Так, довольно широко распространена активизация излучения за счет воздействия на вещество:

гамма-излучение после бомбардировки нейтронами (наведенная радиоактивность)

$$З_1 \equiv B \rightarrow \Pi_{\text{эл.м}}^{\gamma}(t_2) \\ \uparrow \\ \Pi_{\text{эл.м}}(t_2) ;$$



свечение люминофоров при механическом воздействии

$$Z_1 \equiv B \rightarrow \Pi_{\text{эл.м}}(t_2) \\ \uparrow \\ \Pi_{\text{мех}}(t_1)$$

Под действием полей активизируется и химическая активность веществ. Песок, например, обработанный в дезинтеграторе, приобретает вяжущие свойства цемента. А при ударном сжатии водных растворов в них протекают быстрые окислительно-восстановительные реакции, обычно идущие лишь в присутствии кислоты.

Сильные магнитные поля меняют сопротивление проводника:

$$Z_2 \equiv \Pi'_{\text{эл}} \rightarrow B \rightarrow \Pi''_{\text{эл}}(t_1) \\ \uparrow \\ \Pi_{\text{магн}}(t_1)$$

А тепловое воздействие на ферромагнитное вещество, меняя его магнитные свойства, изменяет и его способность решать третью структурную задачу:

$$Z_3 \equiv \Pi_{\text{магн}} \rightarrow B \rightarrow \Pi_{\text{мех}}(t) \\ \uparrow \\ \Pi_T(t_1)$$

С помощью теплового поля можно также вещество, хорошо работающее как преобразователь, заставить решать четвертую типовую задачу. Заморозив, к примеру, воду, хорошо передающую давление, можно обойти закон Паскаля. Ведь лед не менее хорошо может поглощать давление.

$$Z_4 \equiv \Pi_{\text{мех}} \rightarrow B(t_1) \\ \uparrow \\ \Pi_T(t_1)$$

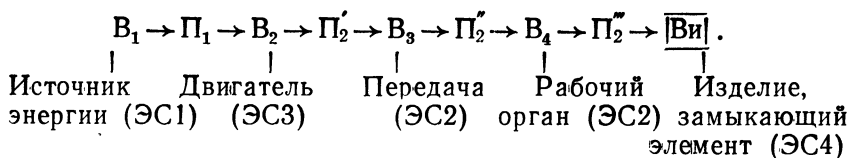
Типовое решение Р4 интересно еще и тем, что с его помощью удастся добиться нужной организации системы во времени (не случайно во всех схемах, иллюстрирующих примеры, указаны символы временной организации поля).

Подбирая соответствующее воздействие, обеспечивающее «последствие» или же «сразу действие», мы сможем осуществлять управление функционированием ТС.

Разумеется, типовые решения применимы не только по отдельности, но и в комплексе. Более того, именно в комплексе чаще всего удается получить наиболее интересные результаты, высокоэффективные решения. Например, совместное применение P2 и P4 позволяет легко менять организацию системы и в пространстве и во времени, а комплекс P3—P2—P4 добавляет к хорошему управлению нужные свойства.

Есть четкое соответствие между элементарными структурными звеньями и функционально-энергетическими звеньями технических систем, к которым относятся: источник энергии, двигатель, передача, рабочий орган (инструмент), изделие и замыкающий элемент. Последний поглощает энергопоток и может совпадать с изделием, инструментом или средой. Источник энергии соответствует звену ЭС 1, двигатель — звену ЭС 3. Передача чаще всего ЭС 2, реже ЭС 3. Рабочий орган и изделие в зависимости от назначения системы (подсистемы) могут отображаться всеми четырьмя типами звеньев. А замыкающий элемент соответствует звену ЭС 4. Поэтому из элементарных структурных звеньев можно «набирать» энергоцепочки, обеспечивающие энергетическую полноту и проводимость технической системы. При этом отдельные звенья стыкуются между собой по полям в соответствии с принципом системотехники стыковать подсистемы («черные ящики», «кубики») по входам и выходам. Энергоцепочки строятся по определенным правилам [3].

В общем случае полная энергоцепочка может иметь вид:



Здесь через $\overline{[Vi]}$ обозначено изделие.

Такие энергоцепочки в составе систем или подсистем встречаются, разумеется, не всегда. Они соответствуют энергетически самостоятельной системе или подсистеме, в которых есть необходимость во всех указанных преобразованиях энергии. В других случаях звенья энергоцепочки могут либо совпадать друг с другом (то есть объединяться), либо исключаться из цепочки. Например, когда энергия источника уже имеет соответствующий вид, двигатель может быть исключен или совмещен с источником энергии. В том случае, когда в системе или подсистеме отсутствует источник энергии, они считаются энергетически несамостоятельными. Энергия при этом подается на вход энергоцепочки в виде поля из окружения, то есть от других систем, подсистем или внешней среды. Может быть исключена и передача, если энергия от двигателя или источника энергии передается, например, сразу рабочему органу. В пределе энергоцепочки могут состоять



всего из двух элементов — рабочего органа и изделия. Такие энергоцепочки называются минимальными:

$$\left. \begin{array}{l} B \rightarrow \overline{[B_i]} \\ \overline{[B_i]} \rightarrow B \end{array} \right\} \text{минимальные энергоцепочки.}$$

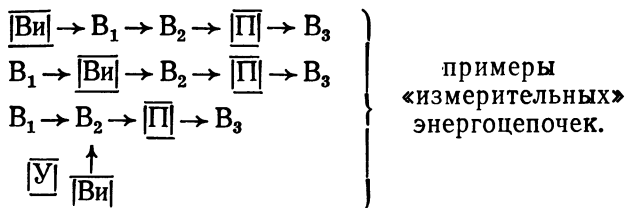
Минимальные энергоцепочки всегда предпочтительнее других, так как в них, как правило, можно обеспечить минимум энергетических потерь.

Из двух изображенных минимальных энергоцепочек один тип цепочки соответствует прохождению энергии от рабочего органа к изделию. Это — «**изменятельные**» энергоцепочки, соответствующие «изменятельным» ТС или ПС, цель функционирования которых состоит в изменении состояния изделия. В таких цепочках изделие, как правило, является замыкающим элементом или стоит в цепочке непосредственно перед ним:

$$\left. \begin{array}{l} B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow B_3 \rightarrow \overline{[B_i]} \\ B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow \overline{[B_i]} \rightarrow B_3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{примеры «изменятельных»} \\ \text{энергоцепочек.} \end{array}$$

Энергоцепочки второго типа, в которых происходит прохождение энергии от изделия к рабочему органу, называются «**измерительными**» энергоцепочками. Они соответствуют ТС или ПС, целью функционирования которых является получение информации о состоянии изделия. В этих цепочках изделие, как правило, стоит в начале или середине энергоцепочки, являясь источником

или преобразователем энергии. Или осуществляет управляющее воздействие на один из элементов энергоцепочки:

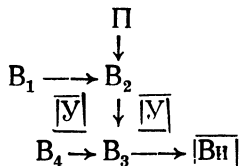


В «измерительных» энергоцепочках рабочий орган преобразует энергопоток в хорошо обнаруживаемое или хорошо измеряемое поле. А замыкающим элементом в таких энергоцепочках бывает человек, или заменяющее человека логическое устройство, или элемент другой энергоцепочки, или внешняя среда.

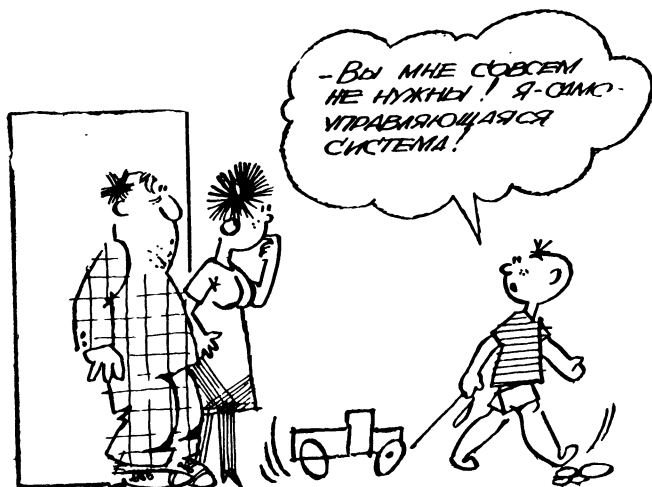
В примерах «измерительных» энергоцепочек нижняя цепочка не совсем обычна. По сути дела она состоит из двух цепочек. В одной из них проходит энергопоток, непосредственно превращающийся в полезный выход ТС или ПС. В другой же, отмеченной символом $\overline{[У]}$, проходит энергопоток, влияющий на один из элементов первой энергоцепочки и управляющий первым энергопотоком. Такое взаимодействие энергопотоков отражает существование еще двух типов энергоцепочек. Энергоцепочки первого типа, через которые проходит энергопоток, обеспечивающий чаще всего подвод энергии к изделию и (или) проход энергии через него и непосредственно связанный с получением полезного результата, называются **основными** (или **управляемыми**) энергоцепочками. Второй тип — это **управляющие** энергоцепочки, обеспечивающие целенаправленное изменение основного энергопотока путем подвода энергии к одному из его элементов.

Разделение на основной и управляющий энергопотоки, разумеется, относительно. Поток, считающийся управляющим по отношению к одному энергопотoku может считаться основным по отношению к другим. Кроме того, в самоуправляющихся системах или подсистемах функции основного и управляющего могут совмещаться в одном энергопотоке.

Относительность деления на основной и управляющий энергопотоки можно показать на таком примере:



Так же, как и деление энергоцепочек на «изменительные» и «измерительные», выделение основных и управляющих энергоцепочек позволяет обратить внимание на специфику их построения.



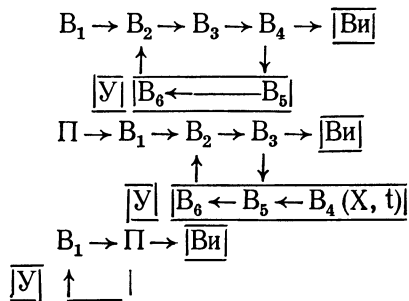
Для того, чтобы основным энергопотокom можно было управлять, в составе соответствующей энергоцепочки необходимо иметь хотя бы один хорошо управляемый элемент, то есть вещество, легко изменяющее свое состояние под действием управляющего поля. Причем эти изменения должны соответствующим образом влиять на основной энергопоток. Подобных пар «вещество — поле», обеспечивающих управляемость систем, в природе известно довольно много. В частности, могут быть использованы ферромагнитные вещества или феррочастицы с магнитными или электромагнитными полями. А также электрическое поле и электро-реологические жидкости (то есть смеси, меняющие свою вязкость под действием электрического поля). Если объектом управления является изображение, можно применить люминесцентные вещества с ультрафиолетовым излучением. Хороший эффект дает применение веществ, испытывающих под действием управляющих полей физические превращения. Например, фазовые переходы: изменение агрегатного состояния, изменение магнитных свойств при переходе через точку Кюри и т. п.

В то же время вещества основной энергоцепочки не должны быть восприимчивы к «посторонним» полям, то есть к тем, которые не используются в основном и управляющем энергопотоках, в частности, к полям окружающей среды.

Управляющая энергоцепочка, осуществляющая управление без обратной связи по заданной программе, представляет собой «изменительную» энергоцепочку, замыкающим элементом которой должен быть какой-либо элемент основной энергоцепочки. В этом качестве может быть использован любой из элементов основной энергоцепочки за исключением, как правило, изделия и замыкающего элемента. В самой управляющей энергоцепочке одни из элементов или поле на входе в нее должны быть организованы

в пространстве и во времени в соответствии с заданной программой (то есть должны соответствующим образом меняться).

Если осуществляется управление с обратной связью, то к «измерительной» части управляющей энергоцепочки добавляется «измерительная», вводящая информацию из основного энергопотока в управляющий:



У «измерительных» и управляющих энергопотоков есть еще одно свойство: их интенсивности должны быть по возможности минимальными. Выполнение этого требования способствует повышению эффективности системы.

Описанный аппарат построения энергоцепочек из элементарных структурных звеньев имеет, разумеется, ценность лишь в том случае, если под намеченные структуры можно подобрать соответствующую физику. Поскольку требуемая информация о природных явлениях и эффектах не всегда так элементарна, как в примере с обмерзанием быков моста, в состав методов направленного поиска решений обязательно входят соответствующие массивы информации.

В теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) работа над массивом физических эффектов началась еще в начале 70-х годов. В последние годы идет накопление информации по химическим и геометрическим эффектам [1, 33]. Однако хорошего поискового аппарата к этим массивам информации в ТРИЗ нет, хотя в [1] даны интересные предложения на этот счет.

Аппарат поиска информации о физико-технологических эффектах довольно серьезно разработан в методике Р. Коллера (ФРГ) и в отечественном обобщенном эвристическом методе [6, 12]. Правда, эти массивы полностью не опубликованы (в [6] приведен массив из 120 эффектов и явлений, но без поискового аппарата).

В соответствии с изложенными принципами энергетического синтеза структур построен поисковый аппарат к массиву физических эффектов и явлений в комплексном методе поиска новых технических решений [3]. Каждый физический эффект (или явление) представлен в виде преобразователя энергопотока по виду или по программе. При этом для процессов излучения и поглощения энергии используется представление о внутренней энергии вещества (на входе для ЭС1, на выходе для ЭС4). Поиск производится по типовым энергопотокам (полям) на входе и выходе с учетом управления параметрами физического

эффекта (этот поисковый аппарат вместе с информацией о физических явлениях и эффектах будет приведен в следующей книге данной серии).



Рассмотрим на примере задачи о сортировке дробы, каков должен быть подход к структурно-энергетическому синтезу принципа действия системы. Найти источник энергии для получения механического движения дробинки несложно: есть даровая энергия гравитационного поля нашей планеты. Гораздо сложнее сделать движение дробы чувствительным к форме дробинки, к столь малым отклонениям от правильной сферы. Сортировка на фракции (годную и негодную) состоит из двух операций: обнаружения и отделения. Обнаружение бывает тоже двух видов: «по сигналу» и «по поведению». Обнаружение «по сигналу» предполагает получение потока информации (сигнала) от обнаруживаемого объекта.



Этот поток информации затем используется для управления другим энергопотокотом, отделяющим обнаруженный объект от остальных. (По такому принципу построена работа человека, сортирующего дробь.) В технической системе, сортирующей «по сигналу», необходимо сначала построить измерительную энергоцепочку, имеющую на выходе нужный сигнал. Поскольку дробь сама ничего не излучает, необходимо использовать преобразование энергии (ЭС2 или ЭС3):

$$П' \rightarrow \overline{[Ви]} \rightarrow П'' \quad \text{или} \quad П_1 \rightarrow \overline{[Ви]} \rightarrow П_2$$

На выходе (Π'' или Π_2) желательно иметь какое-нибудь хорошо измеряемое, хорошо управляемое поле: электрическое, магнитное или электромагнитное. Причем преобразование должно быть чувствительным к форме изделия.

Обратившись к массиву физических явлений и эффектов, находим подходящее явление: чувствительность электрических и магнитных полей к форме тел, образующих эти поля. В частности, можно использовать эффект повышения напряженности поля при уменьшении радиуса кривизны поверхности электрода или намагниченного тела.

При обнаружении «по поведению» объекты вовлекаются в некоторый процесс и взаимодействие с другими объектами или средой. Разные объекты взаимодействуют по-разному, обнаруживая себя разным поведением. Естественно, тип взаимодействия сортируемых объектов в процессе обнаружения должен соответствовать признаку, по которому их должны разделять. Если сортировка идет по плотности, то объекты можно поместить в жидкость, имеющую плотность, среднюю между плотностями разделяемых объектов. Если сортировка идет по размерам, то объекты лучше всего пропустить через сито с мерными ячейками. Как видно из этих примеров, процесс обнаружения «по поведению», как правило, совпадает с отделением одной фракции от другой. Поэтому сортировка с обнаружением этого типа обычно более производительна, чем при использовании обнаружения «по сигналу». При сортировке «по поведению» необходимо строить «изменяющуюся» энергоцепочку.

Для нашей задачи подходящим взаимодействием может быть, например, скатывание дробин по наклонной плоскости, поскольку оно зависит от формы дробин:

$$\begin{array}{ccc} \Pi_1 \rightarrow \text{Ви}' \rightarrow \Pi_2' (В'_и); & \Pi_1 \rightarrow \text{Ви}'' \rightarrow \Pi_2'' (В''_и), \\ \uparrow & \uparrow \\ B_1 & B_1 \end{array}$$

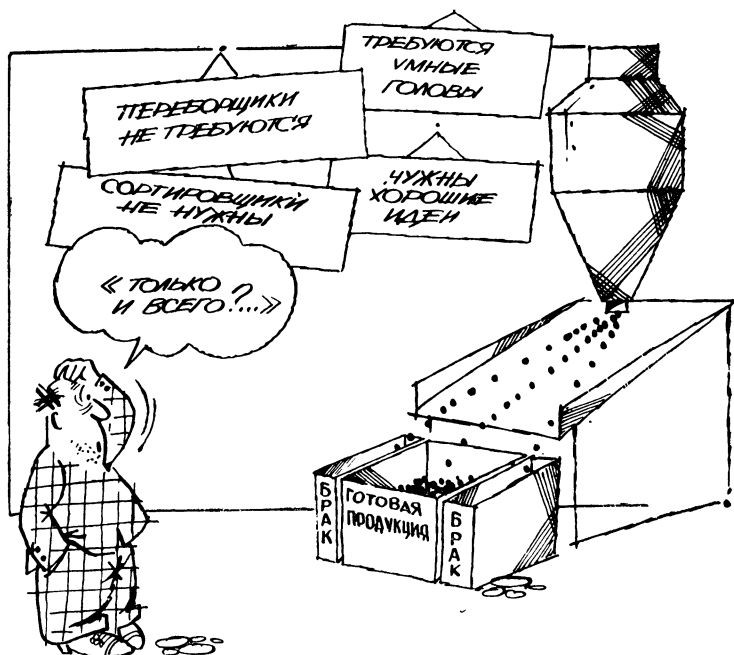
где $В_и$ — дробь;

B_1 — наклонная плоскость;

Π_1 — энергия гравитационного поля;

Π_2 — энергия механического движения вещества $В_и$.

Чтобы намеченные структуры заработали, необходимо усилить различия во взаимодействии годной ($В'_и$) и негодной ($В''_и$) дроби с наклонной плоскостью. Как было показано, для этого необходимо использовать типовые структурные решения (таблица 2). Поскольку заменять дробь и разделять ее на частицы нельзя, остаются решения РЗ (присоединение вещества) и Р4 (воздействие полем), а также их комбинация. Если использовать эффект повышения напряженности магнитного поля при уменьшении радиуса кривизны, то очевидным становится такой принцип усиления различий в форме дробин: намагнитить дробинки и обсыпать их ферромагнитными частицами. Последние дол-



жны налипнуть в основном в местах с повышенной напряженностью магнитного поля, то есть на негодных дробинках.

Не развивая дальше найденный принцип действия, отметим два основных момента, которые видны из рассмотренного примера:

1) структурный аппарат (типовые звенья и решения) можно применять достаточно формально, используя сначала допустимые, а затем, после нахождения подходящей физики, отбирая предпочтительные варианты;

2) прежде, чем обращаться к структурам, необходимо выполнить анализ принципов и условий функционирования системы или подсистемы.

Применительно к синтезу простой (однофункциональной) подсистемы, следует руководствоваться следующими рекомендациями.

В первую очередь уточняется желаемый результат функционирования (цель, функция) и ограничения. Последние определяются, исходя из общих ограничений для ТС. Затем определяется изделие подсистемы, то есть тот объект, изменение состояния которого или получение информации о котором считается целью функционирования ПС. Далее необходимо выяснить тип подсистемы: является ли она изменяющей или измеряющей, основной (управляемой) или управляющей.

Необходимо также уточнить характер организации подсистемы в пространстве и во времени. При этом определяются области пространства и моменты времени, в которых должно проис-

ходить требуемое действие. Кроме того, выясняется, какие характерные пространственные и временные ритмы должны быть у элементов подсистемы или есть у какого-либо элемента, который должен входить в подсистему в соответствии с принципами идеальности: не вводить ничего лишнего, согласовывать ритмы входящих в систему элементов и т. п.

Определение типа подсистемы и выявление ее пространственно-временной организации позволяют наметить предпочтительные поля на входе и выходе. Это уже большое приближение к решению. Ведь определенность в полях на входе и выходе в значительной степени способствует однозначности определения физического принципа работы подсистемы.

Поля на выходе подсистемы определяются особенностями использования этого выхода и «воспринимающими способностями» окружения. Если энергия выхода должна перерабатываться в другой ПС, которая уже построена, то поле на выходе должно соответствовать виду энергии, используемому в этой другой ПС. Если подсистема предназначена для управления каким-то энергопоток, то поле на выходе должно соответствовать хорошо управляемому элементу, входящему в управляемую энергоцепочку. Если выход подсистемы должен как-то воздействовать на человека, то необходимо учитывать ограниченность человеческих способностей. Необходимо учитывать также способность восприятия выхода окружающей средой.

Поля на входе подсистемы довольно часто могут быть заданы или определены как предпочтительные из условий функционирования. Когда в Швейцарии приступили к созданию аэрозольного бесфреоновго баллончика для косметических средств, было решено создавать в баллончике повышенное давление воздуха за счет энергии человека. При этом, чтобы не отпугнуть потребителя, нужно было выбрать какое-то привычное человеку действие. Остановились на периодическом вставивании баллончика («перед употреблением взбалтывать»).

На входе может быть также задано поле, управляющее данной подсистемой. Когда же определенности нет, то целесообразно применять следующие рекомендации.

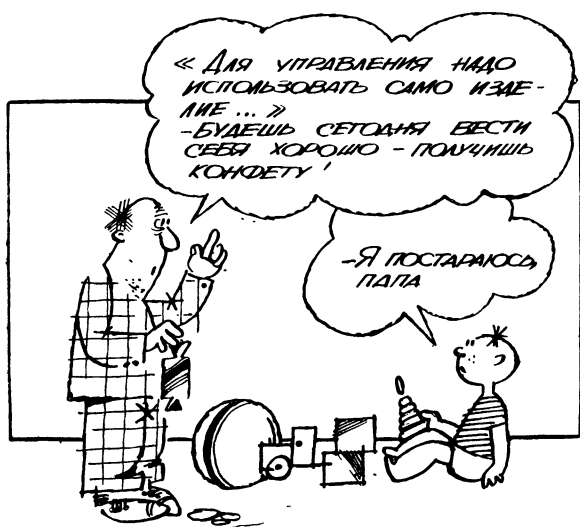
Если нет противопоказаний, желательно поле на входе энергопотока брать таким же, что и на выходе, ибо преобразование по программе, как правило, проще, чем на виду.

Если в системе уже есть энергопоток, достаточный для работы заданной подсистемы, на вход следует подавать часть этого энергопотока. Например, в автомобильном двигателе для приведения в действие всех вспомогательных подсистем используется энергия вращения коленчатого вала.

Подобным же образом следует использовать имеющийся в окружении энергопоток, имеющий такую же пространственно-временную организацию, что и подсистема, которую строим. Этот энергопоток также целесообразно подать на вход подсистемы либо как основной, либо как управляющий. Например, для привода золотника паровой машины, который должен перемещаться возвратно-поступательно, используется энергия движения поршня, который перемещается таким же образом. Если же в окружении нет подходящего энергопотока (поля), который можно использовать для организации работы подсистемы, но зато есть элемент (вещество), подходящим образом изменяющий свои свойства в пространстве или во времени, то на вход подсистемы следует подать поле, излучаемое этим элементом или меняющееся им. Элемент включается в состав подсистемы, а энергопоток, пройдя через него, используется для пространственно-временной организации подсистемы.

Желательно также для управления подсистемой использовать само изделие, как, например, в установке для штамповки цинкоалюминиевых сплавов. Интервалы температур, при которых эти сплавы приобретали свойства сверхпластичности, различны, довольно узки и не всегда постоянны. Чтобы уловить этот интервал и включить пресс в нужный момент, советские ученые Я. М. Охри-

менко и О. М. Смирнов предложили использовать тот факт, что в момент перехода к сверхпластичному состоянию перестраивается структура сплава и меняется его магнитная проницаемость.



Подобный результат может быть получен и при переработке подсистемой энергопотока, особенно периодически действующего с нарастающей или убывающей интенсивностью. В таких случаях энергопоток может сам приводить подсистему в готовность к действию, изменяя состояние соответствующих элементов энергоцепочки.

Есть еще одна рекомендация по выбору поля, действующего в подсистеме. Поле должно максимально соответствовать способностям заданных элементов подсистемы воспринимать его или влиять на него. В «измерительных» подсистемах определяющими являются способности изделия. Если сквозь такую подсистему проходит поле, по изменению которого судят о состоянии изделия, то вид поля должен соответствовать тем свойствам изделия, которые отличают обнаруживаемое или измеряемое состояние изделия от других его состояний. К примеру, при обнаружении момента начала кипения электролита, поле, проходящее через электролит, должно быть чувствительным к главному фактору, отличающему обнаруживаемый момент от других: к появлению паровых пузырьков во всем объеме электролита. Такими полями могут быть электрическое и акустическое.

Непосредственный синтез подсистемы при всех заданных требованиях (включая выбранные поля на входе и выходе) состоит из следующих операций. Сначала намечают возможные структуры, при которых заданные входы можно переработать в заданные выходы. При этом построение энергоцепочек ведут от изделия: сравнивая вид поля, который надо подводить к изделию или которым изделие воздействует на энергопоток, с видами поля на входе и на выходе, определяют необходимость введения в энергоцепочку тех или иных элементарных структурных звеньев. Но увлекаться преобразованиями не следует. Всегда желательно получать минимальные структуры и начинать надо с них. Наметив структуры, приступают к определению физических принципов, при которых могут быть реализованы намеченные струк-

туры. Затем после нахождения физического принципа при необходимости опять производится корректировка структуры.

* * *

Заканчивая рассмотрение рекомендаций к синтезу однофункциональной подсистемы, необходимо еще раз обратить внимание на следующее условие: чем более тщательно будут проанализированы и учтены условия работы ПС, чем более подробно и однозначно будут определены ее входы и выходы, чем в большей степени будут использованы принципы идеальности, тем более направленным будет поиск физического принципа действия подсистемы, и тем более вероятно, что полученная подсистема будет достаточно эффективна.

Подобный подход справедлив и при синтезе системы в целом.

Глава 6

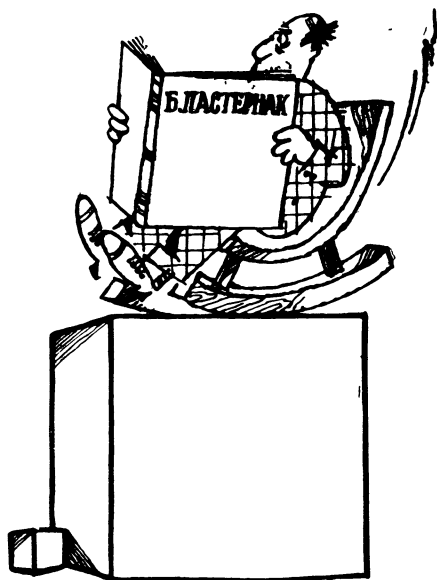
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЛОГИКИ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ,

а также

*об одном высказывании Бориса Пастернака,
о том, как герметично закрыть отверстие в стене,
о стальных кубиках, один из которых почти в сто
тысяч раз больше другого,*

и, наконец,

*об особом кресле, самым непосредственным образом
связанном с романом Станислава Лема
«Возвращение со звезд»*



По словам Б. Пастернака, для человека выбор — всегда драма. Это касается не только выбора варианта решения из множества возможных, но и выбора метода поиска этих вариантов.

В самом деле, отдать предпочтение одному из нескольких десятков известных эвристических методов, не умея объективно оценить их, не легко. Именно желание разобраться в этих методах побудило авторов обратиться к изучению процесса поиска новых технических решений как системы операций, к выявлению его форм и особенностей, его внутренней логики.

Логика поиска новых технических решений входит в теорию поиска наряду со знаниями о технических системах, о законах их построения и развития. Логика поиска представляет собой систему знаний о путях перехода от проблемы к новому решению при имеющемся уровне знаний о ТС. Ее цель — найти формы преобразования имеющейся информации о проблеме и системе, облегчающие преодоление барьеров на пути к решению. При этом используются, разумеется, накопленные наукой общие представления о процессе поиска и принятия решений (см., например, [26]).

Основные положения логики поиска получены путем обобщения и теоретического осмысления эмпирического материала, то есть разработанных разными авторами эвристических методов.



Как было показано в главе 1, творческий поиск имеет вид перебора вариантов (за счет видоизменения или синтеза признаков системы на уровне ее внутреннего функционирования с последующим анализом полученных «способностей» ТС). При направленном поиске решений перебор базируется в основном на трех методах получения информации о новых признаках ТС: случайный поиск (генерирование), использование списков подсказок, а также комбинирование признаков строения системы (морфологических признаков). Главной отличительной чертой направленного поиска является максимальное использование анализа особенностей функционирования ТС, который проводится перед началом перебора (из анализа «выжимается» все), а поиск новых признаков системы при переборе ведут на базе известных законов построения и развития ТС.

Рассмотрим особенности направленного поиска новых технических решений, как наиболее перспективного вида поиска.

В главе 1 приведены четыре основных этапа процесса решения проблем: постановка задачи, поиск вариантов решения, анализ вариантов, оценка вариантов и выбор решения. Там же было показано, что переход от исходной **проблемной ситуации** к задаче на этапе постановки задачи заключается в определении цели, ограничений, а также нахождения критерия выбора решения, которые составляют **«модель решения»** на уровне внешних характеристик системы. Чтобы уменьшить влияние психологиче-

ских ограничений на этом этапе, необходимо (в соответствии с первым принципом идеальности) проверить, надо ли решать данную задачу. Для этого следует обобщить цель и рассмотреть возможность ее достижения за счет соседних систем или этапов процесса. Другими словами, надо построить дерево целей — средств вверх от уровня системы, на котором описана проблемная ситуация, проанализировать его как минимум на уровне надсистемы и выявить наиболее перспективное направление достижения более общей цели.

Обратимся к примеру с доставкой комбикорма потребителю (глава 1, рис. 1). Исходная проблемная ситуация может иметь, например, вид: «Долго выполняется зашивка (закрытие) тары с комбикормом». Этой ситуации соответствует цель: «Ускорить закрытие тары». Необходимо обобщить ее как минимум до уровня «Ускорить доставку корма от бункера до транспортного средства» и рассмотреть возможность снижения затрат времени за счет каждой из существующих операций. При этом может оказаться, что более существенный выигрыш во времени можно получить, например, за счет ускорения доставки тары к транспортному средству и погрузки на него. Соответственно должна быть сформулирована новая цель, определены ограничения и критерий для нее.



При таком подходе к постановке задачи по сути дела сначала выполняется предварительный, ориентирующий поиск, заканчивающийся выбором направления решения (НР) обобщенной проблемы. А потом, решая задачу, соответствующую выбранному направлению, выполняется окончательный, конкретизирую-

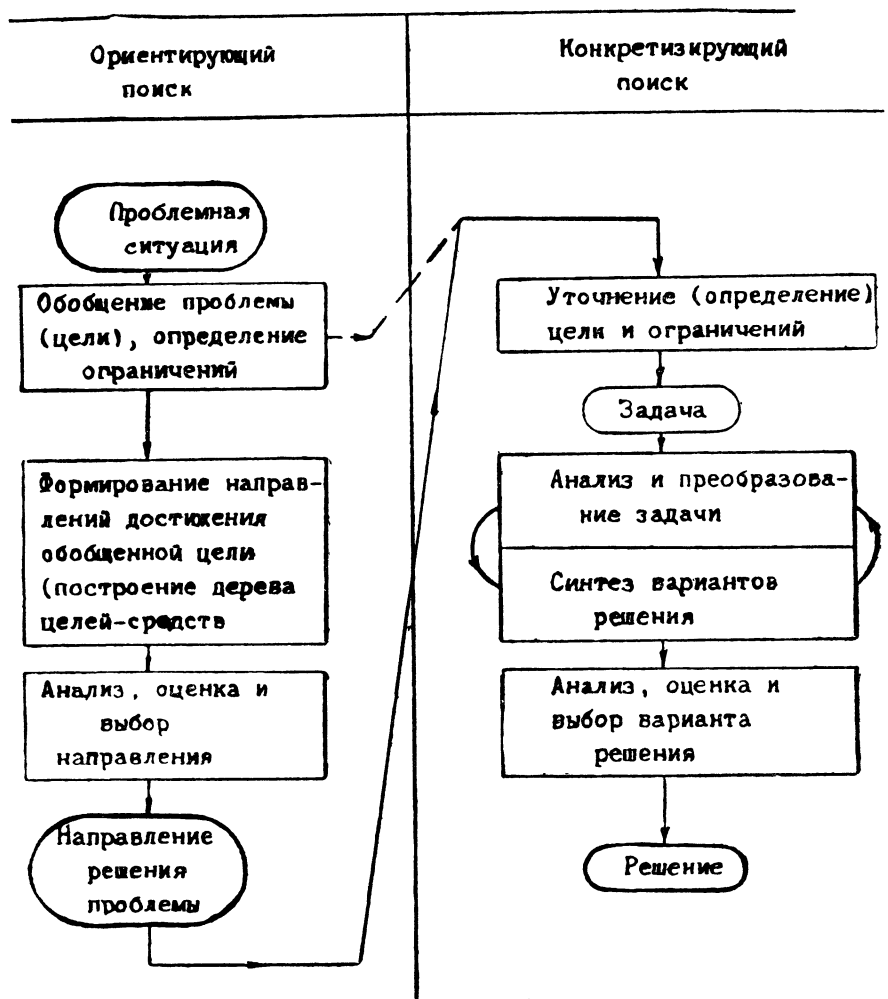


Рис. 11. Схема процесса поиска новых решений:

- основные этапы и операции;
- состояние информации.

щий поиск решения проблемы. Особенности этапов этих видов поиска показана на рис. 11.

При формировании направлений достижения обобщенной цели, то есть при построении дерева целей — средств на уровне исходной системы и выше, нет необходимости генерировать какие-то новые технические решения. Достаточно отразить на дереве существующий состав надсистемы или надпроцесса, а также ввести «нулевые» (инверсные) варианты, исключающие из надсистемы какие-то системы или процессы. На дереве (рис. 1) этим вариантам соответствуют ветви «исключить взвешивание» и «исключить операции с тарой».

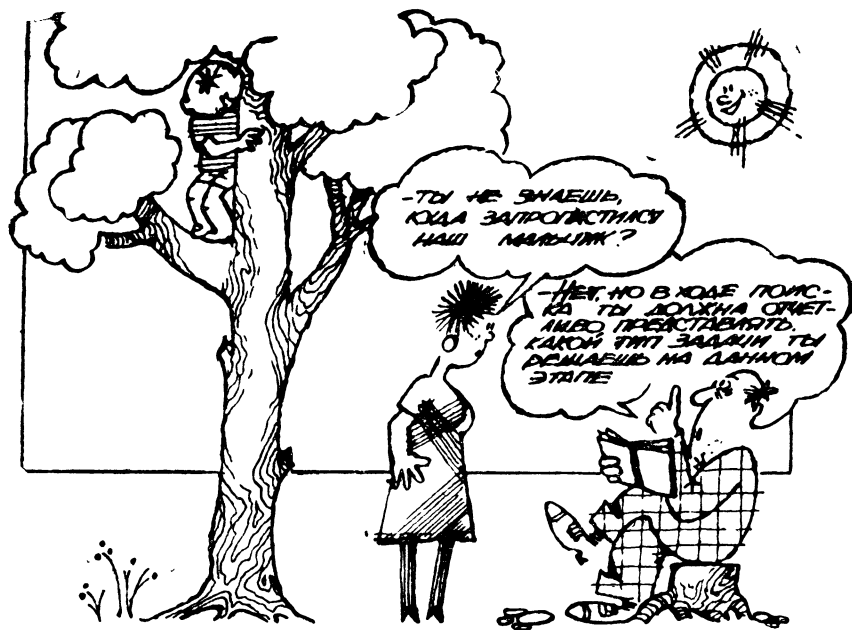
При очень жестких ограничениях на отход от направления, соответствующего исходной проблемной ситуации, может быть наложен запрет. (Этому случаю на схеме рис. 11 соответствует штриховая линия). Однако не надо жалеть времени на проведение ориентирующего поиска в полном объеме и в этом случае. При выявлении явно более предпочтительного направления можно попытаться откорректировать исходные ограничения.

После формулировки задачи, соответствующей выбранному направлению решения проблемы, процесс поиска переходит к этапу анализа и преобразования задачи, характерного именно для направленного поиска решения. Этот этап тесно связан с этапом синтеза вариантов решения, поскольку направленный поиск характеризуется сравнительно плавным переходом от задачи к решению, постепенным «просветлением» в виде нескольких небольших скачков (вместо одного большого скачка при традиционном «озарении»).

Особенности выполнения анализа и преобразования задачи зависят от **типа задачи**. Тип задачи определяется причиной, по которой мы не можем обеспечить достижение заданной цели, то есть не можем удовлетворить некоторую потребность окружения. Из материалов глав 2 и 3 мы знаем, что таких причин две: функциональная неполнота системы и обострение противоречия в функционально полной ТС. Задачу, требующую построения системы с нуля или достройки одной из подсистем, будем называть **задачей синтеза**. А задачу, требующую для своего решения разрешения противоречия в ТС, — **задачей-противоречием**.

Задача синтеза в чистом виде возникает только при качественном изменении потребностей, то есть на этапе становления новой ТС или подсистемы на этапе обеспечения ее работоспособности. Задача-противоречие возникает тогда, когда уже есть система, то есть на этапах развития работоспособной ТС, при повышении ее эффективности. Соответственно задачи-противоречия в процессе развития ТС возникают чаще. Однако в процессе поиска решения оба этих типа задач могут преобразовываться один в другой. При синтезе новой ТС мы получаем и соответствующий набор противоречий. Часть из них могут оказаться обостренными, что приведет к необходимости решения задач-противоречий. С другой стороны, в ряде случаев разрешение противоречия требует

изменить принцип действия системы, что равносильно разрушению старой и синтезу новой ТС, то есть задача-противоречие в процессе решения может переходить в задачу синтеза. Подобный переход может быть также осуществлен сразу после выявления обостренного технического противоречия: система или ее часть, связанные с противоречием, разрушаются и формируется задача синтеза с соответствующим ограничением «эту (разрушенную) ТС или подсистему не применять». Поскольку для решения задач разных типов и аппарат используется разный, необходимо в ходе поиска решения отчетливо представлять, какой тип задач мы решаем на данном этапе поиска.



Кроме типа задачи, на процесс решения влияет и ее сложность. Простая задача синтеза требует построить или достроить одну подсистему (то есть обеспечить выполнение одной элементарной функции). Сложная задача синтеза возникает при необходимости построения нескольких взаимосвязанных подсистем или многофункциональной ТС в целом.

Простая задача-противоречие содержит в себе одно техническое противоречие, которое необходимо разрешить. А сложная задача-противоречие соответствует нескольким взаимосвязанным положительным и нежелательным эффектам. Следует отметить, что реальные задачи, как правило, являются сложными, но в ходе решения могут быть сведены к нескольким простым.

Направленность поиска при решении сложных задач может быть обеспечена за счет ранжирования простых задач, составля-

ющих сложную, по степени существенности. При синтезе многофункциональной системы выделяется **центральная ПС**, в наибольшей степени определяющая выполнение ГПФ (как подсистема увеличения различий в форме годных и негодных дробинok в системе для сортировки дробы, рассмотренной в главе 5). И синтез ведут, начиная с центральной ПС. При анализе сложной структуры противоречия также выделяется наиболее предпочтительное направление разрешения и соответствующее ему простое ТП. Предпочтительность направления определяется как особенностями функционирования системы, так и закономерностями ее развития.

При решении сложных задач возможны два подхода к учету реальной сложности. При первом (линейном) подходе каждая простая задача решается сама по себе, а учет взаимосвязанных задач (подсистем, противоречий) производится за счет ограничений со стороны ранее решенных задач, а также, в основном, за счет выявления появившихся нежелательных эффектов на этапе анализа и оценки решения. При втором подходе кроме более важных, ранее решенных задач в поле зрения постоянно держатся и несколько наиболее близких задач (подсистем, противоречий) из числа менее важных. Хотя второй подход более трудоемок, но при нем с большей степенью вероятности можно выйти на оптимальное решение, а также предотвратить возвраты с этапа анализа и оценки решения для корректировки полученных вариантов. В соответствии со вторым подходом при синтезе ТС кроме центральной ПС выделяют также группу связанных с ней основных подсистем, определяющих работоспособность синтезируемой системы. А при решении задачи-противоречия учитывают влияние выбранного направления разрешения ТП на ухудшение важных сторон системы.

* * *

С определения типа и сложности задачи начинается этап анализа и преобразования задачи. При этом суть задачи должна быть предельно обнажена и освобождена от излишней информации, задача упрощается и конкретизируется. Эту операцию можно назвать построением **модели задачи (МЗ)**, в которой обязательно указывается суть нежелательного эффекта (то есть тип задачи), сложная задача дробится на составляющие ее простые, а у простых задач указывается минимально необходимая для первоначального рассмотрения часть ТС и ее состояние. Выявляются также особенности функционирования и требования к пространственно-временной организации системы.

Построение модели задачи необходимо для облегчения выполнения ключевой операции этапа преобразования задачи-построения **оперативной модели решения (МР)**, которая является пределом уточнения задачи и первым шагом к синтезу решения. Цель построения оперативной модели решения заключается в переходе с признаков внешнего функционирования ТС, отраженных в модели решения, построенной на этапе постановки задачи, к признакам внутреннего функционирования. При этом черты ре-

шения задачи должны быть предсказаны с наиболее возможной степенью конкретности, используя для этого информацию, выявленную при построении модели задачи.

Поскольку сложные задачи сводятся к решению нескольких простых, рассмотрим особенности построения оперативной модели решения и дальнейших операций применительно к простым задачам.

В оперативную модель решения закладываются:

- необходимость устранения нежелательного эффекта;
- необходимость предотвращения ухудшения других сторон и способностей ТС;
- необходимость выполнения ограничений, сформулированных на уровне внутреннего функционирования;
- область пространства и период времени, в которые должен быть устранен нежелательный эффект;
- необходимость выполнения всех требований «само собой» за счет ресурсов системы и ее окружения (в частности, может быть указан подходящий элемент ТС или окружения).



Как видно из этого перечня, основными требованиями оперативной модели решения, кроме достижения цели (устранение нежелательного эффекта) при заданных ограничениях, являются требования непротиворечивости и повышение идеальности ТС.

Чтобы перейти от требований к свойствам, выполняют анализ оперативной модели решения выявляют **физические условия реализации** этой модели. То есть определяют свойства элемента или области пространства, которые необходимы для выполнения требования модели. Если выявленные свойства оказываются непротиворечивы, получаем модель решения на уровне внутреннего функционирования системы — **принципиальное решение**, то есть

идею решения. Если выявленные свойства несовместимы, то получаем физическое противоречие. Разрешив это противоречие, переходим к принципиальному решению, указывающему на принцип организации новой ТС в пространстве, во времени или в различных отношениях.

Необходимо отметить, что некоторые авторы (см. [1]) главную цель анализа задачи через оперативную модель решения видят в выявлении физического противоречия. Но в главе 3 было показано, что к формулировке физического противоречия можно перейти сразу от формулировки технического противоречия без всяких промежуточных операций. Цель анализа задачи и построения оперативной модели решения состоит в обеспечении перехода с уровня внешнего функционирования на уровень внутреннего через выявление физических условий реализации модели решения (как показано на рис. 12). Получение физического противоречия при этом — один из возможных исходов. **Главное — правильно выявить физические условия реализации.**

Получение идеи решения есть первая операция этапа синтеза вариантов решения. В литературе этот этап обычно рассматривают как нечто цельное, неразделимое на более мелкие операции. Однако если исследовать описание любого технического решения, то можно отметить его сложную структуру. Само **техническое решение** описывает техническую систему с указанием конкретных технических средств, узлов, деталей и т. п. Если обобщить техническое решение, отбросив чисто технические подробности и оставив только физическую сущность, то получим **физическое решение**. Если отбросить и физические признаки, оставив только структуры, описывающие взаимодействие веществ посредством полей, то получим **структурное решение**. Синтез решения идет в порядке, обратном обобщению, и соответствует схеме:

$$CP \Rightarrow \Phi P \rightarrow TP,$$

где CP — структурное решение; ΦP — физическое решение; TP — техническое решение.

Двойная связь между структурным и физическим решениями отражает тот факт, что заключение о работоспособности той или иной структуры можно сделать только после выхода на физический уровень.

В общем случае исходным пунктом процесса синтеза решения является некоторая функция (то есть TP в общем случае есть синтез подсистемы по заданной функции). Эта функция задается принципиальным решением.

Рассмотрим последовательность синтеза решения на примере. Есть одна весьма распространенная задача. Для того, чтобы герметично закрыть отверстие в стене, по периметру крышки, закрывающей отверстие, поставили уплотнение. Однако при плотном прилегании уплотнения крышку трудно открывать. В описанной системе явно видно техническое противоречие, которому со-

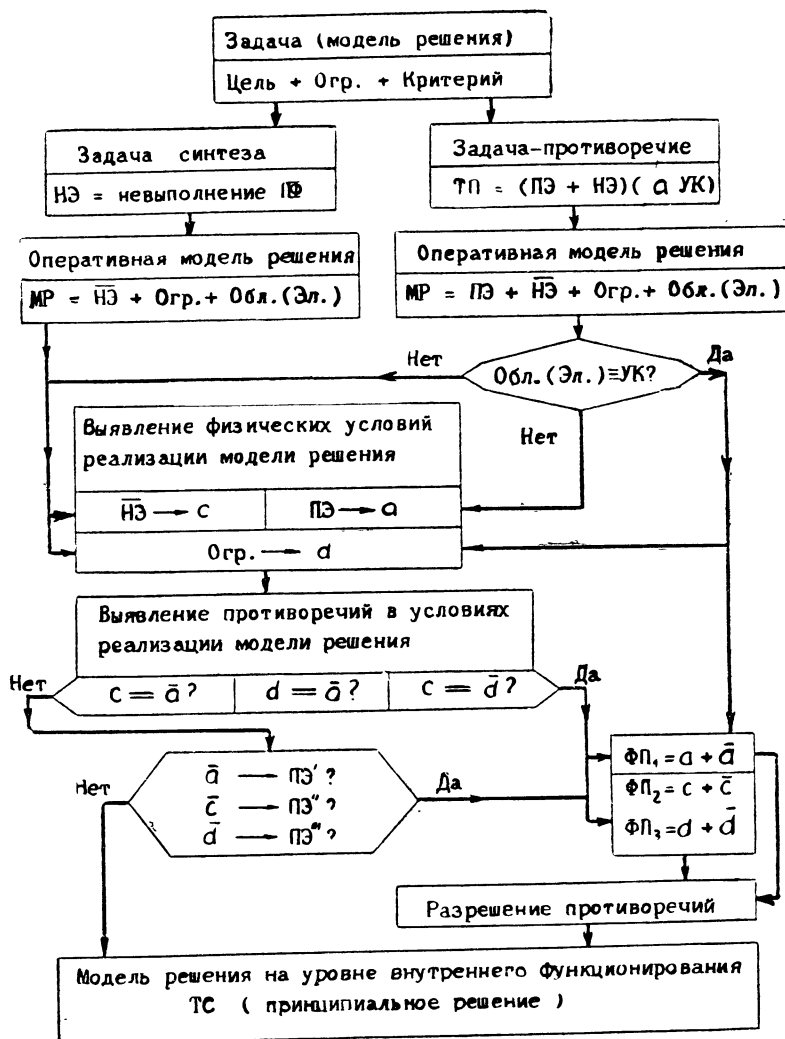
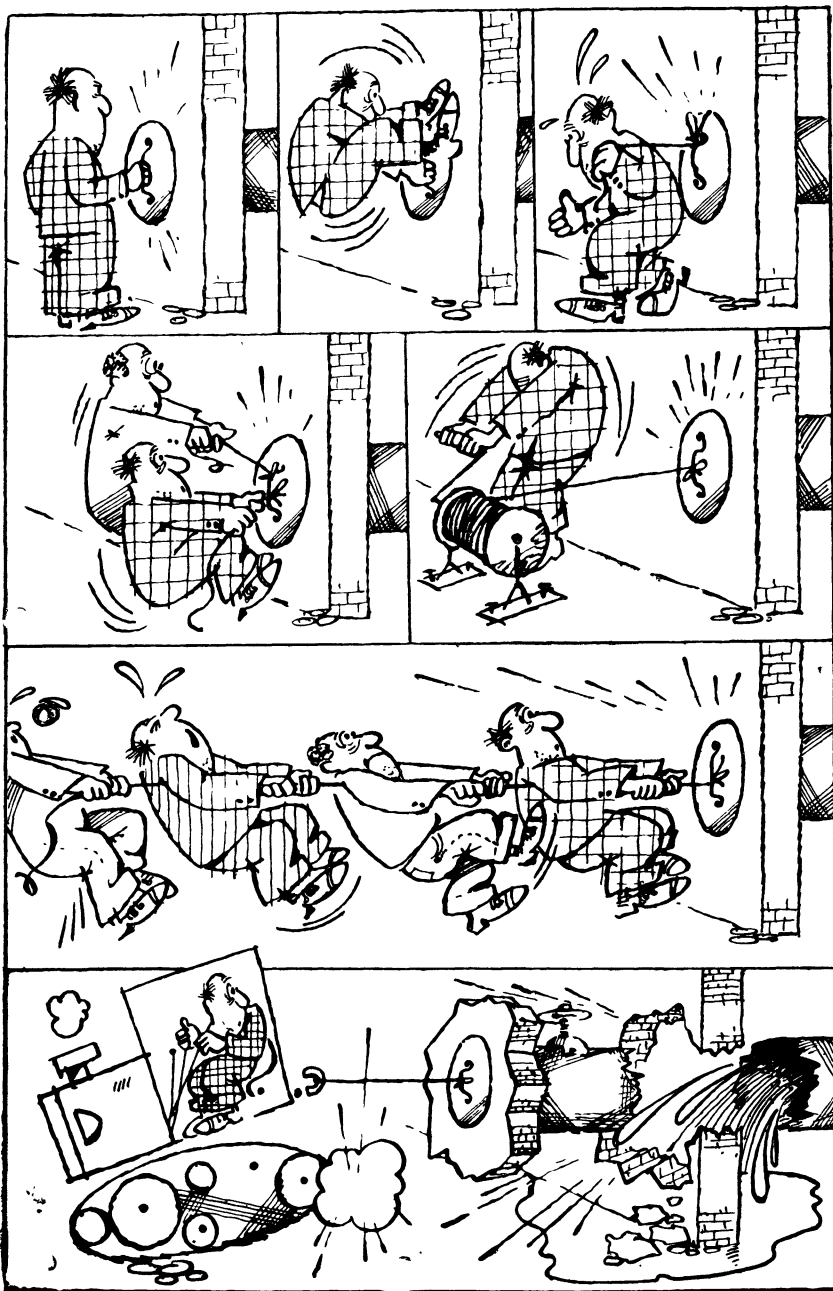


Рис. 12. Схема перевода модели решения с уровня внешнего на уровень внутреннего функционирования:
Огр. — ограничения; Обл. — область пространства; Эл. — элемент ТС или окружения; a, c, d — свойства на уровне внутреннего функционирования; $\bar{a}, \bar{c}, \bar{d}$ — отрицание a, c, d (противоположные свойства)



ответствует противоречие физическое: уплотнение должно быть большим, чтобы улучшить герметичность, и должно быть маленьким, чтобы улучшить способности крышки открываться и закрываться. Разрешая физическое противоречие во времени, получаем принципиальное решение: уплотнение должно быть маленьким, когда надо открывать или закрывать крышку, и должно быть большим, пока крышка закрыта. Для осуществления этого принципиального решения необходимо реализовать функцию: изменить размеры объекта (уплотнения).



Эту функцию можно реализовать одним из двух структурных решений:

$CP_1: P'_{\text{мех}} \rightarrow B \rightarrow P''_{\text{мех}}$ — механически (контактно) подействовать на уплотнение ($P''_{\text{мех}}$ — изменение формы, размеров);

$CP_2: P_1 \rightarrow B \rightarrow P''_{\text{мех}}$ — немеханическое воздействие на вещество уплотнения.

Для каждого из этих структурных решений можно наметить несколько физических.

Для CP_1 : $ФР_{11}$ — использовать механическое воздействие твердых тел (рычаги, кулачки и т. п.);

$ФР_{12}$ — использовать гидравлику;

$ФР_{13}$ — использовать пневматику;

Для CP_2 : $ФР_{21}$ — использовать магнитострикционный эффект;

$ФР_{22}$ — использовать пьезоэлектрический эффект;

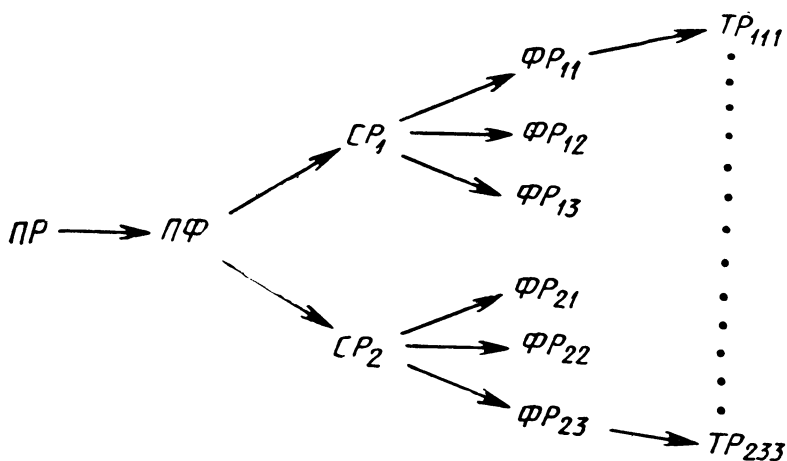
$ФР_{23}$ — использовать тепловое расширение.

Для каждого из намеченных физических решений также можно получить несколько технических решений. Например для ΦP_{12} : TP_{121} — уплотнение в виде гибкой трубки, в которую нагнетается жидкость;

TP_{122} — уплотнение в виде двух упругих трубок, которые изгибаются при нагнетании жидкости и выдвигаются из паза

и т. п.

Если приведенный пример изобразить графически, то получится дерево, отражающее так называемый «ветвящийся процесс» [13]:



«Ветвящийся процесс» иллюстрирует расширение поля поиска при ступенчатом синтезе вариантов решения. Разумеется, при этом возможно и некоторое ограничение расширения за счет требований ограничений, обеспечения работоспособности и отчасти требований прогрессивности и перспективности. Процесс развития идеи решения от ПР до ТР сопровождается наращиванием информации, происходит конкретизация решения и переход сначала на уровень физической осуществимости (ФР), а затем на уровень технической реализуемости (ТР) решения. Однако при этом происходит снижение степени идеальности по сравнению с принципиальным решением. Поэтому на этапе синтеза вариантов решения необходимо целенаправленно применять принципы идеальности. В первую очередь — использовать потенциальные возможности и ресурсы системы и ее окружения.

Рассмотренный пример «ветвящегося» процесса также хорошо иллюстрирует характерные для всего процесса направленного поиска **взаимопревращения решений и задач**: полученное в результате выполнения одной операции решение порождает задачу для последующей операции, образуя, таким образом, сис-

тему последовательно решаемых задач, которые и составляют процесс поиска решения.

После получения вариантов решения процесс поиска переходит к этапу **оценки вариантов и выбора решения (ОВР)**. Целью этого этапа является выявление из нескольких вариантов решения проблемы наиболее предпочтительного варианта. Делать это приходится практически всегда, так как на этапе поиска вариантов решения расширение поля поиска превалирует над сужением. А оценка и выбор решения — это окончательное сужение поля поиска.

В процессе оценки вариантов производится их анализ и сравнение с критерием оценки. Причем поэтапно производятся два вида оценок: сначала по **качественным**, а затем по **количественным** критериям.

Игнорировать какой-либо из двух видов оценок нельзя. Оценка по качественным критериям позволяет отсеять неработоспособные, неэффективные варианты, а также варианты, не соответствующие поставленным целям и нарушающие ограничения (если таковые варианты не отсеялись в процессе поиска). Кроме того, качественный анализ решений в определенной степени может выявить более прогрессивные и перспективные решения.

Оценка по количественным критериям, предполагающая количественный анализ синтезированных ТС — это единственное средство убедиться, что полученная новая ТС сможет удовлетворить поставленным требованиям, отражающим потребности общества. В частности, без количественного анализа невозможно убедиться в технической и экономической целесообразности полученного решения. Кроме того, только с помощью количественного анализа можно определить степень обострения противоречий, которые неизбежно появятся вместе с новой ТС.

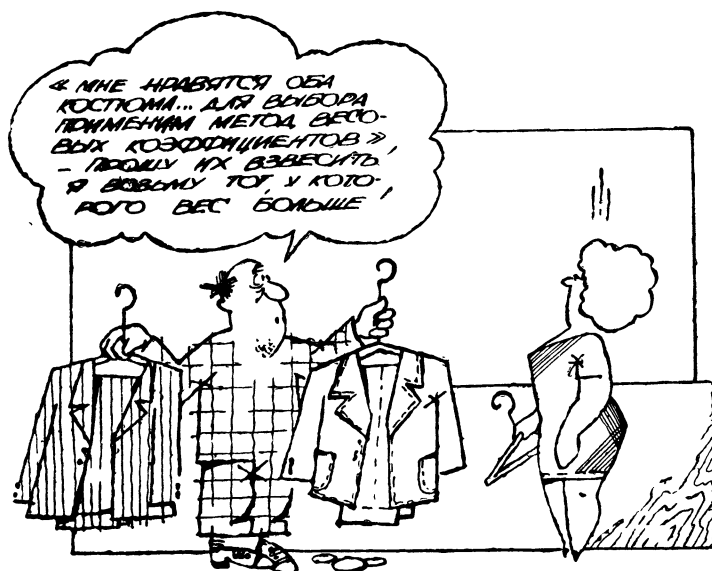
Анализ вариантов решения и их сравнение с критериями являются объективной основой для последующего сравнения оставшихся после оценки вариантов между собой и выбора наиболее предпочтительного варианта. Такой выбор получается простым, если один из вариантов явно лучше других. Если же такого не наблюдается, то применяются известные методы сравнения и выбора решений (например, метод весовых коэффициентов) [2, 3].

* * *

В целом процесс перехода от проблемной ситуации к выбору решения может быть представлен следующей упрощенной схемой, отражающей основные операции:

$$\text{ПрС} \rightarrow \text{НР} \rightarrow 3 \rightarrow \text{МЗ(ТП)} \rightarrow \text{МР} \rightarrow \text{ФУР} \rightarrow \text{ПР(ПФ)} \rightarrow \text{СР} \rightleftharpoons \text{ФР} \rightarrow \text{ТР} \rightarrow \text{ОВР}.$$


Описанная последовательность поиска новых технических решений может быть по-разному реализована в конкретных методах. Можно не выделять специальную операцию построения модели задачи, но выделить тип задачи и соответствующий ему аппарат поиска. Можно по-разному организовать выбор элемента для модели решения: через область пространства или перебором



элементов системы с последующей корректировкой. Для задачи противоречия операции от построения модели задачи до разрешения ФП можно заменить анализом и отрицанием звеньев сложной структуры противоречия. Какие-то операции можно сделать подробнее (например, в АРИЗ-85-В [1], где роль модели решения играет ИКР — идеальный конечный результат, предусмотрен очень подробный анализ вещественно-полевых ресурсов ТС). Конкретный метод всегда отличается от теоретических рекомендаций.

Следует только учитывать, что исключение операций, выявляющих особенности задачи и использующих эти особенности для приближения к решению, всегда ведет к снижению направленности. Если после выявления противоречия сразу перейти, например, к массиву эвристических приемов, не имеющему поискового аппарата [6], то направленность будет немногим выше, чем при методе ликвидации тупиковых ситуаций (контрольных вопросов) [2]. Последний относится к методам психологической активизации, то есть к группе методов ненаправленного расширения поля поиска.

Другая крайность — введение формальных правил, не подкрепленных достаточным знанием о ТС и законах ее построения и развития. В этом случае при высокой направленности поиска теряется его результативность, то есть вероятность выхода на решение с заданными условиями реализации. Для пояснения этого положения рассмотрим задачу, разбор которой приведен в [1, с 69—71]:

«Имеется установка для испытания длительного действия кислот на поверхность образцов сплавов. Установка представляет собой герметично закрываемую металлическую камеру. На дно камеры устанавливают образцы (кубики). Камеру заполняют агрессивной жидкостью, создают необходимые температуру и давление. Агрессивная жидкость действует не только на кубики, но и на стенки камеры, вызывая их коррозию и быстрое разрушение. Приходится изгото-

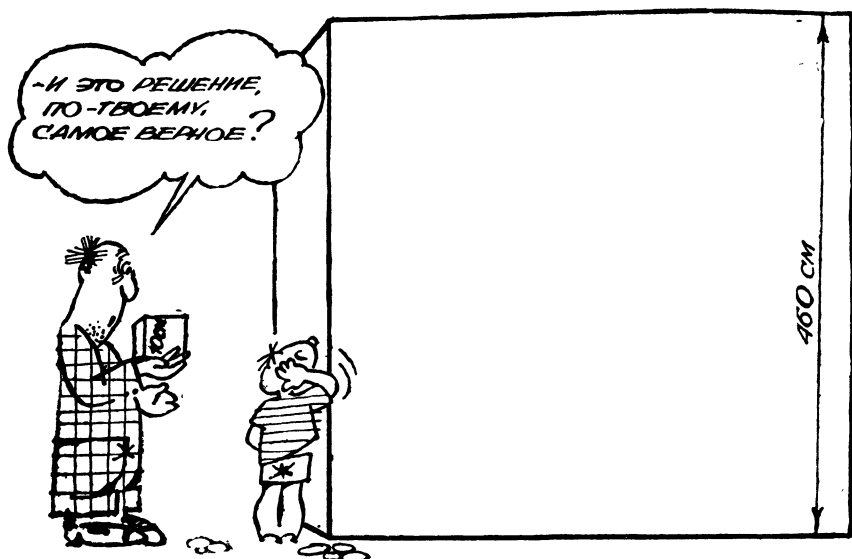
чивать камеру из благородных металлов, что дорого. Как быть?»

При решении задачи в соответствии с правилами АРИЗ-85-В модель задачи строится в виде конфликтующей пары «изделие — инструмент». Остальные элементы ТС отбрасываются. Изделие — «кубик», инструмент — «жидкость». Конфликт заключается в том, что жидкость не удерживается возле кубика: «...жидкость должна окружать кубик, чтобы шли испытания, и не должна окружать кубик, чтобы не растекаться».

Правильным решением этой задачи признано следующее: «жидкость удерживается самим кубиком (для чего он должен быть сделан полым)». Решение действительно красивое, соответствующее закону повышения степени идеальности системы (камеры нет, а функция ее выполняется). К сожалению, в условиях задачи нет данных о количественных параметрах системы. А как было показано в главе 2, «параметрическая ниша» определяет даже принцип действия ТС. Не указано также, должно ли поддерживаться в определенных пределах количество массы жидкости на единицу площади поверхности испытываемого образца (что обычно требуется при испытаниях на длительное воздействие). Предлагаем несложный расчет. Пусть четыре кубика со стороной 10 см каждый помещены в цилиндрическую камеру диаметром 50 см и высотой 25 см. При этом на 1 см² поверхности кубиков (кроме дна) приходится около 23—25 г жидкости. Если это соотношение надо сохранить и при налив жидкости в полый кубик (в кубическую емкость), то сторона кубика должна составлять уже 115 см. Чтобы увеличить долю жидкости на 1 см² поверхности в 4 раза, достаточно уменьшить число кубиков в камере до одного или увеличить сторону полого кубика до 460 см. Цифры показывают, что найденное новое решение не всегда сможет заменить исходную систему. (Пример этот подтверждает также, что количественным анализом полученного решения пренебрегать нельзя).

Если обратиться к содержательной стороне конфликта в рассмотренной задаче, то увидим, что налицо обостренное противоречие в подсистеме, выполняющей функцию «удержание агрессивной жидкости». Как уже было показано, здесь возможны два направления решения: разрешить противоречие в данной ПС (решать задачу-противоречие) или разрушить эту подсистему и попытаться найти новый принцип выполнения ее функции (решать задачу синтеза). Во втором случае высока вероятность выхода на решение с полым кубиком (с помощью принципов идеальности). Но и для случая сохранения камеры можно найти эффективное решение, соответствующее закону повышения идеальности (например, с помощью типового решения 1.2 приложение 3). Рациональная стратегия поиска, как видим, заключается в выявлении подобных «развилки» с проверкой каждого из возможных направлений, разрешенных ограничениями.

Для определенного уровня знаний о технической системе существует своя допустимая степень формализации поискового аппарата — это одна из закономерностей процесса поиска новых технических решений. Современный уровень представлений о законах построения и развития ТС позволяет ввести формальные элементы в прогнозирование возможных прогрессивных состояний и форм внутреннего функционирования технической системы, часть из которых может быть реализована в будущем. Пример такого аппарата — массив стандартных решений ТРИЗ [33]. При поиске решений с заданными условиями реализации (то есть движении от внешнего функционирования к внутреннему) следует представлять, что оптимальное решение не всегда совпадает с максимумом прогрессивности. Динамичное, угадывающее желания и соответственно меняющее свою форму кресло, описанное С. Лемом в романе «Возвращение со звезд», — ориентир, определяющий направление прогрессивного развития ТС «кресло». Но определить, на какой ступени «лестницы прогресса» окажется



конструкция кресла, которое надо запускать в производство через год-два, можно пока только перебором этих ступеней. Поэтому при поиске «от проблемы» основное внимание должно уделяться содержательным сторонам конфликта и акцентированию внимания на «развилках» в соответствии с логической схемой поиска, изложенной в этой главе. Наиболее полно эта схема реализована в комплексном методе поиска новых технических решений [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Завершая рассмотрение основ направленного поиска новых технических решений, необходимо сделать ряд замечаний.

Чтобы овладеть рациональной технологией творческого поиска, необходимо освоить изложенный в книге материал, описывающий основополагающие понятия и базовый аппарат поиска новых технических решений.

Отдельные вопросы будут освещены в остальных книгах данной серии. Обязательно надо также прочесть книги [1, 2, 6]. Из методов ненаправленного расширения поля поиска, изложенных в [2, 6], рекомендуется освоить в первую очередь построение дерева целей — средств и морфологический анализ.

Повышение направленности поиска способствует снижению затрат времени на получение решения. Поэтому рост степени направленности методов поиска новых решений в технике так же закономерен, как и увеличение эффективности технических систем. На сегодня перспективный путь повышения направленности

поиска — это изучение закономерностей построения и развития отдельных классов технических систем, выявление «тонких зависимостей» между внешним и внутренним функционированием и создание специализированных (объектно ориентированных) методов.

Овладение методами выявления, анализа и разрешения противоречий, аппаратом структурного синтеза, основными понятиями логики поиска и представлениями о законах построения и развития технических систем необходимо каждому, кто собирается создавать технику на мировом уровне.

... В 1982 г. С. Солтер выразил надежду, что английское инженерное искусство возродится и англичане «начнут поставлять передовую технику отчаявшимся японцам» [50]. Хочется надеяться, что и советская техническая мысль выйдет на такой же уровень.



ЛИТЕРАТУРА ПО ЗАКОНАМ ПОСТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Проблема построения системы законов, определяющих построение и развитие ТС, в настоящее время находится в стадии разработки и отражена в большом числе источников.

Следует отметить, что ряд законов, присущих объектам техники, был показан еще в работах К. Маркса, Ф. Энгельса и В. И. Ленина [7—11]. В наше время наиболее серьезная разработка вопроса о закономерностях развития техники была сделана Ю. С. Мелешенко [4, 32]. Некоторые закономерности построения и развития технических средств и возможности их использования при разработке новой техники показаны также в [14, 15, 20, 22, 30]. В работе [27] дан математический аппарат для аппроксимации S-образных кривых, описывающих изменение параметров ТС во времени, отмечена также необходимость выявления и учета взаимодействия прогрессивных и регрессивных факторов (то есть обостряющихся технических противоречий). Законы и закономерности построения и развития технических систем и основанный на них аппарат поиска новых технических решений показаны в [1, 3, 17, 18]. Часть законов описана также в [6, 35], где сделана попытка упорядочить подход к выявлению и использованию законов и закономерностей на инженерном уровне. Подход к построению системы законов, которая позволит моделировать развитие объектов техники, дан в [25].

Приложение 2

О МАССИВАХ ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ

Типовые решения входят в состав многих методов и известны под названием «эвристические приемы» [6, 12], типовые «приемы устранения технических противоречий» [3, 16], «стандартные решения изобретательских задач (стандартные решения)» [3, 17, 33]. Разные авторы по-разному подходят к составлению массивов типовых решений. Массивы эвристических приемов в [6, 12] составлены по принципу полноты охвата простых типовых изменений ТС (количество приемов в списках от 180 до 420), разделены они по группам, соответствующим типу изменений (преобразование формы, структуры в пространстве, во времени, количественные изменения и др.). Выбор группы приемов и приема из группы производится по усмотрению решающего, на основе его опыта и интуиции. Направленность такого поиска невелика.

Список приемов в [16] составлен по принципу отбора наиболее перспективных типовых решений (40 приемов, 88 подприемов) и снабжен поисковой таблицей, позволяющей по двум типовым конфликтующим сторонам системы выделить 4 предпочтительных приема. Правда, из-за невозможности установить однозначное соответствие между реальными и типовыми сторонами ТС на практике приходится просматривать почти половину списка.

Стандартные решения представляют собой комплексы изменений системы и ориентированы на типовые задачи. В [33] массив стандартных решений (76 стандартов) разбит на пять классов (построение и разрушение систем, развитие систем, переход к надсистеме и на микроуровень, стандарты на обнаружение и измерение систем, стандарты на применение стандартов), внутри которых типовые изменения расположены в основном в соответствии с закономерностями развития технических систем. Часть классов выделена по типам задач, часть — по типам преобразований, причем признаки задач «растворены» в текстах стандартов. Выбор стандарта из класса производится перебором от простого к сложному.

В настоящее время единого подхода к формированию и использованию массивов типовых решений пока нет. Работы в этом направлении ведутся. Для облегчения разрешения противоречий, имеющих вид ФП, в разных отношениях может быть использована информация об объектах и процессах с парными (противоположными) свойствами. Например, спираль совмещает в себе большой размер (длину), линии, из которой свернута эта спираль, с небольшими размерами самой спирали. А при гармоническом колебании маятника средняя за период скорость равна нулю, хотя мгновенная скорость равна нулю за период только два раза.

Анализ форм разрешения технических противоречий, характеризующихся парой конфликтующих параметров системы, показывает, что сочетанию этих параметров соответствует небольшая часть возможных решений. Суть остальных решений заключается в получении результата от свойства (действия) без самого свойства (действия). То есть большинство решений получается движением по причинно-следственной цепочке. Например, часто встречающееся противоречие «размеры — вес» разбивается на два: «размеры — масса» и «масса — вес». Связующим понятием между «размером» и «массой» является «плотность». Поэтому типовыми решениями для сочетания «размеры — масса» будут изменения агрегатного состояния вещества и переход к композитным материалам, позволяющим изменять плотность объекта с использованием заданного вещества в широких пределах. Связующим понятием между «массой» и «весом» (силой) является «ускорение». Поэтому соответствующие решения связаны с изменением ускорения (например, в центрифуге). Остальное множество решений для этого противоречия строится по направлениям:

- эффект большого размера при маленьком размере;
- эффект малого размера при большом размере;
- эффект малого веса при большой массе;
- эффект большого веса при малой массе.

Иллюстрацией к последнему направлению служит рассмотренный в главе 3 пример с гоночным автомобилем.

Приложение 3

НЕКОТОРЫЕ ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

1. Устранение (предотвращение) вредных воздействий или вредных последствий взаимодействия (причем источник вредного воздействия заменить нельзя)

1.1. Видоизменить источник вредного воздействия

$$\begin{array}{c} B_1 \leadsto B \Rightarrow B_1 - B \\ \uparrow \\ B_1 \leadsto B \Rightarrow B_1 \rightarrow B \\ \uparrow \end{array}$$

В частности:

если вредное воздействие связано с полезным, а скорость нарастания положительного эффекта больше скорости нарастания нежелательного, ограничить процесс во времени или перейти к импульсному действию.

1.2. Ввести в систему элемент, который «поглощает» вредное воздействие, то есть замыкает вредную энергоцепочку

$$\begin{array}{c} \leadsto B \Rightarrow \leadsto B_1 - B \\ \leadsto B \Rightarrow \leadsto B_1 \rightarrow B \end{array}$$

В частности:

1) видоизменить часть системы, вредное воздействие на которую допустимо, таким образом, чтобы она стала «отзывчивой» к восприятию вредного воздействия (то есть чтобы она стала «притягивать» к себе вредное воздействие)

$$\leadsto B \Rightarrow \leadsto \Delta B' - B$$

$$\leadsto B \Rightarrow \leadsto \Delta B' \rightarrow B$$

2) если вредное явление возникает при контактном взаимодействии (соприкосновении) двух веществ (чаще всего подвижных друг относительно друга), необходимо ввести между взаимодействующими веществами третье вещество, являющееся видоизменением одного из взаимодействующих (чаще всего видоизменением изделия — часть изделия принимает форму инструмента или часть инструмента выполняется из вещества изделия)

$$B_1 \leadsto B_2 \Rightarrow B_1 \leftrightarrow \Delta B_2' \leftrightarrow B_2$$

1.3. Скомпенсировать вредное воздействие «антивоздействием»

$$\leadsto B \Rightarrow \leadsto B \leftarrow \equiv B$$

$$\leadsto B \Rightarrow \leadsto B \leftarrow \equiv \rightarrow B$$

В частности, использовать в качестве «антивоздействия» другие вредные воздействия (факторы), скомпенсировать один вредный выход другим (одни отходы другими отходами).

1.4. Скомпенсировать отрицательные результаты воздействия, введя в систему предварительно антиизменения или средства, нейтрализующие вредное воздействие

$$\left. \begin{array}{l} \leadsto B \Rightarrow \leadsto B' \equiv B \\ \leadsto B \Rightarrow \leadsto B' \equiv \rightarrow B \end{array} \right\} \begin{array}{l} B' \equiv B \\ \uparrow \\ B' \equiv BB_1 \end{array}$$

В частности, сделать вещество менее чувствительным к вредным воздействиям.

1.5. Допустить вредные воздействия, перейдя от дорогой «долговечности» к дешевой «недолговечности».

2. Преодоление ограничений на ресурсы

2.1. Общие принципы:

1) сконцентрировать ресурс данного вида на наиболее важных, ценных процессах и (или) объектах;

2) увеличить полноту и рациональность использования ресурса (исключить потери, отходы, паузы);

3) сконцентрировать ресурс в пространстве и (или) во времени;

4) использовать ресурс, являющийся потерями или отходами соседних систем;

5) использовать на время полезный ресурс (данного вида) соседней системы, сделав ее и данную систему динамичными;

6) использовать ресурсы другого вида в соответствии со скрытыми свойствами элементов системы;

7) использовать ресурсы другого вида, видоизменив их (в том числе ресурсы окружающей среды).

2.2. Особенности для ресурсов разного вида

2.2.1 Для пространства:

1) отделить от объектов (элементов, подсистем) наиболее важные части (свойства), вынеся остальное из наиболее «ценной» области в менее «ценные»;

2) уплотнить компоновку, использовать «паузы» пространства (пропуски, зазоры, пустующие полости), разместить один объект внутри другого (принцип «матрешки»);

3) использовать поверхности соседних элементов, обратную сторону поверхности;

4) перейти в другое измерение (точка — линия — поверхность — объем);

5) использовать компактные геометрические формы (например, спираль);

6) использовать временно объем соседнего объекта, сделав его и данный объект динамичными. (В частности, если необходимо в одной точке пространства разместить два несовместимых объекта (процесса, свойства), необходимо сделать их прерывистыми (циклическими) таким образом, чтобы один существовал в паузах другого);

7) при решении информационных задач отделить информацию (в том числе изображение) от объекта.

2.2.2. Для времени:

1) ограничить выполнение всего объема операций наиболее ценной частью изделия, в наибольшей степени определяющей результат;

2) свести к минимуму затраты наиболее ценного отрезка времени, выполнив предварительно часть необходимых изменений, сделав объект «отзывчивым» к процессу;

3) уплотнить процесс, заполнить паузы, устранить простои и холостые ходы, перейти к непрерывному процессу;

4) перейти от последовательного выполнения операций к параллельному.

2.2.3. Для вещества:

1) для распределения малого количества вещества в большом пространстве использовать тонкие пленки, порошок (пыль), пары вещества;

2) использовать вещество окружающей среды в смеси с данным веществом (данное вещество в виде добавок, пены, надувные и гидронаполняемые оболочки);

3) использовать видоизменяемое вещество окружающей среды (в частности, лед, струи жидкости или газа).

2.2.4. Для энергии:

1) ограничить выполнение всего объема операций наиболее ценной частью изделия, в наибольшей степени определяющей результат;

2) ограничить до минимума наиболее ценный вид энергии, использовать менее ценные виды энергии;

3) уменьшить потери. Перейти к специализированным средствам с высоким КПД. Уменьшить количество преобразований энергии в системе. Перейти к непрерывным процессам. Перейти от динамического режима (с постоянным расходом энергии) к статическому;

4) при дефиците мощности сконцентрировать энергию:

— в пространстве, наложением нескольких маломощных потоков;

— во времени, перейдя к импульсному действию (с накоплением);

5) использовать на время энергию соседней системы (объекта);

6) при ограничении на увеличение интенсивности энергопотока данного

вида:

— использовать данный энергопоток в качестве управляющего для другого, более интенсивного энергопотока;

— наложить дополнительные потоки энергии другого вида, используя скрытые (в частности, магнитные) свойства элементов системы;

— использовать энергопоток другого вида, преобразовав его;

7) утилизировать потери энергии данной системы и соседних систем. Использовать энергию окружающей среды.

3. Преодоление ограничений на управляемость (изменяемость, достижение оптимального режима)

3.1. При невозможности изменить целое, перейти к более сильному изменению части (и наоборот).

3.2. Применить осреднение параметра в пространстве и во времени (как правило, при наличии инерции воздействия).

3.3. Использовать малые разности больших величин.

3.4. Переместить управление в другое звено энергоцепочки.

3.5. Заменить воздействие на объект воздействием на его окружение.

3.6. При невозможности достичь оптимума:

— при «пологом» максимуме (минимуме) эффекта ограничиться значением параметра чуть меньшим (или чуть большим), чем оптимальное;

— сделать больше требуемого, избыток убрать (скомпенсировать).

4. Преодоление ограничений (запретов) на введение добавок в вещество (частное проявление групп типовых решений 1 и 2)

4.1. Добавка вводится в минимальной дозе, а эффект достигается за счет более упорядоченного распределения частиц добавки в веществе.

4.2. Добавка вводится на минимально необходимое время, а затем выводится.

4.3. Используется преобразуемая добавка:

— часть имеющегося вещества, переведенная в особое (требуемое) состояние или находящаяся в этом состоянии;

— химически превращающаяся добавка (выделяющаяся из допустимого химического соединения и (или) переходящая в допустимое соединение).

4.4. Добавка вводится в окружение объекта.

4.5. Вместо вещественной добавки используются энергетические (заряды, магнитные метки и т. п.).

4.6. Используется след от добавки (в частности, «пустота» на месте добавки),

4.7. При решении информационных задач вместо объекта используют его копию (модель), в которую допустимо введение добавок.

Приложение 4

МАТЕМАТИКО-ЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АППАРАТА РАЗРЕШЕНИЯ ПРОТИВОРЕЧИЙ

Техническое противоречие:

$$ТП_{ij} = (ПЭ_i(a_1, a_2, \dots) \rightarrow (b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow \dots \rightarrow b_n) \rightarrow НЭ_j),$$

где $НЭ_i$ — i -й положительный эффект, связанный с состоянием определенного (узлового) компонента системы;

$НЭ_j$ — j -й нежелательный эффект, связанный с тем же компонентом системы;

a_k — признаки состояния узлового компонента (признаки ТС, необходимые для существования положительного эффекта $ПЭ_i$);

b_1 — следствия признаков a_k на уровне внутреннего функционирования ТС.

Физическое (эвристическое) противоречие (ФП):

$$ФП_{ijk} = (a_k \rightarrow ПЭ_i) \wedge (\bar{a}_k \rightarrow \bar{НЭ}_j).$$

Множество направлений разрешения ТП:

$$M(ТП) = (M_1 \cap M_2) \cap M_3,$$

$$\text{где } M_1 = \left[\begin{array}{l} \text{ПЭ}_i(a_1, a_2, \dots) \rightarrow \text{НЭ}_j \\ \text{ПЭ}_i(a_1, a_2, \dots) \rightarrow \text{НЭ}_j \\ \text{ПЭ}_i(a_1, a_2, \dots) \rightarrow (b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow \dots \rightarrow b_n) \rightarrow \text{НЭ}_j \\ \text{ПЭ}_i(a_1, a_2, \dots) \rightarrow (b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow \dots \rightarrow b_n) \rightarrow \text{НЭ}_j \end{array} \right]$$

M_2 — множество типовых решений, определяемых видом НЭ, ПЭ, а также типом ограничений (пространства, времени, вещества, энергии, информации, изменяемости);

M_3 — множество форм реализации единства $a_k \wedge \bar{a}_k$, основанных на неабсолютности предъявляемых к компоненту системы несовместимых требований в пространстве, во времени, в полноте реализации, в разных отношениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск: Наука, 1986.
2. Джонс Дж. К. Методы проектирования/ Пер. с англ. 2-е изд. М.: Мир, 1986.
3. Комплексный метод поиска новых технических решений: в 3-х частях/ М. И. Вайнерман, Б. И. Голдовский и др. Горький: 1979, 1980.
4. Мелешенко Ю. С. Техника и закономерности ее развития. Л.: Лениздат, 1970.
5. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках/ Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1984.
6. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества/Учеб. пособие для студ. вузов. М.: Машиностроение, 1988.

Дополнительная

7. Ленин В. И. Полн. собр. соч.: 5-е изд.: т. 1, с. 78, 100; т. 2, с. 184; т. 29, с. 170.
8. Маркс К., Энгельс Ф. Соч.: 2-е изд.: т. 2, с. 243—256; т. 4, с. 156; т. 14, с. 196—221, 380—394; т. 15, с. 28—41; т. 23, с. 190, 382—397.
9. Маркс К., Энгельс Ф. Соч.: 2-е изд.: т. 15, с. 201—234.
10. Маркс К. Машины. Применение природных сил и науки/Из рукописи 1861—1863 гг. «К критике политической экономии»//Вопросы истории естествознания и техники. Вып. 25.1968.
11. Маркс К. Экономические рукописи 1857—1858 гг.//Архив Маркса и Энгельса. М.: 1935.
12. Автоматизация поискового конструирования/Под ред. А. И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981.
13. Александров Е. А. Основы теории эвристических решений. М.: Советское радио, 1975.
14. Алексеев Г. Н. Энергоэнтропика. М.: Знание, 1983.
15. Алексеев Г. Н. Проблема комплексного подхода к изучению развития технических средств//Вопросы философии, 1984, № 8.
16. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973.
17. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Советское радио, 1979.
18. Альтшуллер Г. С., Злотин Б. Л., Филатов В. И. Проофессия — поиск нового. Кишинев: Карта Молдовеняскэ, 1985.
19. Альтшуллер Г. С., Шапиро Р. Б. О психологии изобретательского мышления//Вопросы психологии, 1956, № 6.
20. Антонов В. А., Половинкин А. И. Некоторые закономерности развития технических объектов//Автоматизация конструирования в приборостроении. Горький: ГГУ, 1978.
21. Арлазоров М. С. Винт и крыло. М.: Знание, 1980.
22. Балашов Е. П. Эволюционный синтез систем. М.: Радио и связь, 1985.
23. Бурдаков В. П., Данилов Ю. И. Ракеты будущего. М.: Атомиздат, 1980.
24. Буш Г. Я. Рождение изобретательских идей. Рига: Лиесма, 1976.
25. Голдовский Б. И. Проблемы моделирования развития технических систем// Областная научно-практическая конференция «Проблемы развития научно-технического творчества ИТР»/Тезисы докладов. Горький: 1983.

26. Гуд Г. Х., Макол Р. Э. Системотехника/Пер. с англ. М.: Советское радио, 1967.
27. Каменев А. Ф. Технические системы: закономерности развития. Л.: Машиностроение, 1985.
28. Карасик Е. Этюды о двойственности//Техника и наука, 1980, № 3.
29. Кондаков Н. И. Логический словарь-справочник: 2-е изд., М.: Наука, 1975.
30. Кушлин В. И. Производственный аппарат будущего. М.: Мысль, 1981.
31. Литвиненко А. Магнетизируемый робот//Изобретатель и рационализатор, 1987, № 5.
32. Мелешенко Ю. С. Технический прогресс и его закономерности. Л.: Лениздат, 1967.
33. Нить в лабиринте/Сост. А. Б. Селюцкий. Петрозаводск: Карелия, 1988.
34. Патури Ф. Р. Зодчие XXI века/Пер. с нем. М.: Прогресс, 1979.
35. Половинкин А. И. Законы строения и развития техники/Учебн. пособие, Волгоград: ВолгПИ, 1985.
36. Пономарев Н. А. Возникновение и развитие ветряной мельницы. М.: Хлебиздат, 1958.
37. Пономарев А. Н., Михайлов В. С. Авиационно-космические системы (Ранние идеи)//Исследования по истории и теории развития авиационной и ракетно-космической науки и техники: Вып. 2. М.: Наука, 1983.
38. Современное состояние теории исследования операций. М.: Наука, 1979.
39. Соломенцев Ю. М., Шеменев Г. И. Методологические проблемы исследования проектно-конструкторской деятельности в технических науках//Вопросы философии, 1981, № 11.
40. Справочник по теории корабля/В. Ф. Дробленков и др. М.: Воениздат, 1984.
41. Творческая лаборатория новатора. Л.: Лениздат, 1976.
42. Тейлор Р. Шум/Пер. с англ. М.: Мир, 1978.
43. Уайлд Д. Оптимальное проектирование/Пер. с англ. М.: Мир, 1981.
44. Цихош Э. Сверхзвуковые самолеты/Пер. с польск. М.: Мир, 1983.
45. Чернов Л. Б. Основы методологии проектирования машин. М.: Машиностроение, 1978.
46. Чус А. В., Данченко В. А. Основы технического творчества/Учеб. пособие. Киев — Донецк: Вища школа, 1983.
47. Шавров В. Б. История конструкций самолетов в СССР до 1938 г.: 2-е изд. М.: Машиностроение, 1969.
48. Шавров В. Б. История конструкций самолетов в СССР 1938—1950 г. М.: Машиностроение, 1978.
49. Шухардин С. В. К вопросу о движущих силах развития техники//Вопросы истории естествознания и техники. Вып. 18, 1965.
50. Salter S. The Perils of Begin Simple//New Scientist, 25 Feb., 1982.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Условные обозначения	5
Глава 1. Технология творческого поиска и проблема направленности	7
Глава 2. Основные характеристики и закономерности построения технических систем	20
Глава 3. Противоречия в технических системах	31
Глава 4. Закономерности разрешения противоречий в процессе развития технических систем	54
Глава 5. Структурно-энергетический синтез систем	70
Глава 6. Основные положения логики поиска новых технических решений	93
Заключение	109
Приложение 1. Литература по законам построения и развития технических систем	111
Приложение 2. О массивах типовых решений	111
Приложение 3. Некоторые типовые решения типовых задач	112
Приложение 4. Математико-логическое представление аппарата разрешения противоречий	115
Список литературы	117

Методы анализа проблем и поиска решений в технике
Серия методических пособий

**КНИГА I. РАЦИОНАЛЬНОЕ ТВОРЧЕСТВО. О НАПРАВЛЕННОМ ПОИСКЕ
НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

Голдовский Борис Израилевич
Вайнерман Михаил Ильич

Редактор Л. Г. Кондрашова
Художник Д. И. Бараб-Тарле
Технический редактор Е. В. Кузьмина
Корректор Е. И. Малахова
© НТК «Метод», 1990

Сдано в набор 29.10.89.	Подписано в печать. 13.12.89.
Формат 60×90/16.	Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная.
Печать высокая.	Объем 8 усл. печ. л. 8,39 усл. кр.-отт. 9,12 уч.-изд. л.
7,5 печ. л	Тираж 100 000 экз. Заказ № 86. 1-й завод с 1—50 000 экз.
	Цена 2руб. 90 коп.

Типография издательства «Радио и связь». 101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

2 р. 90 коп.

