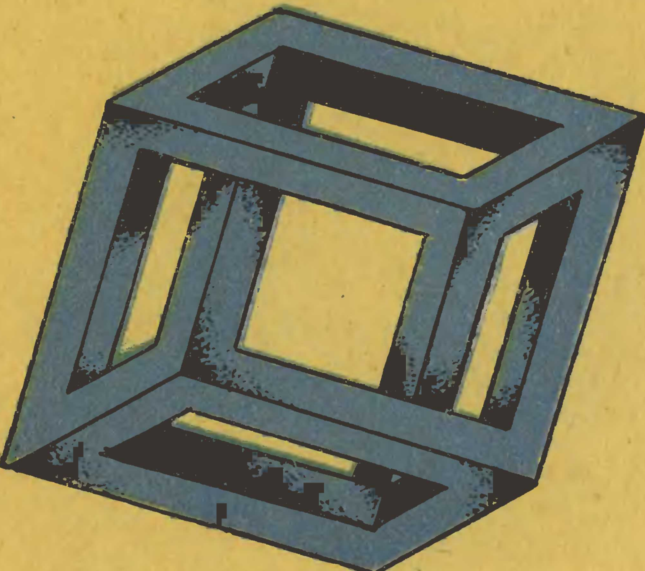
Методы
анализа проблем
и поиска решений
в технике



В. Н. ГЛАЗУНОВ

Параметрический метод разрешения противоречий в технике

МОСКВА 1990

*МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРОБЛЕМ
И ПОИСКА РЕШЕНИЙ В ТЕХНИКЕ*

ГЛАЗУНОВ В. Н.

Параметрический метод разрешения противоречий в технике

Москва • 1990

«Методика решения задач — средство, мобилизующее Ваши знания, но не заменяющее их».

Дж. Диксон

ПРЕДИСЛОВИЕ

Видимо, многие изобретатели и конструкторы припомнят случаи, когда они попадали в следующую тупиковую ситуацию: для улучшения какого-либо устройства или способа необходимо было найти техническое решение, удовлетворяющее взаимоисключающим требованиям. Как уже было сказано в первой книге серии, подобные ситуации часто встречаются в процессе разработки новой техники, и для выхода из них требуется решить задачу — противоречия.

В этой книге будет продолжено рассмотрение подобных задач и методов их решения. В ней, на основе понятий, введенных *Г. С. Альтшуллером* и авторами первой книги серии, разработаны правила, позволяющие выявлять и устранять физические противоречия в большинстве практически важных случаев.

Совокупность этих правил образует ядро концепции так называемого параметрического метода, основной областью применения которого является улучшение характеристик известных технических систем любого функционального назначения.

Данный метод может с успехом применяться в тех случаях, когда надо, используя старые разработки, найти решения, удовлетворяющие требованиям нового технического задания, или когда надо значительно повысить качество выпускаемой продукции, не производя в ней принципиальных изменений. В общем, параметрический метод незаменим при разрешении технических проблем, в которых требуется, в рамках известного, создать нечто новое.

Кроме того, результаты, которые удастся получить с помощью предлагаемого метода, могут быть использованы при:

— прогнозировании развития конкретной технической системы;
— разработке группы изобретений, достаточной для получения приоритета в заданной области техники;
— составлении технических заданий на разработку новых устройств и технологий.

К сказанному надо добавить, что область применения параметрического метода не ограничивается техникой; он является общесистемным методом. Поэтому его можно использовать для устранения противоречий и конфликтов, возникающих в организационных и социальных системах, что, как известно, в настоящее время является чрезвычайно актуальной задачей.

Теперь кратко о содержании книги. В *первой главе* книги, как и положено в подобном случае, приводятся условия задачи, которую можно решить с помощью параметрического метода. Кроме этого, в ней показывается, на каком этапе разработки новых технических систем приходится решать подобные задачи.

Вторая глава посвящена изучению логических предпосылок параметрического метода.

В *третьей и четвертой главах* основное внимание уделяется строгому обоснованию понятия физического противоречия, разработке правил его выявления и устранения в большинстве практически важных случаев.

Пятая глава носит вспомогательный характер. В ней изложены методы представления сведений о технической проблеме в виде условий поисковой задачи.

Заключающая книгу *шестая глава* содержит текст двух вариантов параметрического метода: алгоритмов повышения качества и устранения недостатков технических систем. Кроме этого, в нее включена подборка учебных задач, решение которых позволит читателю получить начальные навыки практического применения данного метода.

Учитывая прикладной характер этого пособия, в нем не приводятся доказательства большинства вводимых утверждений.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей истории человечества определяющим фактором его развития были процессы удовлетворения разнообразных индивидуальных и общественных потребностей. Именно это послужило причиной появления всего, что создано человеком: государственности, искусств, спорта и, конечно, всевозможных технических систем, с помощью которых человек удовлетворяет большинство своих материальных и духовных потребностей.

Процесс создания любой технической системы начинается с осознания человеком какой-либо потребности и состоит из двух основных стадий: проектирования и изготовления. Со временем значимость этих стадий, с точки зрения достижения конечного результата, претерпела изменения. Если до начала второй промышленной революции (конец XIX века) определяющей была стадия изготовления, то в дальнейшем, и особенно в настоящее время, главенствующую роль стала играть стадия проектирования. Для все возрастающего числа технических систем именно она определяет длительность цикла удовлетворения потребности, затрат на его проведение, а также меру удовлетворения потребности, которую принято определять через показатель качества технической системы. Последнее особенно важно, т. к. качество технических систем закладывается при проектировании и на последующих стадиях его можно только сохранить, но никак не увеличить.

Поэтому становится понятно то беспокойство, которое вызывают негативные тенденции, наметившиеся у нас в стране в сфере проектирования. Главная из них — это снижение в течение последних 10—15 лет качества создаваемых проектов, в сравнении с лучшими мировыми образцами.

Действительно, факторологические исследования деятельности различных проектных организаций (ПО), показывают, что вероятность разработки ими проекта с фиксированным уровнем качества (H) зависит от

— числа проектировщиков в ПО (M),
— средней производительности труда проектировщиков (E),
— мощности базы знаний ПО (B),
— числа одновременно разрабатываемых проектов (I),
— средней сложности проектов (D),
— времени разработки проектов (T).

Эти характеристики образуют следующую функциональную зависимость.

$$H = MET/IDB \qquad (1)$$

Ясно, что направление изменения величины H зависит от того, как изменялись в течение последнего времени перечисленные выше факторы.

Относительно их имеются следующие статистические данные: «Число различных классов технических объектов ($\sim I$) удваивается в среднем через каждые 10 лет. Мера сложности изделий по числу деталей и узлов ($\sim D$) возрастает в два раза через 15 лет. Объем научно-технической информации, используемый в конструкторских разработках ($\sim B$), удваивается каждые 8 лет. Время создания новых изделий ($\sim T$) уменьшается в два раза каждые 25 лет». С другой стороны, в технически развитых странах с 1900 г. по 1960 г. производительность труда в производстве возросла в среднем на 1000%, а в конструировании (E) — лишь на 20% (1, с. 13, 14). По данным ЦСУ СССР число инженерно-технических и научных работников, занятых в сфере проектирования (M), увеличилось соответственно в 7 и 7,5 раза. Однако в последние десятилетия сначала наблюдалось резкое снижение темпов прироста величины M, а затем и ее количественное уменьшение.

Объединение этих статистических данных в рамках выражения (1) позволяет придти к выводу, что за последнее десятилетие в среднем для сферы проектирования в нашей стране было характерно снижение вероятности создания проектов высокого уровня качества.

Относительно данного вывода необходимо сделать два замечания. Во-первых, он не противоречит тому факту, что наблюдается рост показателей большинства технических систем. Это объясняется тем, что в нашем случае расчет темпов роста показателя качества ведется в сравнении не с достигнутым уровнем, а с максимально возможным, прирост которого оказывается больше прироста показателя качества конкретных технических систем. Во-вторых, известно, что в последнее время были созданы изделия высокого технического уровня. Однако этого удалось добиться в основном за счет концентрации в отдельных областях техники большого числа квалифицированных кадров.

Возникает закономерный вопрос — как можно если не устранить, то хотя бы ослабить эту негативную тенденцию? Очевидно, что в ближайшее время вряд ли приходится ожидать уменьшения числа проектируемых технических систем, их сложности, темпов прироста научно-технической информации или увеличения числа проектировщиков и директивного времени на создание проектов. Поэтому решающий фактор, который может положительно повлиять на повышение качества проектов — это резкое увеличение средней производительности труда проектировщиков. Других способов противодействия данной негативной тенденции в настоящее время не существует.

Повышение производительности труда того или иного вида человеческой деятельности — это одна из так называемых «вечных» проблем. Человечество решает ее на протяжении всей своей истории, и вряд ли когда придет к чему-либо окончательному.

В настоящее время наиболее перспективным способом решения этой проблемы является использование различных автоматизированных комплексов. Для сферы проектирования это означает разработку и внедрение в практику систем автоматизированного проектирования (САПР).

Вроде бы данный вывод должен обнадеживать — ведь сейчас эксплуатируется или разрабатывается большое число подобных систем. Однако не приходится надеяться на то, что с их помощью удастся сильно продвинуться в решении проблемы повышения производительности труда в проектировании. Посмотрим, каковы возможности большинства современных САПР. Во-первых, они позволяют выполнять инженерные расчеты, проводить оптимизацию параметров заданных технических решений, осуществлять поиск необходимой научно-технической информации. Во-вторых, оформлять чертежи и другую проектно-конструкторскую документацию (I, с. 3). То есть, практически все, кроме возможности формировать новые принципы действия, что является основой большинства изобретений. Однако известно (2, с. 113—116), что резко повысить качество проектов можно лишь за счет использования в них большого числа различных новаций. Ничуть не умаляя значения успехов, достигнутых при создании и практическом использовании современных САПР, необходимо признать, что дальнейшее их развитие связано с возможностью автоматизации начальных стадий проектирования и, в первую очередь, изобретательской деятельности.

Ясно, что это непростая проблема — ведь изобретательство всегда отождествлялось с высшим проявлением творчества. Тем не менее ряд исследований последних лет позволяет надеяться на ее успешное решение с помощью так называемых экспертных систем (ЭС) (3).

Основой подобных систем являются формальные методы, состоящие из алгоритма и базы знаний. Последняя представляет собой набор сведений, собранных экспертами, специалистами в той предметной области, на которую ориентирована создаваемая ЭС. Эффективность работы ЭС в первую очередь определяется мощностью и качеством ее *базы знаний.*

Из сказанного ясно, что использование ЭС в области изобретательства возможно лишь после разработки соответствующих формальных методов.

Изучению и практическому овладению одного из них — параметрического метода — и посвящена данная книга. Изложенные в ней материалы были получены в результате дальнейшей разработки идеи, выдвинутой и развитой Г. С. Альтшуллером в работах (4, 2). В соответствии с этой идеей любое изобретение представляет собой результат разрешения того или иного технического или физического противоречия.

К сказанному необходимо добавить, что форма представления параметрического метода в этой книге отличается от той, которую можно было бы непосредственно использовать при разработке ЭС. В ней будет представлен эвристический* вариант данного метода. Запись его операций предполагает широкое привлечение при их выполнении знаний и умений пользователя.

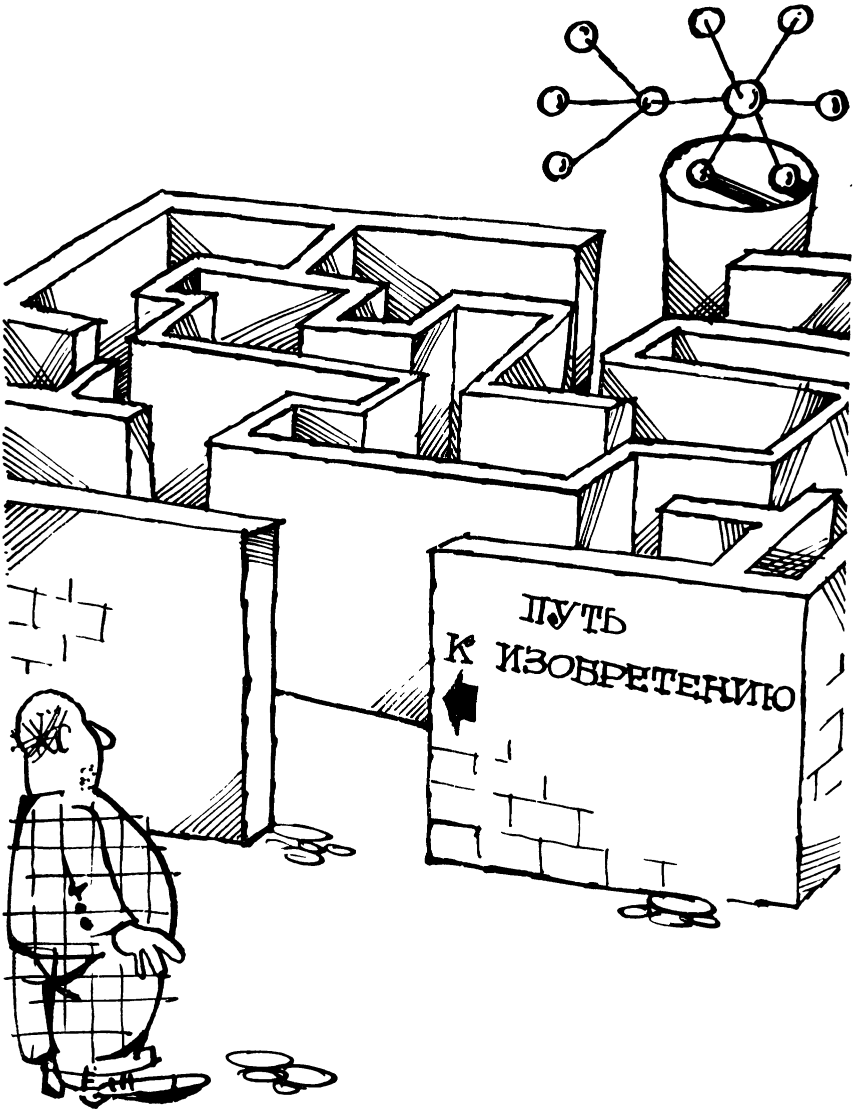
---

* Необходимо отметить, что понятиям формального и эвристического метода можно дать строгое определение. Однако, учитывая практическую направленность этой книги, здесь это не делается.

ГЛАВА 1

ПОИСКОВАЯ ЗАДАЧА

или о том, с чего начинается изобретение



Очевидно, что, ставя перед собой цель — разработать методы, применяемые в области изобретательства, сначала необходимо выяснить, что такое изобретательство, какое место оно занимает среди различных стадий разработки проекта.

Сущность изобретательской деятельности однозначно определяется ее результатом — изобретением. В свою очередь главное, что отличает последнее от других проектно-конструкторских решений — это его мировая новизна. Следовательно, если отвлечься от новизны изобретения, то в остальном оно будет схоже с остальными техническими решениями. И тем не менее, изобретениям присуща одна специфическая черта — большинство из них появляется на начальных стадиях проектирования, когда закладывается «облик» будущего изделия. Для того, чтобы определить, какие методы можно было бы применить на этих стадиях, надо всю исходную проектную информацию представить в виде определенной задачи, в дальнейшем они будут называться проектными. Необходимость этого связана с тем, что содержание любого метода зависит от того, на решение какой задачи он ориентирован. Анализируя условия самых различных задач, в них всегда можно выделить две части: «ДАНО» — исходные данные и «НАЙТИ» — искомые данные. Определить эти части и означает сформулировать условия задачи.

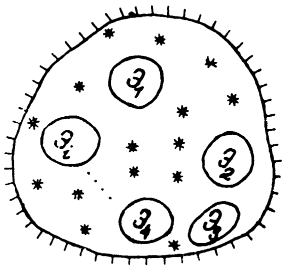
Что же известно проектировщику перед началом разработки нового изделия? Обычно это какая-либо техническая система (в дальнейшем — просто система), ряд характеристик которой хотелось бы (или необходимо) улучшить. В изобретательстве подобные системы принято называть *прототипами*; их описание в заявке на изобретение является обязательным требованием. Поэтому есть смысл в качестве исходных данных проектной задачи выбрать именно описание прототипа или другими словами — *исходной системы*. Ясно, что результатом проектирования также должна быть система. Однако не любая. Очевидно, что результат проектирования может быть признан положительным лишь в том случае, если найденная при этом система (в дальнейшем — *производная система*) в количественном плане будет «не хуже» исходной, а в качественном плане — тождественна ей. Поэтому для того чтобы научиться определять условия проектной задачи, сначала надо разобраться с таким «расплывчатым» понятием как система, уделяя в первую очередь внимание ее количественным и качественным характеристикам.

В научно-технической литературе имеется большое число определений системы; только в работе (5) их приведено более тридцати. Однако общей точки зрения по поводу данного понятия в настоящее время нет. Поэтому для избежания разночтений необходимо внести однозначность в определение системы. При решении такого рода проблем обычно используются логические методы унификации понятий. Как показано в работе (6, с. 99—103), наилучшие результаты в случаях, аналогичных нашему, дает метод реляционного обобщения. С его помощью удалось получить универсальное определение системы, которое применимо в самых различных областях техники и науки.

Система — это любой объект, который характеризуется свойствами и отношениями между объектами, являющимися его частями.

Входящие в это определение понятия свойства и отношения представляют собой различные виды характеристик системы. Свойство характеризует ее как нечто целое — нерасчлененное на части, как отдельно взятый объект. В отличие от этого отношения характеризуют систему как группу объектов, объединяя их тем самым в новый объект. Можно сказать, что свойства являются «внешними» характеристиками системы, а отношения — «внутренними»; они позволяют увидеть ее как бы изнутри.

Сущность приведенного определения системы хорошо иллюстрирует следующая схема.



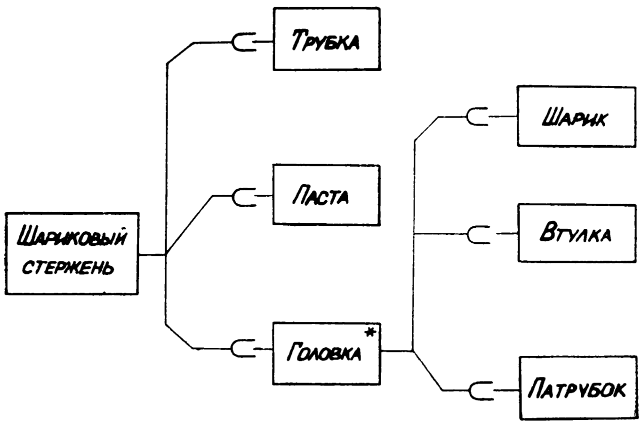
где — свойства системы, $Э_1$, ..., $Э_i$ — элементы системы (неделимые части объекта), * * * — отношения между элементами системы.

Рис. 1.1. Геометрическая интерпретация понятия системы.

Понятия свойства и отношения широко используются в технике. Например, габарит, вес, надежность, стоимость являются свойствами технических систем, а масса, скорость, теплопроводность, вязкость — свойствами их элементов.

В описании проекта любого изделия можно выделить большое число отношений разных видов. В своей совокупности они образуют различные *структуры системы.*

Во-первых, это отношение «часть—целое», «быть частью», которое в неявном виде присутствует в определении системы и используется при описании ее *состава.* Любая система допускает различные виды деления на *элементы* — объекты (части системы) с однозначно определенными свойствами (7, с. 5). В том случае, если первоначально выделенный элемент системы подвергается дальнейшему членению, то он, по отношению к исходной системе, является *подсистемой*. Процедура определения состава системы, которую иногда называют декомпозицией, сводится к ее «разложению» на заранее заданном множестве объектов. Данное множество является составной частью метода декомпозиции систем — его базой знаний, причем именно она определяет результат применения метода. Очевидно, что можно предложить методы декомпозиции с различными базами знаний, поэтому для одной и той же системы можно получить несколько вариантов ее состава, каждый из которых является допустимым. Например, для такой простейшей системы, как шариковый стержень, даже при фиксированном числе выделенных элементов можно предложить, как минимум, три варианта ее состава. Один из них приведен ниже (см. также рис. 1.3.).

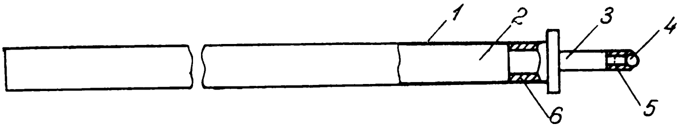


$\subset$ — отношение «часть—целое»;
$*$ — подсистема.

Рис. 1.2. Состав шарикового стержня.

Пространственные отношения между элементами образуют *компоновку системы*, которую обычно фиксируют с помощью чертежей общего вида. Данная структура характеризует систему с точки зрения взаимного расположения ее элементов и позволяет определить, каким образом они могут взаимодействовать между собой.

Например, компоновка шарикового стержня (см. рис. 1.3.) может быть описана следующим образом: паста ⟨находится внутри⟩ трубки; паста ⟨находится внутри⟩ головки стержня; втулка головки ⟨запрессована в⟩ трубке; шарик ⟨зафиксирован в⟩ патрубке головки; паста ⟨находится в контакте с⟩ шариком. Здесь фазы, помещенные в угловые скобки, описывают бинарные отношения — отношения между двумя объектами.



1 — трубка, 2 — паста, 3 — головка, 4 — шарик, 5 — патрубок, 6 — втулка.

Рис. 1.3. Эскиз шарикового стержня.

Временные отношения типа «затем», «после», «через ... секунд», «в то же время», «за ... секунд до этого» широко используются при описании *режимов работы систем.* Это понятие хорошо иллюстрирует описание одной из фаз эксплуатации автокрана.

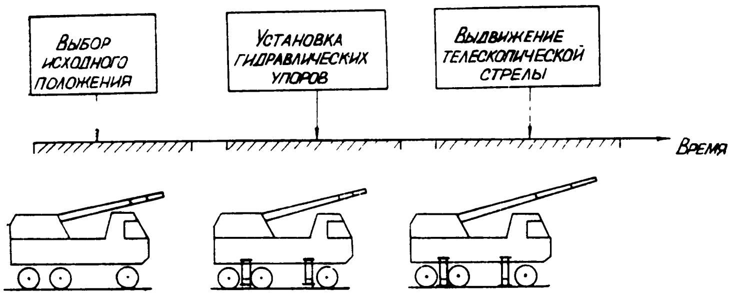


Рис. 1.4. Стадия подготовки автокрана к работе.

Особую роль в технических дисциплинах, как впрочем и в большинстве других, играют причинные отношения или связи. Именно определение связей между элементами системы является необходимым условием для привлечения к ее исследованию математических методов. Если объекты относятся друг к другу так, что наличие или изменение первого обуславливает наличие или изменение второго, то такое отношение между объектами является *связью* (8, с. 7).

Совокупности связей между элементами системы могут образовывать различные виды причинных структур. Во-первых, это структуры, в которых связаны свойства системы (показатели; подробнее см. на с. 17) и свойства ее элементов (*параметров*). Наиболее удобно такого рода структуры описывать с помощью совокупности функциональных зависимостей, образующих математическую систему, которую называют *математической моделью системы.* В общем случае она имеет следующий вид:

$$
\left\{
\begin{aligned}
&\Pi_1 = f_1(\{P_n\}_1)\\
&\dots\dots\dots\dots\\
&\Pi_m = f_m(\{P_n\}_m)\\
&\varphi_1(\{P_n\}_1') = 0\\
&\dots\dots\dots\dots\\
&\varphi_k(\{P_n\}_k') = 0\\
&\varphi_{k+1}(\{P_n\}_{k+1}') \geqslant 0\\
&\dots\dots\dots\dots\\
&\varphi_l(\{P_n\}_l') \geqslant 0
\end{aligned}
\right. \qquad (1.1)
$$

где

$\Pi_1, \dots, \Pi_m$ — показатели системы;

$\{P_n\} = P_1, \dots, P_n$ — параметры элементов системы;

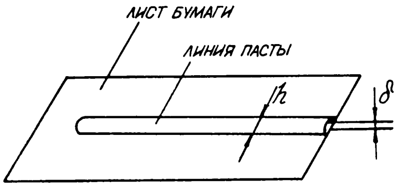
$f_1, \dots, f_m$ — связи в виде математических функций;

$\{P_n\}_1, \dots, \{P_n\}_m, \{P_n\}_1', \dots, \{P_n\}_l'$ — подмножества множества $\{P_n\}$;

$\varphi_1, \dots, \varphi_k, \varphi_{k+1}, \dots, \varphi_l$ — функции, определяющие область допустимых значений параметров элементов системы.

Здесь надо отметить, что на формирование области допустимых значений параметров оказывают влияние различные факторы. Это, во-первых, перечень физико-химических свойств, используемых в технике веществ и материалов. Во-вторых, допустимые соотношения между параметрами элементов системы. Например, отношение сопряженных шестерней в редукторе, разность температур и давлений в первом и втором контуре охлаждения ядерного реактора и многое другое. Кроме того, исходя из физического смысла можно утверждать, что все параметры элементов системы суть положительные величины.

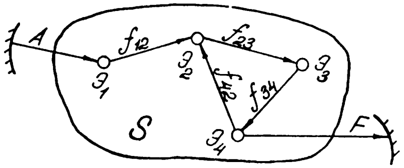
В качестве примера этой структуры можно рассмотреть фрагмент математической модели шарикового стержня.



$$
\left\{
\begin{aligned}
&D \approx l_1 + l_2\\
&L \approx \pi d^2 l_1 / h\delta\\
&l_1 > 0,\ l_2 > 0,\ d > 0,\\
&h > 0,\ \delta > 0.
\end{aligned}
\right. \qquad (1.2)
$$

где D — длина стержня, L — длина линии, оставляемой стержнем на листе бумаги; l_1 — длина трубки, l_2 — длина патрубка головки, d — внутренний диаметр трубки, h — ширина линии (приблизительно равна диаметру шарика), δ — толщина линии (приблизительно равна зазору между шариком и патрубком головки).

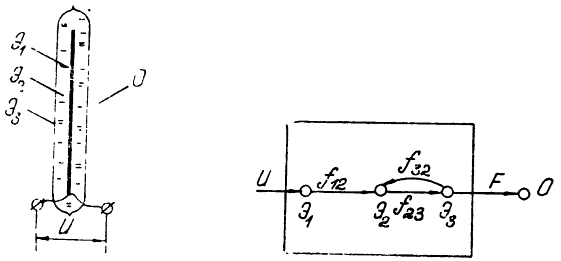
Другим практически важным видом причинных структур является так называемая *функциональная структура системы*; в ней объединены функции системы и ее элементов (подробнее см. на с. 16). Наиболее наглядным способом описания подобных характеристик являются ориентированные графы (орграфы). Их примеры, для произвольного и конкретного случая, показаны на рис. 1.5. и 1.6.



где S — система, $\overset{\text{Е}}{\text{Е}}$ — среда, внешняя по отношению к системе S, $Э_1 \div Э_4$ — элементы системы S, F — функция системы S, $f_{12} \div f_{34}$ — функции элементов системы S, A — воздействие внешней среды на систему S, O — вершина орграфа, $\rightarrow$ — ребро орграфа.

Рис. 1.5. Функциональная структура произвольной системы.

Масляный электронагреватель



где $Э_1$ — тепловыделяющий элемент, $Э_2$ — масло, $Э_3$ — корпус, U — напряжение внешнего источника, O — окружающий воздух, f_{12} — «увеличение температуры масла», f_{23} — «увеличение температуры корпуса», f_{32} — «фиксация положения масла», F — «увеличение температуры окружающего воздуха».

Рис. 1.6. Эскиз и функциональная структура масляного электронагревателя.

Приведенный здесь перечень структур не только достаточно полно иллюстрирует роль отношений в технике, но и является достаточным с точки зрения практического использования параметрического метода.

Аналогичным образом надо поступать и со свойствами системы — нужно выявить их основные разновидности. Свойства любой системы можно разделить на две независимые группы. Первую из них образуют свойства, которые определяют «границу» системы, отделяющую ее от других систем. Исчезновение даже одного из них превращает данную систему в нечто другое. Такие свойства в дальнейшем будут называться *качествами* (9, с. 39), а свойства другой группы — *показателями.*

Какие же свойства технических систем относятся к первой группе?

Раньше отмечалось, что причиной создания технических систем служат непосредственные или опосредствованные потребности человека. Поэтому главное, что отличает одну техническую систему от другой — это то, какую потребность она позволяет удовлетворить. Следовательно, качество технических систем однозначно определяется потребностями, для удовлетворения которых они созданы. Подобные свойства в технике принято называть функциями.

Несмотря на широкое использование понятия функции системы, общепринятого его определения в настоящее время не выработано. Наиболее глубоко оно исследуется в работе (1, с. 72—78). Используя полученные в ней результаты и учитывая, что функция системы — это одно из ее свойств, можно предложить следующее определение.

Функция системы — это ее свойство, которое определяется через действие (Д), оказываемое данной системой в фиксированных условиях (У) на внешний, по отношению к ней, объект (О).

Практика использования этого определения показывает, что действие (Д), оказываемое любой системой, можно описать с помощью следующих (или близких к ним по смыслу) фраз: ⟨изменение ...⟩, ⟨измерение ...⟩, ⟨сохранение ...⟩, где вместо точек подставляется конкретное свойство внешнего объекта (О). Очень часто с целью придания этим фразам более естественного звучания их части объединяют в одно слово. Например, «изменение положения в пространстве» — «транспортировка», «увеличение температуры» — «нагрев», «уменьшение скорости» — «торможение» и т. п.

Условия реализации функции системы (У) определяются через совокупность отношений между системой и окружающими ее объектами, в том числе объекта, на который направлено действие Д. В тех случаях, когда информация об условиях реализации функции системы очевидна или она может быть реализована в любых условиях, компонента в описании функции может быть опущена.

Данное определение применимо также и к функциям элементов системы. При этом, любой ее элемент, с одной стороны, рассматривается как самостоятельная система, а с другой стороны — с точки зрения других элементов системы — как внешний объект. Например, трансмиссия автомобиля по отношению к двигателю — это внешний объект, а по отношению к колесам — это самостоятельная система.

При описании функций элементов необходимо учитывать одно очень важное обстоятельство: для реализации функции

Таблица 1.1.

*Примеры описания функции **системы***

№	Имя системы	Компоненты описания функции		
		Д	О	У
1	Уличный фонарь	Увеличение степени освещенности	Полотно дороги	—
2	Компас	Определение направления (на)	Магнитный полюс Земли	—
3	Автомобиль	Изменение положения	Груз	При условии наличия контакта колес автомобиля с покрытием дороги
4	Тахометр	Изменение числа оборотов	Твердое тело	—
5	Термос	Сохранение температуры . . . . Уменьшение скорости остывания	Вещество	При условии, что вещество находится внутри термоса

системы необходимо функционирование всех ее элементов, при этом результат функционирования одних, элементов системы обеспечивает необходимые условия для функционирования других ее элементов.

Все остальные свойства технических систем относятся ко второй группе, т. е. являются *показателями*. Из дальнейшего будет видно, что очень важной их характеристикой является *тип*, который может быть либо положительным, либо отрицательным.

При определении типа показателей системы используется очень простое правило: *если значение показателя желательно увеличивать, то он положительный, если же его значение желательно уменьшать (вплоть до нуля), то это отрицательный показатель.*

Желательность изменения показателей можно определить, исходя из ряда надсистемных, принятых или очевидных соображений. Например, очевидно, что чем меньше пассажир автобуса тратит времени на проезд, тем лучше. Следовательно, средняя скорость движения автобуса является положительным показателем. Примем, что чем больше КПД электродвигателя, тем лучше. Тогда потребляемая двигателем мощность будет отрицательным показателем.

Кроме того показатели системы можно разделить по *видам* с учетом их размерности. В нашем случае достаточно рассмотреть только два из них. Это, во-первых, *линейные показатели*; они «всегда имеют определенную интенсивность (количественную характеристику) и могут изменяться лишь в направлении уменьшения или увеличения этой интенсивности» (9, с. 101). Например, вес, габарит, мощность, производительность, КПД, стоимость и т. п. В физике подобные свойства называются скалярными. Во-вторых, *точечные показатели*; они не имеют количественной характеристики. Например, бессмысленно говорить о большей или меньшей ремонтопригодности (или технологичности) систем в фиксированных условиях.

«Тем не менее часто бывает возможно расположить отдельные точечные свойства (а значит, и показатели — *В. Г.*) различных предметов в порядке изменения интенсивности, так чтобы их множество напоминало градацию одного линейного свойства» (9, с. 102).

Теперь можно ввести интегральную количественную характеристику систем.

Если сравнить между собой две системы, выполняющие одну и ту же функцию (в дальнейшем — *однофункциональные системы*), то в общем случае они будут иметь различные значения однотипных показателей. При этом по ряду одних показателей может быть лучше первая система, а по ряду других — вторая. Например, самолет и вертолет — это однофункциональные системы; с точки зрения максимальной скорости полета лучше — самолет, а с точки зрения длины пробега при взлете и посадке — вертолет. Какая же из этих систем лучше в целом? В технике такие вопросы возникают очень часто. Для обоснования принятия решения в подобных случаях используется интегральное свойство системы — показатель качества.

Показатель качества системы — это ее свойство, значение которого увеличивается при увеличении положительных и уменьшении отрицательных показателей.

Для того, чтобы это понятие можно было применить при оценке и выборе систем, его определение надо представить в виде функциональной зависимости:

$$K=f(\overset{+}{\Pi}_1, ..., \overset{+}{\Pi}_a, ..., \overset{+}{\Pi}_b, \overset{-}{\Pi}_{b+1}, ..., \overset{-}{\Pi}_c, ..., \overset{-}{\Pi}_d), \qquad (1.3.)$$

где K — показатель качества;

f — функция качества;

$\overset{+}{\Pi}_1, ..., \overset{+}{\Pi}_a$ — положительные линейные показатели;

$\overset{+}{\Pi}_{a+1}, ..., \overset{+}{\Pi}_b$ — положительные точечные показатели;

$\overset{-}{\Pi}_{b+1}, ..., \overset{-}{\Pi}_c$ — отрицательные линейные показатели;

$\bar{\Pi}_{c+1}, \ldots, \bar{\Pi}_d$ — отрицательные точечные показатели;

$K, \overset{+}{\Pi}_1, \ldots, \bar{\Pi}_d \geqslant 0$;

f — любая функция, удовлетворяющая следующим требованиям:

$$\partial f/\partial \overset{+}{\Pi}_a > 0 \; (a=1, \ldots, a); \; \Delta f/\Delta \overset{+}{\Pi}_b > 0 \; (b=a+1, \ldots, b);$$

$$\partial f/\partial \bar{\Pi}_c < 0 \; (c=b+1, \ldots, c); \; \Delta f/\Delta \bar{\Pi}_d < 0 \; (d=c+1, \ldots, d).$$

На практике применяется более узкий класс функций качества, которые получаются путем учета ряда дополнительных требований.

Во-первых, желательно, чтобы показатель качества был безразмерной величиной. Во-вторых, показатель качества системы должен определять меру соответствия других ее показателей предъявляемым к ним требованиям. Причем если положительные показатели меньше этих требований, а отрицательные — больше, то показатель качества системы равен нулю.

С учетом этого функция качества примет следующий вид:

$$K=\delta(\overset{+}{\Pi}_1, \ldots, \overset{+}{\Pi}_b, \bar{\Pi}_{b+1}, \ldots, \bar{\Pi}_d) \cdot \rho(\overset{+}{\Pi}_1/\overset{+}{\Pi}{}_1^T, \ldots, \overset{+}{\Pi}_b/\overset{+}{\Pi}{}_b^T,$$

$$\bar{\Pi}_{b+1}/\bar{\Pi}{}_{b+1}^T, \ldots, \bar{\Pi}_d/\bar{\Pi}{}_d^T), \tag{1.4}$$

где

$$\delta(\ldots)=\begin{cases} 1 \text{ — если } \overset{+}{\Pi}_1 \geqslant \overset{+}{\Pi}{}_1^T, \ldots, \overset{+}{\Pi}_b \geqslant \overset{+}{\Pi}{}_b^T, \bar{\Pi}_{b+1} \leqslant \bar{\Pi}{}_{b+1}^T, \ldots \\ \qquad \ldots, \bar{\Pi}_d \leqslant \bar{\Pi}{}_d^T \\ 0 \text{ — в противном случае} \end{cases}$$

$\overset{+}{\Pi}{}_1^{\text{т}}, \ldots, \bar{\Pi}{}_d^{\text{т}}$ — требования, предъявляемые к показателям $\overset{+}{\Pi}_1, \ldots, \bar{\Pi}_d$;

$K, \overset{+}{\Pi}_1, \ldots, \bar{\Pi}_d, \overset{+}{\Pi}{}_1^{\text{т}}, \ldots, \bar{\Pi}{}_d^{\text{т}} \geqslant 0$;

$\rho(\ldots)$ — любая функция, удовлетворяющая следующим требованиям:

$$\partial \rho/\partial \overset{+}{\Pi}_a > 0 \; (a=1, \ldots, a); \; \Delta \rho/\Delta \overset{+}{\Pi}_b > 0 \; (b=a+1, \ldots, b);$$

$$\partial \rho/\partial \bar{\Pi}_c < 0 \; (c=b+1, \ldots, c); \; \Delta \rho/\Delta \bar{\Pi}_d < 0 \; (d=c+1, \ldots, d).$$

Для того, чтобы можно было воспользоваться этой функцией при оценке качества реальных систем, ей необходимо придать более конкретный вид. Видимо, самой простой конкретной функцией, удовлетворяющей указанным выше требованиям (см. 1.4), будет следующая функция:

$$K=\delta(\overset{+}{\Pi}_1, \ldots, \bar{\Pi}_d) \cdot \left(\sum_{a=1}^{b} \overset{+}{K}_a + \sum_{d=b+1}^{d} \bar{K}_d\right), \tag{1.5}$$

где

$$\overset{+}{K}_a = 1 + \frac{\overset{+}{П}_a - \overset{+}{П}{}_a^T}{\overset{+}{П}_a + \overset{+}{П}{}_a^T} \tag{1.6}$$

$$\overline{K}_d = 1 + \frac{\overline{П}{}_d^T - \overline{П}_d}{\overline{П}_d + \overline{П}{}_d^T} \tag{1.7}$$

Выражениям (1.6.) и (1.7.) соответствуют следующие графики.

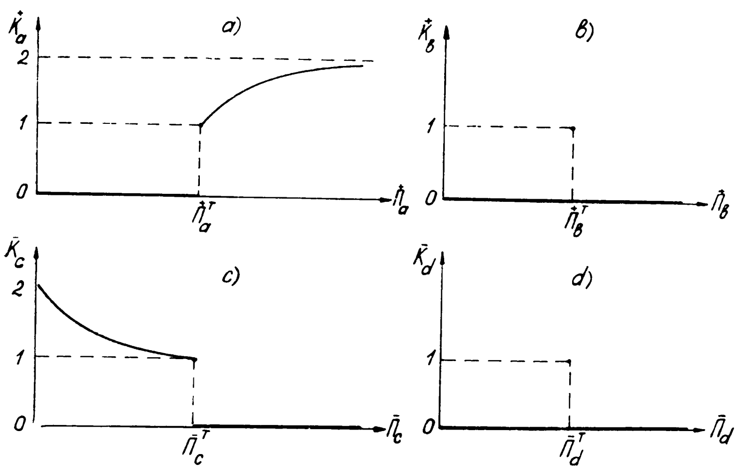


Рис. 1.7. Графики частных функций качества $(\overset{+}{K}, \overline{K})$.

Теперь, когда в общих чертах ясно, что такое система и каковы ее количественные и качественные характеристики, можно сформулировать условия проектной задачи.

Проектной называется задача, исходными данными которой является какая-либо система, а искомыми данными — некоторая система, выполняющая ту же функцию, что и исходная, но имеющая максимальное значение показателя качества.

Из этого определения хорошо видно, что искомая система должна удовлетворять двум требованиям. Во-первых, она должна выполнять ту же функцию, что и исходная, а во-вторых, ее показатель качества должен иметь максимальное значение. Это обстоятельство позволяет упростить процесс решения проектной задачи — разделив его на две независимые стадии:

— определение множества систем однофункциональных с исходной;

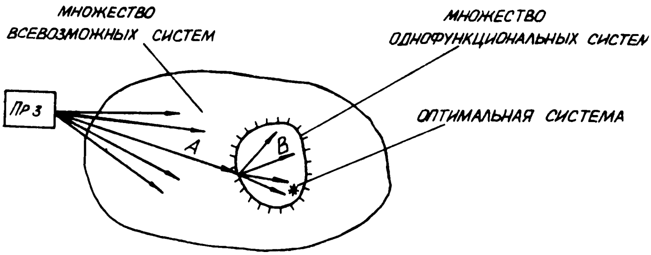
— определение в этом множестве системы с максимальным значением показателя качества (оптимальной системы).

Иными словами, проектную задачу можно представить в виде совокупности двух самостоятельных задач: поисковой и задачей выбора.

Поисковой называется задача, исходными данными которой является какая-либо система, а искомыми данными множество систем однофункциональных с исходной.

Исходными данными задачи выбора служит множество однофункциональных систем, а искомыми — система с максимальным значением показателя качества.

Такое разделение проектной задачи можно пояснить с помощью следующей схемы:



где Пр. З — проектная задача, А — процесс решения поисковой задачи, В — процесс решения задачи выбора.

Рис. 1.8. Декомпозиция проектной задачи.

При решении поисковой задачи варьируются известные физические и технические объекты с целью найти такое их сочетание, которое в определенных условиях позволяет выполнить заданную функцию. Если, например, функция исходной системы — изменение температуры, то среди искомых однофункциональных систем будут системы, организованные вокруг таких объектов, как термопара, объем жидкости, биметаллическая пластинка и т. п.

Решение задачи выбора предполагает вариацию значений параметров элементов, найденной ранее производной системы, с целью определить их оптимальное соотношение. К подобным параметрам обычно относятся форма, вид материала, размеры элементов и расстояния между ними, различные кинематические характеристики, температура, давление и многие другие параметры.

Эти два типа задач имеют различную степень методического обеспечения и различное отношение к изобретательской деятельности. В отличие от поисковой задачи для решения задачи выбора можно привлечь совершенный аппарат математического программирования (1, с. 177—186). Однако подавляющее большинство изобретений появляются именно в результате решения поисковых задач. Действительно, решения, отличающиеся новыми качественными соотношениями геометрических или физических параметров, редко признаются изобретениями даже в том случае, если это позволит получить некоторый положительный эффект.

В то же время, полученные в результате решения поисковых задач, новые комбинации физических и технических объектов могут служить основой для создания принципиально новых или для структурного улучшения известных изделий. Если, к тому же, эта комбинация характеризуется мировой новизной, то имеются все признаки для того, чтобы признать такое решение поисковой задачи изобретением. Поэтому, с определенными оговорками, поисковую задачу можно назвать *изобретательской*, а ее решения рассматривать как потенциальные изобретения. Однако известные в настоящее время методы решения поисковых задач (см. табл. 1.2.) еще далеки от совершенства.

И последнее, что можно сказать по поводу сопоставления этих двух задач. Несмотря на всю внешнюю несхожесть поисковой задачи и задачи выбора у них тем не менее очень много общего. Обе они относятся к так называемым *содержательным задачам* — задачам, условия которых сформулированы в рамках естественного языка с точки зрения заказчика. Решение подобных задач допускает уточнение их условий с целью построения *математической модели задачи*. Оказывается, что моделью для этих двух задач может служить *задача принятия решений*. Ее условия предполагают определение в некотором заданном множестве альтернатив (возможных решений) такого их подмножества, которое удовлетворяет заданному критерию. Действительно, решение первой задачи можно рассматривать как выбор из всего многообразия известных систем, тех из них, которые удовлетворяют критерию однофункциональности с исходной, а решение второй — как выбор из множества однофункциональных систем, систем, удовлетворяющих критерию максимальности показателя качества. Поэтому, отличая эти задачи, необходимо видеть также то, что их объединяет.

Весь дальнейший материал этой книги будет посвящен изучению свойств поисковых задач и параметрическому методу их решения. Прежде чем приступить к обоснованию и разработке этого метода, уточним область его применения.

Если внимательно проанализировать условия поисковой задачи, то не трудно отметить, что в них отсутствуют какие-либо требования к структуре исходной системы. Не ясно, нужна ли нам какая-либо информация о внутреннем устройстве исходной системы, или при решении подобных задач достаточно знать только ее функцию? Оказалось, что ответ на этот вопрос носит принципиальный характер, — уровень определенности (известности) структуры системы, указанной в условиях поисковой задачи, определяет метод, который можно применить для ее решения. Опираясь на этот факт, можно построить типологию поисковых задач в зависимости от степени определенности структуры исходной системы.

Здесь приводятся лишь те задачи из этой типологии (см. табл. 1.2.), методы решения которых в настоящее время уже разработаны.

Таблица 1.2.

Типы поисковых задач и методы их решения

<table>
<tr><th rowspan="2">Тип поисковой задачи</th><th colspan="2">Условия поисковой задачи</th><th rowspan="2">Метод решения*</th></tr>
<tr><th>«Дано»</th><th>«Найти»</th></tr>
<tr><td>1-й тип</td><td>Функция исходной системы</td><td rowspan="3">Множество систем однофункциональных с исходной</td><td>Синтез физического принципа действия (1), энерго-информационный метод (10), см. также библиографическую справку в работе (1, с. 130, 131)</td></tr>
<tr><td>2-й тип</td><td>Функция и функциональная структура исходной системы</td><td>Метод Коллера (11), морфологический анализ (12, 13)</td></tr>
<tr><td>3-й тип</td><td>Функция, функциональная структура и математическая модель исходной системы</td><td>Функционально стоимостный анализ (14), АРИЗ (2).</td></tr>
</table>

* — приведенный перечень не претендует на исчерпывающую полноту; в него включены лишь наиболее известные методы решения поисковых задач.

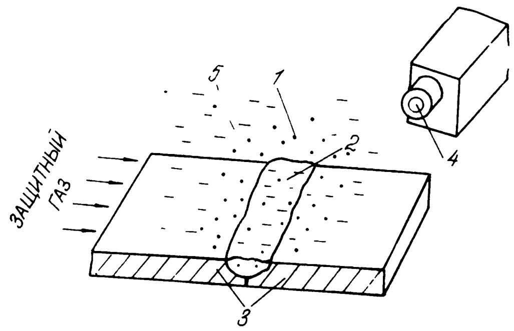
Теперь можно более точно определить область применения параметрического метода, — он ориентирован на решение поисковых задач 3-го типа.

В заключение этой главы следует коснуться вопроса постановки поисковых задач; ведь в реальной практике изобретатели в качестве исходной информации используют описания мало похожие на условия поисковой задачи. Обычно они свою деятельность начинают с изучения *проблемной ситуации*. В ее описании всегда можно выделить две относительно самостоятельные части: *ситуацию* (условия и обстоятельства, в рамках которых предполагается устранить поставленную проблему) и *проблему*. Последняя, в свою очередь формулируется как несоответствие между свойствами объектов, описанных в ситуации, и предъявляемых к ним требованиям. Данное понятие лучше всего пояснить на примерах, в которых проблемные ситуации приведены к виду с четко выделенной ситуационной и проблемной частью.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 1

<СИТУАЦИЯ>

При автоматической электросварке в среде защитного газа часть параметров процесса контролируется посредством телекамеры.



где 1 — брызги жидкого металла; 2 — сварной шов: 3 — свариваемые детали; 4 — объектив телекамеры; 5 — защитный газ.

Процесс сварки сопровождается образованием большого числа брызг жидкого металла, которые, попав на поверхность объектива прилипают к ней. В конечном итоге это приводит к образованию на объективе непрозрачной корки металла.

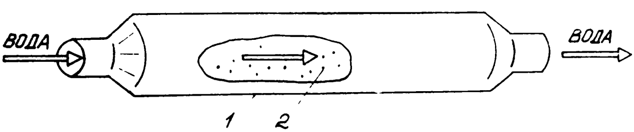
<ПРОБЛЕМА>

Непрозрачный слой металла ухудшает условия контроля процесса сварки.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 2

<СИТУАЦИЯ>

Известен способ дезактивации питьевой воды, в которой действующими агентами являются ионы серебра и меди. Попав в воду, они случайным образом взаимодействуют с микроорганизмами. Причем, роли распределяются следующим образом: ионы серебра убивают бактерии, а ионы меди расправляются с водорослями и микрофлорой. Реализовать этот процесс можно с помощью следующего устройства.



где 1 — корпус, 2 — пористое тело из сплава серебра и меди.

Для осуществления дезинфекции достаточно пропустить загрязненную воду через данное устройство.

⟨ПРОБЛЕМА⟩

Одним из главных недостатков этой установки является ее низкая производительность (определяется скоростью протекания воды через пористое тело), а также относительно высокая стоимость. Последнее объясняется необходимостью использования в ней дорогостоящего серебра.

Если проблемная ситуация используется в качестве исходной информации, то ее всегда можно свести к поисковой задаче — того или иного типа. Подобного рода процедуры будут подробно рассмотрены в последующих частях серии. Все проблемные ситуации, которые рассматриваются в этой книге, можно будет без особых сложностей преобразовать в поисковую задачу 3-го типа.

УПРАЖНЕНИЯ

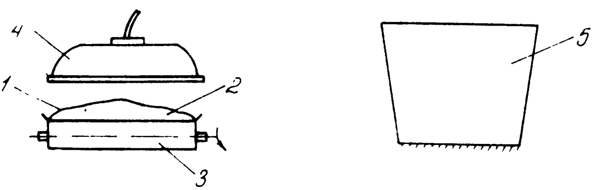
1.1. Определите функции следующих систем: электрический трансформатор, часы, двигатель, предохранительный клапан кастрюли скороварки, зубило.

1.2. Определите функциональную структуру электрической лампы.

1.3. Определите тип следующих показателей: вес стула, КПД теплового двигателя, точность хода часов, взлетная скорость самолета, диапазон измерения амперметра.

1.4. Выделите в приводимой ниже проблемной ситуации *3* проблемную и ситуационную части.

В земле, после ее использования в литейной форме, остаются металлические частицы. Перед повторным использованием литейной земли их необходимо удалить. Если эти частицы ферромагнитны, то для этого можно воспользоваться электромагнитным сепаратором, который работает следующим образом: линейная земля 1 с металлическими включениями 2 с помощью ленточного трансформатора 3 перемещается вблизи электромагнита 4.

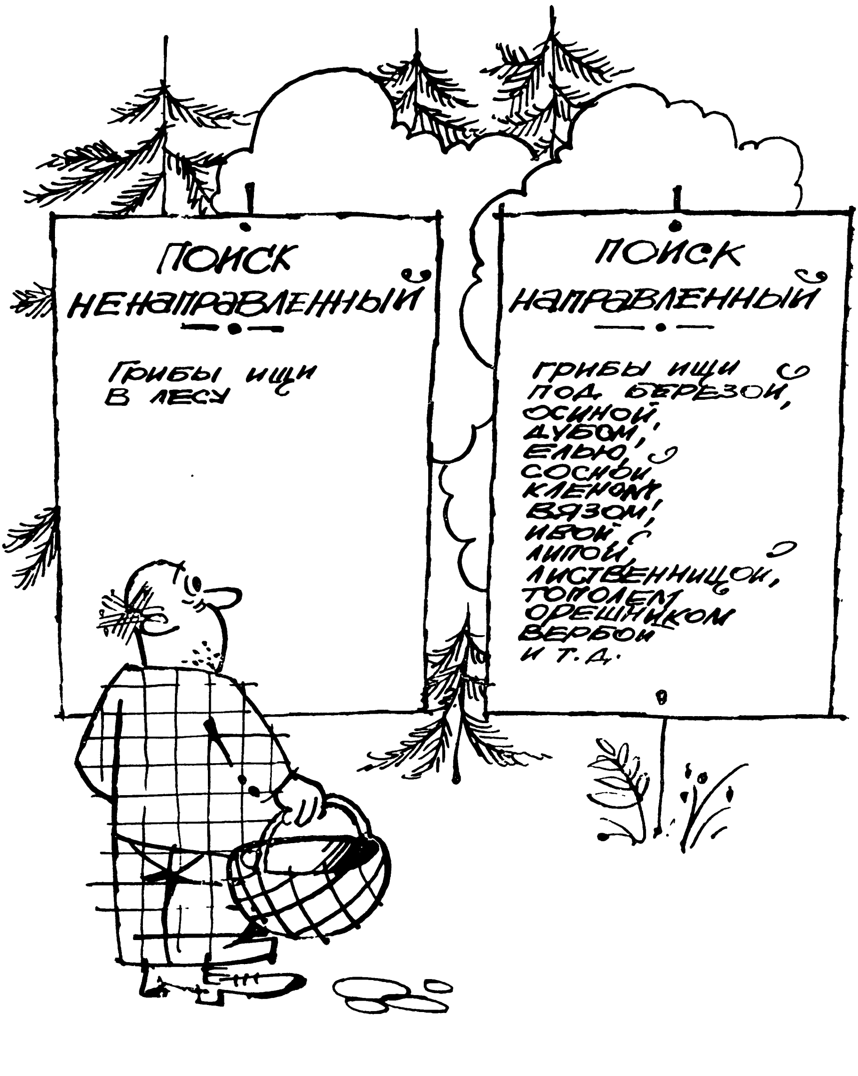


Металлические частицы под действием магнитного поля притягиваются к электромагниту. После того, как объем частиц достигает определенного уровня электромагнит перемещается к бункеру 5 и «сбрасывает» их туда. Пока выполняется последняя операция транспортер остановлен. После перемещения электромагнита в исходное положение он включается вновь.

ГЛАВА 2

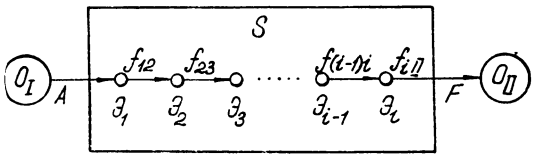
ЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

или о том, почему параметрический метод предпочтительнее функционально-стоимостного анализа (ФСА)



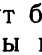
Изучение параметрического метода начнем с ответа на такой вопрос — «А как вообще можно решить поисковую задачу 3-го типа?» Действительно, если исходить из традиционного понимания, то применение метода к решению какой-либо задачи означает преобразование ее исходных данных в искомые без привлечения дополнительной информации. Очевидно, что если к любой поисковой задаче применить метод, состоящий только из операции логического характера, то в лучшем случае будут найдены тривиальные решения. Это объясняется тем, что действие таких методов сводится к комбинированию элементов исходных данных задачи. Поэтому любой метод, который позволил бы получить развернутое решение любой поисковой задачи, должен содержать в своем составе ряд дополнительных сведений, которые образуют его базу.

Как известно, условия поисковой задачи 3-го типа содержат функциональную структуру исходной системы. Представим эту структуру, а также среду функционирования исходной системы в виде орграфа.



где S — исходная система; $Э_1, ..., Э_i$ — элементы исходной системы; $f_{12}, ..., f_{iII}$ — функции элементов; F — функция исходной системы; O_I, O_{II} — элементы среды функционирования исходной системы; A — воздействие среды (необходимое условие выполнения исходной системой функции F).

Рис. 2.1 Функциональная структура исходной системы

Не стоит удивляться тому, что данная структура «линейна» ( ), хотя вроде бы речь идет о произвольной системе. Это объясняется тем, что, во-первых, рассматриваемая система выполняет только одну функцию. Аналогичная структура многофункциональной системы будет содержать «разветвления» (). Во-вторых, некоторые из элементов $Э_1, ..., Э_i$ могут быть тождественны друг другу. Учет этого факта привел бы к функциональным структурам, содержащим «кольца» ( или ). Кроме этого, часть из функций $f_{12}, ..., f_{(i-1)i}$ могут быть «нулевыми». Они используются для того, чтобы упростить описания структур произвольных систем, в структурах же конкретных систем они просто не указываются. Например, если функция f_{23} — «нулевая» (рис. 2.1.), то ее можно опустить, и при этом содержательная интерпретация данного орграфа не изменится. Принимая во внимание эти дополнения, не трудно доказать, что на рис. 2.1. приведена функциональная структура произвольной системы.

По определению (см. с. 16) функция системы однозначно определяется ее функциональной структурой, а последнюю, как это следует из предыдущих рассуждений, всегда можно определить через перечень функций элементов системы. Следовательно, функцию системы всегда можно определить через перечень функций ее элементов. Символически данное утверждение записывается следующим образом:

$$F : f_1,\ f_2,\ \ldots,\ f_i. \qquad (2.1.)$$

Полученное выражение является своеобразным «ключом» к решению поисковых задач 3-го типа. Действительно, предположим, что известно множество систем $\mathfrak{S}$, среди которых имеются системы, характеризующиеся функциями $f_1, f_2, \ldots, f_i$. Выделим из него подмножества систем $\mathfrak{S}_1$. $\mathfrak{S}_2$. $\ldots$, $\mathfrak{S}_i$, выполняющие указанные выше функции. Тогда получается, что каждая из функций f_1, f_2, ..., f_i может быть реализована различными способами.

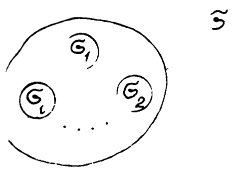


Рис. 2.2. Универсальное множество систем.

Если теперь любой элемент исходной системы (например, $Э_i$) заменить на какую-нибудь систему из соответствующего подмножества ($\mathfrak{S}_i$), то, как следует из выражения 2.1., полученная в результате этого производная система будет однофункциональна с исходной. Повторяя данную процедуру для различных элементов исходной системы и элементов подмножеств $\mathfrak{S}_1$, $\mathfrak{S}_2$, $\ldots$, $\mathfrak{S}_i$, можно найти решение поисковой задачи в том объеме, в котором это допускает множество $\mathfrak{S}$.

Следовательно, данное множество или нечто ему подобное является теми самыми «дополнительными сведениями», речь о которых шла выше.

Представленный здесь подход без особых изменений преобразуется в так называемый *функциональный метод*, прототипами базы и алгоритма которого служат множество $\mathfrak{S}$ и процедура замены элементов исходной системы.

Данный метод является «основным компонентом» большинства известных сейчас методов решения поисковых задач. Исключением, видимо, является лишь *метод математического моделирования*, который позволяет на основе известного состава, компоновки и режимов работы конкретной исходной системы получить ее математическую модель. Последняя, как это следует из определения 1.1., описывает множество однофункциональных систем, отличающихся друг от друга только значениями параметров их элементов, что и требуется от решения поисковой задачи.

Теперь в общих чертах ясно, как можно подойти к решению поисковых задач. Эти результаты можно было бы признать вполне удовлетворительными, если получение множества однофункциональных систем являлось бы самоцелью. Однако, как уже говорилось, практическую ценность, в основном, представляет результат решения проектной задачи. Поэтому, решая поисковую задачу, надо учитывать, как полученные результаты повлияют на процесс решения задачи выбора. Оказалось, что значение показателей качества большого числа систем, получаемых с помощью функционального метода, ниже аналогичной характеристики исходной системы. Это в дальнейшем существенно осложняет решение соответствующей задачи выбора.

Степень влияния результата решения поисковой задачи на трудоемкость решения связанной с ней задачей выбора можно оценить с помощью такого показателя методов поиска, как их направленность. Этот показатель широко используется в работах по техническому творчеству, хотя в большинстве из них его определяют через такие интуитивные понятия как «идеальная система» или «идеальный конечный результат» (2, с. 49). Поэтому, здесь предлагается более строгое определение этой характеристики.

Предположим, что в результате применения некоторого метода поиска удалось получить N однофункциональных систем, из которых N_1 систем имеют значение показателей качества больше или равное аналогичной характеристике исходной системы. Тогда ***направленность*** данного метода (Q) определяется через отношение величин N_1, N.

$$Q=N_1/N. \tag{2.2.}$$

Как видно из этого выражения, определение направленности метода предполагает предварительный подсчет величины N_1, что по своей трудоемкости сравнимо с решением соответствующей задачи выбора. Поэтому на практике направленность методов поиска оценивается «с точностью до 1»:

$$Q<1;\ Q=1.$$

На основании этого выделяют два класса методов поиска: ***ненаправленные*** $(Q<1)$ и ***направленные*** $(Q=1)$.

Из сказанного ясно, что функциональный метод, в общем случае, относится к первому из указанных классов *. Даль-

* — Это не означает, что в некоторых частных случаях с помощью функционального метода нельзя получить множество производных систем,

нейшее развитие данного метода, среди прочего, предполагает также увеличение его направленности. Очевидно, что добиться этого можно будет лишь в том случае, если производить только такие замены элементов исходной системы, которые обеспечивают увеличение ее показателя качества.

Наиболее просто эта идея реализуется тогда, когда показатель качества исходной системы определяется только через *аддитивные показатели.* Их главной отличительной чертой является то, что сами они определяются через сумму аналогичных параметров элементов системы (P_i).

$$П_{ад}=\sum_{i=1}^{i} P_i. \tag{2.3}$$

К такого рода показателям относятся такие характеристики систем как вес, габарит, стоимость, в некоторых случаях, надежность и т. п.

По отношению к поисковым задачам, исходные данные которых удовлетворяют указанному выше требованию, можно предложить вариант функционального метода с направленностью, равной 1. Для этого, во-первых, надо определить значение аддитивных показателей систем, образующих базу функционального метода. Во-вторых, видоизменить его алгоритм таким образом, чтобы в качестве замены элементов исходной системы (например, $Э_i$) использовались лишь те системы из соответствующих подмножеств ($\mathfrak{S}_i$), сумма показателей которых выше аналогичной характеристики заменяемого элемента. Очевидно, что после этого с помощью функционального метода можно получить производные системы, показатель качества которых выше аналогичной характеристики исходной системы.

Такого рода методы в дальнейшем будут называться *функционально-аддитивными.* Среди них надо выделить функционально-стоимостный метод, который по своим целям и сути близок к функционально-стоимостному анализу (14, с. 30, 63—64). С точки зрения направленности такого рода методы лучше «чисто» функционального метода. Однако по отношению к произвольным поисковым задачам 3-го типа добиться максимальной направленности процесса решения с их помощью не удается. Это связано с тем, что в общем случае исходная система характеризуется не только аддитивными показателями. Поэтому найденные с помощью функционально-аддитивных методов производные системы по ряду показателей могут оказаться хуже исходной. То же самое верно и для показателя качества в целом.

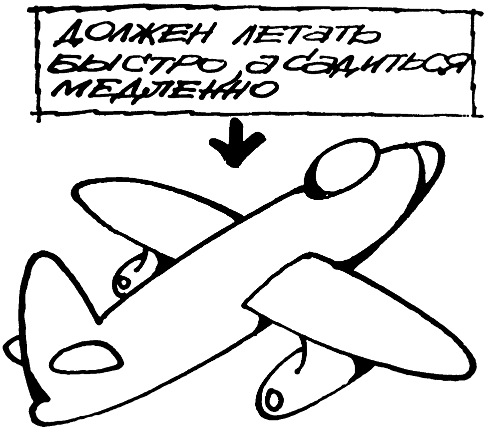
показатель качества которых будет больше (равен) аналогичной характеристики исходной системы.

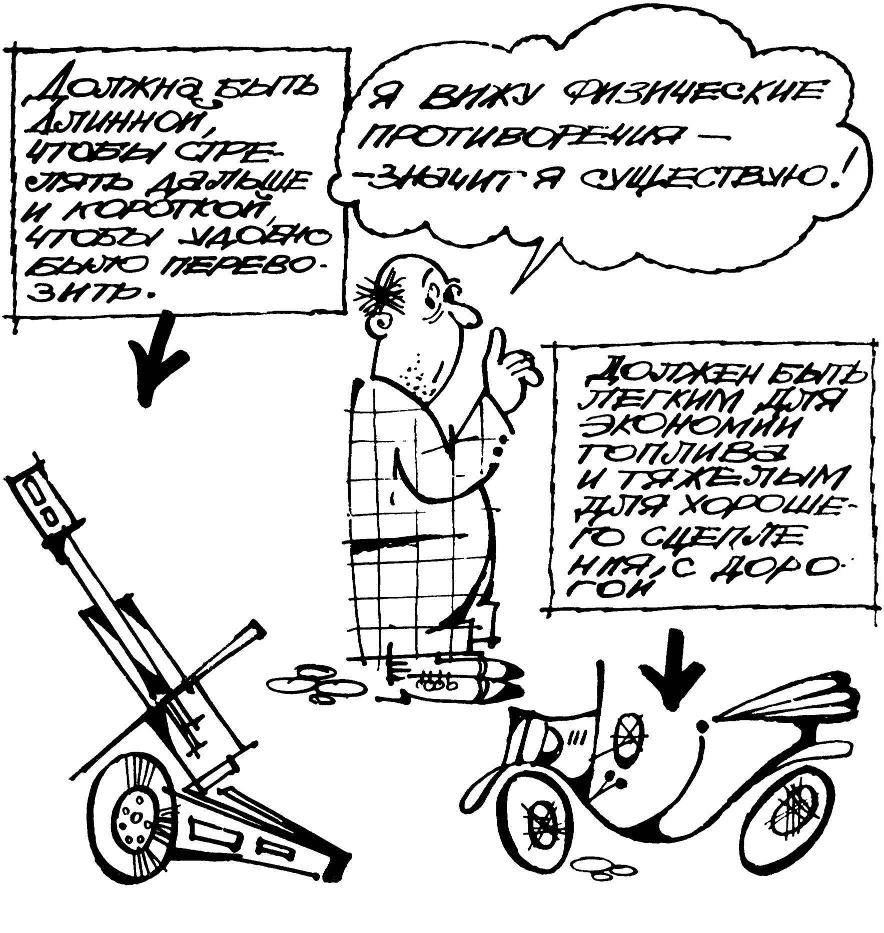
Следовательно, надо искать другие способы модификации функционального метода, которые были бы направленными по отношению к любой поисковой задаче 3-го типа. Одной из таких модификаций является параметрический метод, обоснованию и изложению которого посвящены последующие главы книги.

ГЛАВА 3

ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ

или о том, почему так трудно изобретать





Понятие физического противоречия занимает центральное место в концепции параметрического метода. В конечном счете все операции этого метода направлены на выявление и устранение физических противоречий, присущих исходной системе.

Как уже отмечалось, данное понятие получило широкое распространение в связи с работами Г. С. Альтшуллера. Однако в них физическое противоречие вводится и анализируется в рамках индуктивного подхода, т. е. получается в результате обобщения ряда частных примеров, что явно недостаточно для глубокого и всестороннего исследования этого понятия. В концепции параметрического метода в качестве исходной информации используется не совокупность примеров, а математическая модель системы. Это позволяет не только ввести строгое определение физического противоречия, определить его разновидности, но и сформулировать однозначные правила его выявления.

Рассмотрим простейший случай математической модели системы, описывающий всего лишь два ее показателя, причем область изменения параметров элементов системы ($\{P_n\}$) определяется одним интервалом.

$$\begin{cases} \Pi_1 = f_1(\{P_n\}_1) \\ \Pi_1 = f_2(\{P_n\}_2) \\ P_{11} \leqslant P_1 \leqslant P_{12} \\ \dots\dots\dots\dots \\ P_{n1} \leqslant P_n \leqslant P_{n2} \end{cases} \tag{3.1}$$

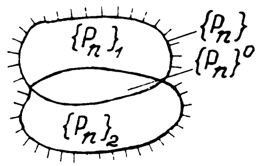
где Π_1, Π_2 — показатели системы;

$\{P_n\} = P_1, \dots, P_n$ — параметры элементов системы;

$\{P_n\}_1$, $\{P_n\}_2$ — подмножества множества $\{P_n\}$;

P_{n1}, P_{n2} — пределы изменения параметра P_n; $n = 1, \dots, n$.

Очевидно, что в общем случае множества $\{P_n\}_1$, $\{P_n\}_2$ пересекаются, т. е. часть параметров $\{P_n\}^\circ$ входит как в первое, так и во второе множество. Такие параметры будем называть общими, а показатели, в функции которых они входят, — *связанными*. Последние обладают очень интересным свойством — одновременно изменять свои значения при изменении любого общего для них параметра, вне зависимости от того, какие значения имеют остальные параметры.



Наиболее полно это свойство можно исследовать с помощью следующих частных производных:

$$\partial\Pi_1/\partial P = f'_{1p};\ \partial\Pi_2/\partial P = f'_{2p}, \tag{3.2}$$

где P — общий параметр $P_1 \leqslant P \leqslant P_2$.

Ясно, что выражения f'_{1p} и f'_{2p} на интервале $P_1 \div P_2$ могут быть либо $<$ ($\leqslant$) 0, либо $>$ ($\geqslant$) 0, либо $\gtreqless$ 0. Кроме этого, раньше все показатели систем были разделены на два типа:

положительные и отрицательные. Учитывая данные факты, можно получить типологию пар связанных показателей по степени их противоречивости. Среди них выделяют *противоречивые, непротиворечивые* и *частично противоречивые*. Для определения типа пары показателей можно воспользоваться следующими правилами.

Таблица 3.1.

Правила определения типа пары показателей по степени их противоречивости

I

ЕСЛИ	ТО
$\partial\overset{+}{\Pi}_1/\partial P > (\geqslant) 0$ и $\partial\overset{+}{\Pi}_2/\partial P > (\geqslant) 0$	Н
$\partial\overset{+}{\Pi}_1/\partial P > (\geqslant) 0$ и $\partial\overset{+}{\Pi}_2/\partial P < (\leqslant) 0$	П
$\partial\overset{+}{\Pi}_1/\partial P < (\leqslant) 0$ и $\partial\overset{+}{\Pi}_2/\partial P > (\geqslant) 0$	П
$\partial\overset{+}{\Pi}_1/\partial P < (\leqslant) 0$ и $\partial\overset{+}{\Pi}_2/\partial P < (\leqslant) 0$	Н

II

ЕСЛИ	ТО
$\partial\overset{-}{\Pi}_1/\partial P > (\geqslant) 0$ и $\partial\overset{-}{\Pi}_2/\partial P > (\geqslant) 0$	Н
$\partial\overset{-}{\Pi}_1/\partial P > (\geqslant) 0$ и $\partial\overset{-}{\Pi}_2/\partial P < (\leqslant) 0$	П
$\partial\overset{-}{\Pi}_1/\partial P < (\leqslant) 0$ и $\partial\overset{-}{\Pi}_2/\partial P > (\geqslant) 0$	П
$\partial\overset{-}{\Pi}_1/\partial P < (\leqslant) 0$ и $\partial\overset{-}{\Pi}_2/\partial P < (\leqslant) 0$	Н

III

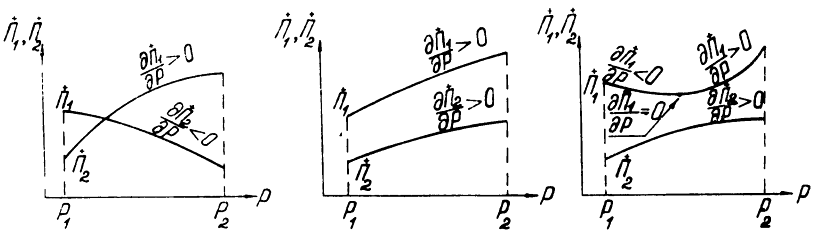
ЕСЛИ	ТО
$\partial\overset{+}{\Pi}_1/\partial P > (\geqslant) 0$ и $\partial\overset{-}{\Pi}_2/\partial P > (\geqslant) 0$	П
$\partial\overset{+}{\Pi}_1/\partial P > (\geqslant) 0$ и $\partial\overset{-}{\Pi}_2/\partial P < (\leqslant) 0$	Н
$\partial\overset{+}{\Pi}_1/\partial P < (\leqslant) 0$ и $\partial\overset{-}{\Pi}_2/\partial P > (\geqslant) 0$	Н
$\partial\overset{+}{\Pi}_1/\partial P < (\leqslant) 0$ и $\partial\overset{-}{\Pi}_2/\partial P < (\leqslant) 0$	П

IV Если значения хотя бы одной частной производной рассматриваемой пары связанных показателей как больше, так и меньше нуля ($\gtreqless 0$), то данные показатели частично противоречивы.

где П, Н — соответственно противоречивые и непротиворечивые показатели.

Здесь надо отметить, что эти правила можно было бы сформулировать и по-другому. Однако именно частные производные позволяют наиболее просто установить степень влияния на значения показателя системы какого-либо единичного параметра ее элемента при фиксированных значениях других параметров.

Свойству противоречивости показателей можно дать наглядную геометрическую интерпретацию, используя для этого графики функций f_1 и f_2. Рассмотрим случай, когда оба показателя $П_1$ и $П_2$ — положительные. Если изобразить графики функций f_1 и f_2 в одной системе координат, то можно получить три принципиально отличных варианта их взаимного расположения.



а) в) с)

Рис. 3.1. Геометрическая интерпретация свойства противоречивости пары показателей.

Согласно введенной типологии пары показателей, функции которых изображены на рис. 3.1. а, являются противоречивыми (см. табл. 3.1., I, 2-ая строка); на рис. 3.1. в — непротиворечивыми (см. табл. 3.1, I, 1-я строка), а на рис. 3.1. с — частично противоречивыми (см. табл. 3.1., IV).

Посмотрим, к чему приводит наличие у системы пары противоречивых показателей, например, положительных. Не нарушая общности рассуждений, примем, что $f'_{1p}>0$, $f'_{2p}<0$ для всех P из интервала $P_1 \div P_2$.

Тогда, исходя из выражения 3.2. частные производные функции показателей $\overset{+}{П}_1$ и $\overset{+}{П}_2$ можно определить через приращения.

$$\frac{\Delta \overset{+}{П}_1}{\Delta P} \approx f'_{1a}; \qquad \frac{\Delta \overset{+}{П}_2}{\Delta P} \approx f'_{2a}, \tag{3.3}$$

где $\Delta P = P^{\circ} - P^{*}$; $a = (P^{\circ} + P^{*})/2$;

P°, P^{*} — соответственно исходное значение параметра и некоторое значение параметра P из интервала $P_1 \div P_2$ (см. рис. 3.1.);

$\Delta \overset{+}{П}_1$, $\Delta \overset{+}{П}_2$ — соответственно приращение показателей $\overset{+}{П}_2$ и $\overset{+}{П}_1$ при изменении параметра P от P° до P^{*}.

Согласно определению, положительные показатели желательно увеличивать. Следовательно, желательным является любое их положительное приращение. Символически это утверждение можно представить следующим образом.

$$Ж(\Delta \overset{+}{П}_1 > 0,\ \Delta \overset{+}{П}_2 > 0), \qquad (3.4.)$$

Из выражения 3.3. следует, что
где $Ж(...)$ — «желательно, чтобы ...».

$$\Delta \overset{+}{П}_1 \approx f'_{1a} \cdot \Delta P; \quad \Delta \overset{+}{П}_2 \approx f'_{2a} \cdot \Delta P. \qquad (3.5.)$$

В соответствии с этим можно преобразовать выражение 3.4.

$$Ж(f'_{1a} \cdot \Delta P > 0,\ f'_{2a} \cdot \Delta P > 0). \qquad (3.6.)$$

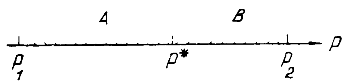
Учитывая, что $f'_{1a} > 0$, а $f'_{2a} < 0$, получим,

$$Ж(\Delta P > 0,\ \Delta P < 0) \text{ или } Ж(\Delta P \gtreqless 0). \qquad (3.7.)$$

Так как $\Delta P = P^\circ - P^*$, то

$$Ж((P^\circ - P^*) \gtreqless 0) \text{ или } Ж(P^\circ \gtreqless P^*). \qquad (3.8.)$$

Последнему выражению можно дать однозначную геометрическую интерпретацию.



где A, B — интервалы желательных значений параметра P.

Согласно выражению 3.8., желательной является такая ситуация, когда параметр P одновременно равен двум любым значениям из интервала A и B, в том числе значениям P_1 и P_2. Следовательно, верным является следующее частное утверждение:

$$Ж(P^\circ = P_1,\ P^\circ = P_2) \qquad (3.9.)$$

В терминах естественного языка данное утверждение имеет следующее значение: «Желательно, чтобы параметр P был равен P_1 и P_2».

Проводя такого рода рассуждения по отношению к другим разновидностям противоречивых показателей, можно получить точно такие же утверждения. Их обобщение позволяет ввести понятие физического противоречия и определить форму его описания.

Физическое противоречие — это взаимоисключающие требования, предъявляемые к элементу системы, состоящие в том, что один из характеризующих его параметров должен иметь два различных значения.

Параметр элемента системы, который упоминается в этом определении, будет называться *узловым параметром*, а характеризуемый им элемент — *узловым элементом*.

Для всех физических противоречий (ФП), которые встречаются в реальной практике, можно предложить единую форму записи, или как иногда говорят — обобщенную формулу. Она имеет следующий вид.

«⟨P⟩ ДОЛЖЕН БЫТЬ ⟨A⟩, ЧТО ПОЗВОЛИТ ⟨C⟩ ⟨Π_1⟩,
⟨P⟩ ДОЛЖЕН БЫТЬ ⟨B⟩, ЧТО ПОЗВОЛИТ ⟨D⟩ ⟨Π_2⟩», (3.10)

где P, Π_1 Π_2 — соответственно естественноязыковое имя узлового параметра и противоречивых показателей системы;

A, B — значения узлового параметра, которые обеспечивают требуемое изменение показателей Π_1 и Π_2;

C, D — требуемые направления изменений показателей Π_1 и Π_2.

Таблица 3.2.

Значения переменных P, A, B, C, D

Переменная	Значение переменной
P	Имя узлового параметра, например, «длина», «скорость», «плотность», «давление» и т. п.
A, B	«Как можно больше», «как можно меньше», «более (указывается P*)», «менее указывается P*)», «около (указывается P*)». Кроме этих «нечетких» значений, которые в конкретных ФП встречаются наиболее часто, можно использовать и другие, точные значения узлового параметра.
C, D	«Увеличить» (для положительных показателей), «уменьшить», «уменьшить до нуля» (для отрицательных показателей).

где P* — определенное значение узлового параметра.

Кроме «развернутых» формул ФП в параметрическом методе используются так называемые *краткие формулы ФП*. Их общую форму можно получить из выражения 3.10. путем исключения из него фраз, в которых фиксируются предполагаемые результаты изменения показателей. Следовательно, краткая формула ФП имеет следующий вид:

«⟨P⟩ ДОЛЖЕН БЫТЬ ⟨A⟩ и ⟨B⟩». (3.11.)

Поясним понятие ФП и форм его описания на ряде примеров из различных областей техники.

Любой металлообрабатывающий станок характеризуется такими показателями как максимальный размер обрабатываемой детали (L) и стоимость (C). Первый из этих показателей является положительным, а второй — отрицательным, причем оба они прямопропорциональны характерному размеру рабочей зоны станка (l).

Следовательно:

$$\begin{cases} \overset{+}{L} = k_1 l \\ \overset{-}{C} = k_2 l \end{cases}$$

где k_1, k_2 — коэффициенты пропорциональности; $k_1 > 0$, $k_2 > 0$.

На основании этого можно сформулировать следующее ФП: «Характерный размер рабочей зоны станка ДОЛЖЕН БЫТЬ как можно больше, ЧТО ПОЗВОЛИТ увеличить максимальный размер обрабатываемой детали; характерный размер рабочей зоны станка ДОЛЖЕН БЫТЬ как можно меньше, ЧТО ПОЗВОЛИТ уменьшить его стоимость».

В краткой форме. «Характерный размер рабочей зоны станка ДОЛЖЕН БЫТЬ как можно больше и как можно меньше».

Известно, что площадь, занимаемая аэродромом (F) в основном определяется длиной его взлетно-посадочной полосы — ВПП (l). С другой стороны от этой характеристики зависит универсальность аэродрома (U) — спектр типов самолетов, которые могут садиться на этот аэродром и взлетать с него. Учитывая, что первый показатель аэродрома отрицательный, а второй — положительный, то фрагмент его математической модели имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \overset{-}{F} = k_1 n l + F^* \\ \overset{+}{U} = k_2 l \end{cases}$$

где n — число ВПП;
F^* — площадь, занимаемая остальными службами аэродрома.

Следовательно:

«Длина ВПП аэродрома ДОЛЖНА БЫТЬ как можно больше, ЧТО ПОЗВОЛИТ увеличить универсальность аэродрома; длина ВПП аэродрома ДОЛЖНА БЫТЬ как можно меньше, ЧТО ПОЗВОЛИТ уменьшить его площадь».

В краткой форме: «Длина ВПП аэродрома ДОЛЖНА БЫТЬ как можно больше и как можно меньше».

Для получения рентгеновского снимка легких человека используется флюорографическая установка (ФУ). Чем больше мощность рентгеновского излучения ФУ (n), тем выше качество снимка ($\overset{+}{A}$). Однако за это приходится «расплачиваться» высокой дозой облучения пациента ($\overset{+}{B}$). Следовательно:

$$\begin{cases} \overset{+}{A} = k_1 n^{\alpha} & k_1 > 0,\ k_2 > 0, \\ \overset{-}{B} = k_2 n^{\beta} & \alpha > 0,\ \beta > 0. \end{cases}$$

ФП: «Мощность рентгеновского излучения ДОЛЖНА БЫТЬ как можно больше, ЧТО ПОЗВОЛИТ увеличить качество снимка, получаемого с помощью ФУ; мощность рентгеновского излучения ДОЛЖНА БЫТЬ как можно меньше, ЧТО ПОЗВОЛИТ уменьшить дозу облучения пациента».

В краткой форме. «Мощность рентгеновского излучения ДОЛЖНА БЫТЬ как можно больше и как можно меньше».

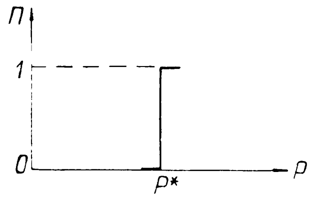
Благодаря работам Г. С. Альтшуллера понятие физического противоречия получило широкое распространение в литературе по техническому творчеству. Однако в ней до сих пор нет развернутого ответа на вопрос «что такое физическое противоречие?» Согласно предложенной в работе (15, с. 133—137) классификации противоречий, ФП можно отнести к так называемым антиномиям-проблемам. Они «появляются в процессе познания и имеют вид формально-логических противоречий (например, «капитал возникает и не возникает в обращении»). В действительности эти противоречия являются диалектическими, указывающие на существование некоторой нерешенной проблемы, исключающих альтернатив, по отношению к которым одновременно строится гипотеза об их совместимости. В предложениях, соответствующих антиномиям-проблемам, ничего не утверждается и не отрицается, а фиксируется некоторый запрос мысли... Когда эти диалектические противоречия решаются, тогда они уже не выражаются в парадоксальной форме».

Из данного определения следует, что для одновременного улучшения каких-либо двух противоречивых показателей системы необходимо заменить соответствующий им узловой элемент объектом, удовлетворяющим требованиям, зафиксированным в ФП. В этом случае говорят, что *ФП устранено.*

Нетрудно догадаться, что полученные результаты: правила выявления ФП и значения переменных входящих в их формулы (см. табл. 3.1.) — в полном объеме применимы лишь в том случае, если оба противоречивых показателя являются линейными. Для точечных показателей все это не подходит, т. к. их функции, в отличие от функций линейных показателей, дифференцируемы не во всех точках области их определения. Действительно, согласно определению (см. с. 18), точечный показатель может иметь всего лишь два значения: «1» — в том случае, если он присущ системе, и «0» — в обратном случае. Следовательно, их функция должна содержать хотя бы один «скачок», простейший случай которого приведен ниже.

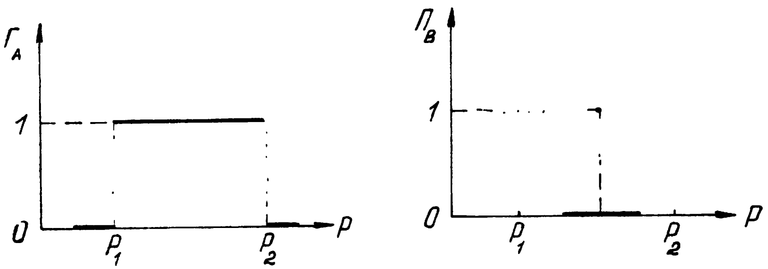
Ясно, что функции подобных показателей недифференцируемы на всем диапазоне изменения ее переменных. Поэтому для пар связанных показателей, содержащих хотя бы один точечный показатель, необходимо искать другие правила определения и формы описания их противоречивости.

Как показывают предварительные исследования, правила определения противоречивости в этом случае зависят от того, какой вид имеет функция точечного показателя. В данной работе будут рассмотрены только две разновидности подобных функций (см. рис. 3.3.), которые наиболее часто встречаются в практике. Однако этого будет достаточно, чтобы для точечных показателей, имеющих функции другого вида, аналогичные правила можно было сформулировать самостоятельно.



где $П$ — точечный показатель, P^* — значение параметра P, при котором значение показателя $П$ изменяется скачкообразно.

Рис. 3.2. Фрагмент функции точечного показателя.



где $П_A$ — точечный показатель системы вида A, $П_B$ — точечный показатель системы вида B, P — параметр элемента системы.

Рис. 3.3. Разновидности функций точечных показателей.

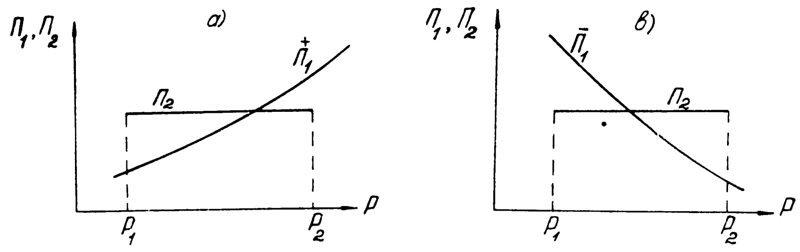
С учетом разновидностей точечных показателей можно предложить 5 различных вариантов пар связанных показателей.

Таблица 3.3.

Варианты пар связанных показателей

Тип показателя	Линейный показатель	Точечный показатель вида A	Точечный показатель вида B
Линейный показатель	—	1	2
Точечный показатель вида A	1	3	4
Точечный показатель вида B	2	4	5

Нетрудно доказать, что пары связанных показателей, относящихся к варианту 1, никогда не будут противоречивыми. Этот факт хорошо иллюстрируют следующие графики.



где $П_1$, $П_2$ — соответственно линейный и точечный показатель вида A.

Рис. 3.4.

Из этого рисунка видно, что для обоих случаев (а и в) желательным является только одно значение параметра P-величина P_2, т. к. именно при этом оба показателя ($П_1$ и $П_2$) достигают «наилучших» значений. Следовательно, пары связанных показателей $\overset{+}{П}_1$, $П_2$ и $\overset{-}{П}_1$, $П_2$ вне зависимости от того, будет ли показатель $П_2$ положительным или отрицательным, являются непротиворечивыми.

Другие пары точечных и линейных показателей (вариант 2), в общем случае, будут противоречивыми вне зависимости от типа этих показателей.

В том же случае, когда оба показателя точечные, для определения степени их противоречивости используются следующие правила.

Для варианта 3

«Если один из точечных показателей, которые относятся к виду A, положительный, а другой отрицательный, или наоборот, то они являются противоречивыми; в противном случае — они непротиворечивы».

Для варианта 4

«Если один из точечных показателей относится к виду A, а другой — к виду B, то они, вне зависимости от их типа, являются непротиворечивыми».

Для варианта 5

«Если оба точечных показателя относятся к виду B, то они, вне зависимости от их типа, являются противоречивыми».

Очевидно, что учет размерности показателей влияет и на форму описания ФП. Обобщенная формула ФП, содержащих точечные показатели, будет такой же как и стандартная (см. 3.10). Однако входящие в нее переменные будут иметь другие значения. Эти изменения вызваны необходимостью придать конкретным формулам ФП более естественное звучание. Например, вместо «увеличить ремонтопригодность системы» лучше сказать «обеспечить ремонтопригодность системы». Поэтому для точечных показателей значения указанных выше переменных обобщенной формулы ФП определяются следующей таблицей.

Таблица 3.4.

Переменные обобщенной формулы физического противоречия

Переменная	Значение переменной
⟨C⟩, ⟨D⟩	*Для положительных показателей*: «обеспечить», «добиться», «создать», «улучшить» и т. п. *Для отрицательных показателей*: «избежать», «обойтись» и т. п.
$\langle П_1 \rangle$, $\langle П_2 \rangle$	Указывают желаемые значения точечных показателей. Например, «технологичность», «ремонтопригодность», «функционирование» и т. п.

Эти изменения можно проиллюстрировать на конкретном примере.

Известна следующая проблемная ситуация. Для приготовления травяных смесей берут семена 2—10 видов трав, смешивают и высевают в поле. После уборки сразу получаются готовые к использованию травяные смеси. Однако такая технология имеет недостаток — теряется часть урожая трав, потому что одни травы угнетают рост других. Например, ячмень угнетает горох, овес — суданскую травку. После того как это выяснилось, решили компоненты травяной смеси выращивать отдельно друг от друга, а потом смешивать. При такой технологии урожайность трав достигает нормы, но требуются машины для их последующего смешивания, приобретение которых затруднено. Для реализации первой технологии они не нужны, т. к. достаточно смешать семена перед посевом, что, в виду малого их объема, не требует специальных машин».

Если принять в качестве показателей системы приготовление травяных смесей «взаимное угнетение роста трав» и «возможность приготовления смесей без смесителей», то можно сформулировать следующее ФП.

«Травы ДОЛЖНЫ расти рядом друг с другом, ЧТО ПОЗВОЛИТ обойтись без смесителей; травы ДОЛЖНЫ расти отдельно, ЧТО ПОЗВОЛИТ избежать взаимного угнетения роста трав».

Из приведенных уточнений видно, что краткие формулы подобных ФП ничем не будут отличаться от тех, что приводились выше.

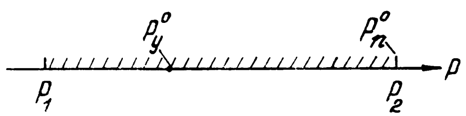
Теперь рассмотрим другую проблему. Иногда при анализе практических ситуаций удается сформулировать утверждения, внешне похожие на ФП, однако несводимые к ним только за счет эквивалентных преобразований.

Чтобы разобраться в причинах появления подобных утверждений, проведем небольшое исследование. Для этого дополним математическую модель системы (см. 3.1.) условием максимизации ее функции качества:

$$max\, K = f(\Pi_1, ..., \Pi_m). \tag{3.12.}$$

Совокупность выражений 3.1. и 3.12. образует математическую модель задачи выбора.

Результатом ее решения является набор так называемых оптимальных значений параметров элементов системы. Очевидно, что все эти значения принадлежат допустимым интервалам изменений соответствующих параметров. Не нарушая общности рассуждений, можно утверждать, что одна группа этих параметров примет одно из крайних значений P_1 или P_2 (см. рис. 3.5.), а остальные — какие-либо другие «средние» значения. Очевидно, что все узловые параметры будут принадлежать ко второй группе, а в первую войдут так называемые *предельные параметры.*



где $P_1 \div P_2$ — один из интервалов изменения параметра P, $P_y{}^\circ$ — оптимальное значение параметра P в том случае, когда он является узловым, $P_n{}^\circ$ — оптимальное значение параметра P в том случае, когда он является предельным.

Рис. 3.5. Оптимальное значение узлового и предельного параметра.

Предельным параметрам присуща одна интересная особенность. За счет их дальнейшего увеличения (или уменьшения) можно было бы добиться улучшения ряда показателей системы, но в связи с наличием предела (P_1 или P_2), который носит надсистемный или физический характер, сделать это невозможно.

Например: очевидно, что число вагонов поезда необходимо увеличивать, т. к. это позволит увеличить его вместимость. Однако длина платформ железнодорожных станций фиксирована, поэтому удлинение поезда потребует их перестройки, что нежелательно.

Хотелось бы, чтобы плотность конструкционных материалов была как можно меньше (это позволило бы снизить вес силовых конструкций), но существующие материалы имеют вполне определенную минимальную плотность.

Приведенные примеры отдаленно напоминают формулы конкретных ФП. Однако только напоминают; свести их к подобным формулам невозможно, т. к. в этих проблемах фигурирует всего лишь один показатель системы. В первом примере — это вместимость поезда, а во втором — вес силовых конструкций.

И тем не менее подобные проблемы можно представить в форме ФП, используя для этого следующий прием.

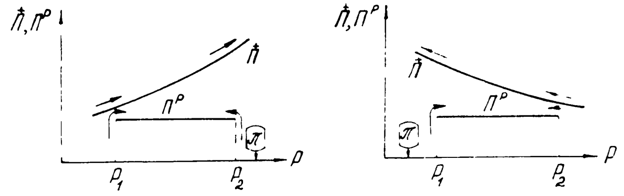
Дополним математическую модель системы (см. 3.1.) функциями специальных показателей — *реализуемость системы по параметру* $P(\Pi^p)$. Этот показатель является точечным. Если значение параметра P элемента системы находится в установленном пределе, то ее можно изготовить, используя существующие материалы, и при этом она будет выполнять свою функцию. Тогда $\Pi^p=1$. В противном случае система нереализуема, и $\Pi^p=0$. Очевидно, что количество подобных показателей равно числу предельных параметров в математической модели системы, а их функции имеют следующий вид:

$$\Pi_k^p=f_k(P_k)=\begin{cases} 1 \text{—если } P_{k1}\leqslant P_k\leqslant P_{k2} \\ 0 \text{—если } P_k<P_{k1} \text{ или } P_k>P_{k2}, \end{cases} \tag{3.13}$$

где k — число предельных параметров.

Теперь не трудно доказать, что если Π — показатель системы S, функция которого содержит предельный параметр P, причем $\frac{\partial \Pi}{\partial P}>(\geqslant)\,0$ или $<(\leqslant)\,0$, то он образует с показателем «реализуемость системы по параметру P» противоречивую пару.

Рассмотрим это утверждение для случая, когда показатель Π — положительный.



а) в)

где → — направление желательного изменения показателей (там, где направление стрелок на графике функций показателей не совпадают — область противоречивости показателей (π)).

Рис. 3.6.

Если $\frac{\partial П}{\partial P} > 0$ (см. рис. 3.6. а), то можно предложить следующую формулу ФП.

«Параметр P ДОЛЖЕН БЫТЬ больше P_2, ЧТО ПОЗВОЛИТ увеличить показатель $П$; параметр P ДОЛЖЕН БЫТЬ меньше P_2 (но больше P_1), ЧТО ПОЗВОЛИТ реализовать систему S».

Использование данного приема позволяет проблемы, речь о которых шла выше, свести к формулам конкретных ФП.

«Число вагонов поезда ДОЛЖНО БЫТЬ как можно больше, ЧТО ПОЗВОЛИТ увеличить его вместимость; число вагонов поезда должно быть не более n (фиксированное число), ЧТО ПОЗВОЛИТ обеспечить его эксплуатацию при существующей длине платформ».

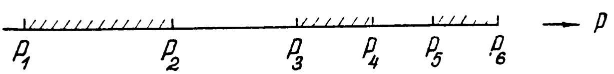
«Плотность конструкционных материалов ДОЛЖНА БЫТЬ равна нулю, ЧТО ПОЗВОЛИТ уменьшить вес силовых конструкций; плотность конструкционных материалов ДОЛЖНА БЫТЬ не менее ρ^* (минимально допустимая плотность), ЧТО ПОЗВОЛИТ создать эти конструкции».

Полный перечень правил, с помощью которых можно выявить ФП в подобного рода случаях, представлен в таблице 3.4.

Практическую значимость последний вид ФП преобретает в том случае, когда математическая модель системы состоит из одного уравнения. Такого рода поисковым задачам предшествуют проблемные ситуации, в которых требуется улучшить только один показатель. Подобное встречается довольно часто. Ясно, что при таких условиях традиционное понятие ФП неприменимо, а следовательно, неприменим и связанный с ним параметрический метод. Зато в функцию этого единственного показателя могут входить предельные параметры. Поэтому, используя описанный выше прием, можно сформулировать одно или несколько ФП, что позволяет применить параметрический метод и к подобного рода поисковым задачам.

К сказанному необходимо сделать два замечания.

Во-первых, в начале этой главы было принято допущение, что область изменения любого параметра элементов системы ($P_1, ..., P_n$) определяется одним интервалом. Однако в общем случае эта область представляет собой совокупность интервалов. Например,

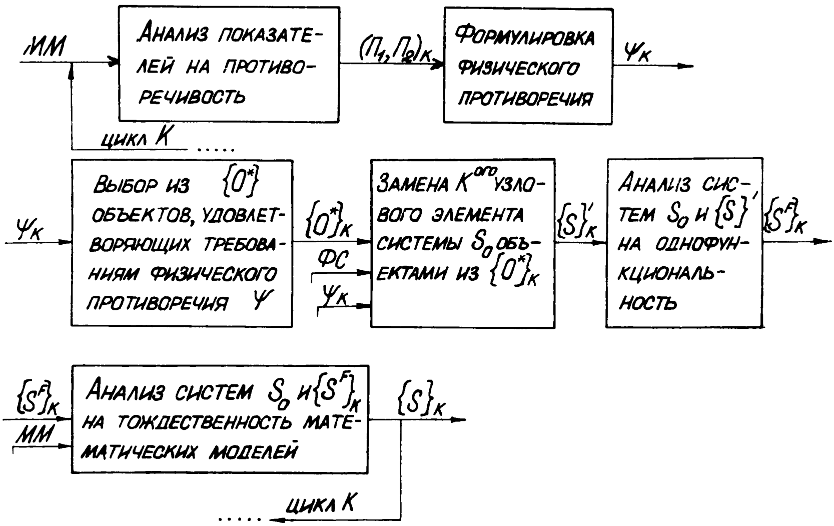


В этом случае исследование системы на предмет наличия у нее ФП проводится для каждого интервала отдельно.

ной схемы, является направленным. Подобного рода разновидность функционального метода в дальнейшем будет называться *параметрическим методом.*

В общем случае его базу образуют системы, выполняющие ту или иную функцию и удовлетворяющие требованиям какого-либо ФП. Как уже говорилось выше, в этой книге будет рассматриваться эвристический вариант параметрического метода. Так как подобный подход предполагает широкое привлечение знаний и умений пользователя в процессе применения метода, то это позволяет существенно упростить его базу. Например, следующим образом. Все элементы базы эвристического варианта параметрического метода описываются только по одному признаку — «удовлетворять требованиям ФП...». А признак «выполнять функцию...» определяется пользователем в результате анализа производных систем на предмет однофункциональности с исходной системой.

Теперь, когда известны все основные компоненты концепции параметрического метода, можно определить последовательность его операций, правда, пока на «уровне схемы».



где S_0 — исходная система, ММ — математическая модель S_0, $(П_1, П_2)$ — противоречивые показатели, Ψ — физическое противоречие, $\{O^*\}$ — база эвристического варианта параметрического метода, ФС — функциональная структура S_0, $\{S\}'$ — множество производных систем, $\{S^F\}$ — множество систем, однофункциональных с исходной, $\{S\}$ — искомое множество систем.

Рис. 3.7. Блок-схема параметрического метода

Главная трудность, возникающая при практической реализации данного метода, состоит в формировании его базы—мно-

Думается, сказанного достаточно для того, чтобы читатель получил развернутое представление как об общих свойствах ФП, так и о конкретных формах их проявления в технике. Теперь необходимо выяснить, как факт наличия у некоторых систем ФП поможет нам повысить направленность функционального метода.

Ответ на этот вопрос в неявном виде присутствует в определении ФП. Если использовать его в качестве исходной посылки, то можно доказать следующее утверждение.

УТВЕРЖДЕНИЕ 1

«Пусть дана исходная система S_0, показатель качества которой определяется через показатели $П_1$ и $П_2$, причем по отношению к этим показателям и параметру P сформулировано физическое противоречие Ψ.

В результате замены элемента $Э$ исходной системы S_0, который характеризуется параметром P, на объект O, удовлетворяющий требованиям физического противоречия Ψ, получена производная система S.

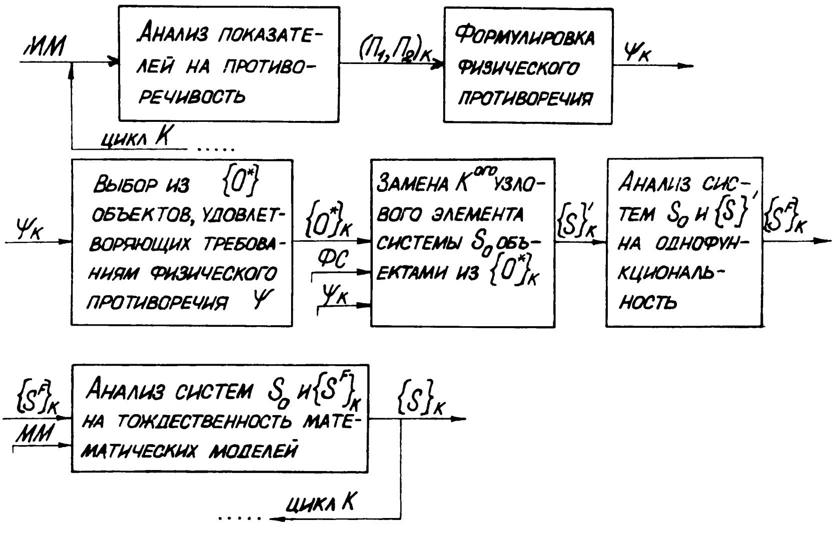
Тогда, если структуры математических моделей систем S и S_0 тождественны, то показатель качества системы S больше аналогичной характеристики системы S_0».

Входящее в это утверждение условие тождественности структур математических моделей исходной и производной систем означает, что все функции первой модели можно свести к соответствующим функциям второй модели. Для проверки выполнимости данного условия обычно используются эквивалентные преобразования алгебраических выражений, пример которых будет приведен ниже (см. с. 116).

Используя выше сказанное, можно модифицировать функциональный метод и довести его направленность до максимума — до 1. Действительно, разделим множество систем $\mathfrak{S}$, являющееся базой данного метода, не только по функциональным свойствам, как это показано на рис. 2.2., но и по свойствам «удовлетворять требованию различных физических противоречий $\Psi_1, ..., \Psi_j$». В общем случае подобные свойства будут присущи только части систем из множества $\mathfrak{S}$. Всех их можно распределить по подмножествам $\mathfrak{S}_1', ..., \mathfrak{S}_j'$. Следовательно, часть систем множества $\mathfrak{S}$ будут входить одновременно как в одно из подмножеств $\mathfrak{S}_1, ..., \mathfrak{S}_i$, так и в одно из подмножеств $\mathfrak{S}_1', ..., \mathfrak{S}_j'$. Пусть по отношению к некоторому элементу исходной системы S_0, выполняющему функцию f_i, сформулировано физическое противоречие Ψ_j. Заменим этот узловой элемент системой, входящей как в подмножество $\mathfrak{S}_i$, так и в подмножество $\mathfrak{S}_j'$. В результате будет получена производная система S. Если структуры математических моделей систем S и S_0 тождественны, то согласно теореме 1 показатель качества системы S будет больше аналогичной характеристики S_0. Следовательно, функциональный метод, работающий в рамках данной схемы, является направленным. Подобного рода разновидность функционального метода в дальнейшем будет называться *параметрическим методом.*

В общем случае его базу образуют системы, выполняющие ту или иную функцию и удовлетворяющие требованиям какого-либо ФП. Как уже говорилось выше, в этой книге будет рассматриваться эвристический вариант параметрического метода. Так как подобный подход предполагает широкое привлечение знаний и умений пользователя в процессе применения метода, то это позволяет существенно упростить его базу. Например, следующим образом. Все элементы базы эвристического варианта параметрического метода описываются только по одному признаку — «удовлетворять требованиям ФП...». А признак «выполнять функцию...» определяется пользователем в результате анализа производных систем на предмет однофункциональности с исходной системой.

Теперь, когда известны все основные компоненты концепции параметрического метода, можно определить последовательность его операций, правда, пока на «уровне схемы».



где S_0 — исходная система, ММ — математическая модель S_0, $(П_1, П_2)$ — противоречивые показатели, Ψ — физическое противоречие, $\{O^*\}$ — база эвристического варианта параметрического метода, ФС — функциональная структура S_0, $\{S\}'$ — множество производных систем, $\{S^F\}$ — множество систем, однофункциональных с исходной, $\{S\}$ — искомое множество систем.

Рис. 3.7. Блок-схема параметрического метода

Главная трудность, возникающая при практической реализации данного метода, состоит в формировании его базы—множества {O^*}. Действительно, как найти объекты, удовлетворяющие требованиям всевозможных физических противоречий?

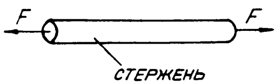
Прежде чем мы приступим к поиску ответа на этот непростой вопрос, необходимо научиться применять на практике правила выявления и описания ФП. На это и нацелены приводимые ниже упражнения.

УПРАЖНЕНИЯ

3.1. Преобразуйте, если это возможно, следующие тексты в полные и краткие формулы ФП.

1). Известны тепловые двигатели, работающие на эффекте теплового расширения твердого тела, например, металлического стержня. Очевидно, что для увеличения числа оборотов такого двигателя длина металлического стержня должна быть как можно больше, а для уменьшения габаритов двигателя наоборот — как можно меньше.

2). Увеличение допустимого значения силы F, растягивающей стержень, за счет увеличения его диаметра, приводит к уменьшению среднего по диаметру предела прочности материала стержня.



3). Очевидно, что если необходимо повысить жесткость пластины при изгибе, то это можно сделать за счет увеличения ее толщины. Однако выбор такого решения приведет к росту веса пластины, что в данном случае недопустимо.

4). Необходимо снизить потери от трения в паре вал—втулка. Условия эксплуатации данного устройства не позволяют использовать для этой цели жидкую смазку. Материалы покрытий контактирующих поверхностей вала и втулки подобраны так, что позволяют обеспечить минимальное значение коэффициента трения между ними.

5). Известно, что для предотвращения электрического контакта между проводом и опорой линии электропередачи используются стеклянные и фарфоровые изоляторы. Этим устройствам присущ один недостаток: летом в утренние часы изоляторы покрываются росой, что иногда приводит к электрическому пробою по их поверхности. Поэтому в этих случаях предлагается использовать изоляторы с черной поверхностью, что улучшает их прогрев за счет солнечного излучения (16, с. 137).

3.2. Сформулируйте ФП на основании текста ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ 1—3 (см. с. 24, 25), используя для этого следующий эвристический алгоритм.

1. Определить имя системы, по отношению к которой сформулирована проблемная ситуация.

2. Определить имена показателей системы, которые указаны в проблемной ситуации.

3. Определить функциональные зависимости между показателями системы и параметрами ее элементов, используя для этого данные проблемной ситуации.

4. Определить среди показателей пары связанных показателей.

5. Определить тип связанных показателей.

6. Определить среди пар связанных показателей — противоречивые.

7. Определить для пар противоречивых показателей соответствующие им узловые параметры и узловые элементы.

8. Сформулировать ФП по отношению к каждому узловому элементу.

ГЛАВА 4

ПРИЕМЫ УСТРАНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ

или о том, как совмещать противоположности

Наиболее очевидный подход к разработке базы параметрического метода состоит в анализе результатов устранения ФП и выявление в них объекта, удовлетворяющего его требованиям. Данный подход, правда, с учетом определенных замечаний, был реализован Г. С. Альтшуллером (см. например, работы 2 и 16). Опираясь на свою гипотезу, что любое изобретение появляется в результате устранения технического противоречия (обратная форма ФП), он проанализировал большое число авторских свидетельств (а. с.) и патентов. Полученные им сведения об объектах, удовлетворяющих требованиям ФП, представлены в форме эвристических приемов устранения технических и физических противоречий, а также, отчасти, в виде «стандартов».

У данного подхода два принципиальных недостатка, во-первых, он чрезвычайно трудоемкий. По словам Г. С. Альтшуллера, для выявления 40 приемов устранения технических противоречий потребовалось проанализировать 40 тыс. а. с. и патентов. Это очень много с точки зрения затраченных усилий, но очень мало с той точки зрения, что вне исследования остались миллионы интересных изобретений. Поэтому приходится признать, что найдена только малая часть искомых объектов.

Во-вторых. Даже если описанный выше подход реализовать в полном объеме, т. е. проанализировать все существующие а. с. и патенты, то все равно будут найдены далеко не все объекты, удовлетворяющие требованиям ФП. Действительно, ведь вне поля поиска оказываются те из них, которые не использовались в формулах изобретений, но тем не менее удовлетворяют требованиям каких-либо ФП. Очевидно, что с помощью этих объектов можно было бы сделать наиболее оригинальные изобретения, но данный подход в принципе не позволяет их выявить. Все это заставляет пересмотреть «поисковый образ» объектов, удовлетворяющих требованиям ФП. В качестве этого «образа» необходимо использовать какую-либо другую характеристику, присущую всем подобным объектам.

Такого рода характеристику нетрудно «вывести» из определения ФП и того факта, что любой объект характеризуется конечным числом свойств (9). Если принять эти утверждения в качестве исходных, то можно доказать следующее утверждение.

УТВЕРЖДЕНИЕ 2

«Любой объект, характеризующийся хотя бы двумя однотипными свойствами, удовлетворяет требованиям соответствующего физического противоречия».

Проверим правильность данного утверждения на ряде конкретных примеров. В результате выполнения упражнения 3.1. могут быть получены следующие краткие формулы ФП.

1) «Длина металлического стержня должна быть как можно больше и как можно меньше».

2) «Диаметр стержня должен быть как можно больше и как можно меньше».

3) «Толщина пластины должна быть как можно больше и как можно меньше».

Требованиям первого ФП удовлетворяет такой объект как спираль — она характеризуется двумя линейными размерами: общей длиной и габаритом поперечного сечения. Во втором случае подходит такой объект как трос — его диаметр значительно больше диаметра составляющих его проволочек. И наконец, гофрированная пластина — она характеризуется как бы двумя толщинами: толщиной листа, из которого сделана пластина, и высотой гофр.

Нетрудно проверить, что включение этих объектов в соответствующие исходные системы вместо узловых элементов позволит устранить указанные выше проблемы (см. упр. 3.1. 1÷3).

В дальнейшем такого рода объекты будут называться *объектами с парными свойствами.* В утверждении 2 говорится, что любой объект с парными свойствами удовлетворяет требованиям какого-нибудь ФП. Следовательно, база параметрического метода представляет собой множество объектов с парными свойствами.

Основываясь на этом факте можно координально сменить область поиска элементов базы параметрического метода. Их лучше искать не в формулах изобретений, а среди результатов физических исследований, т. к. в этом случае мы сможем найти все известные на данный момент времени объекты, удовлетворяющие требованиям ФП.

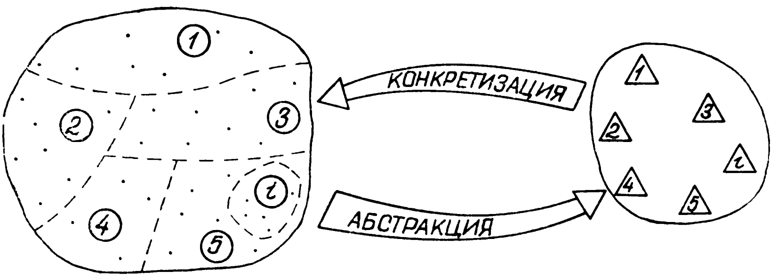
Форма представления результатов такого поиска также будет отличаться от приемов устранения технических противоречий и «стандартов». Это объясняется тем, что наличие тех или иных свойств у конкретного объекта определяется условиями, в которых он находится. Последние представляют собой совокупность отношений данного объекта с другими, окружающими его объектами. Поэтому в описании объекта с парными свойствами указываются как сами эти свойства, так и условия их реализации. Одна из возможных форм подобных описаний приводится ниже.

«⟨O⟩ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ⟨C1, C2⟩ ПРИ УСЛОВИИ, ЧТО ⟨U⟩,

где O — естественноязыковое имя объекта или системы, C1, C2 — соответственно символические имена 1-го и 2-го свойства, U — естественноязыковое описание условий реализации парных свойств C1, C2 у объекта O.

В дальнейшем массив объектов с парными свойствами, которые имеют такого рода описания, будут называться массивом типа *A*, или просто массивом *A*. Предварительные оценки показывают, что для успешного решения широкого круга поисковых задач массив такого типа должен содержать около 1000 описаний, для размещения которых потребовался бы весь объем этой книги. Поэтому здесь приводится лишь фрагмент подобного массива (см. приложение 1), позволяющий получить более конкретное представление о его содержании, а для устранения ФП используется массив другого типа. В описании образующих его объектов не учитывается тип парных свойств и тип объектов — носителей этих свойств. В дальнейшем такого рода массив будет называться массив типа *B*, или просто массив *B*.

Очевидно, что массивы *A* и *B* имеют между собой определенную связь. Если бы нам был известен массив *A*, то проклассифицировав его элементы путем абстрагирования («отбрасывания») от типов парных свойств и их носителей, мы получим массив *B*.



где - - - — границы классов элементов массива *A*, · — элемент массива, *A*, △ — элементы массива *B* (классы элементов массива *A*), 1, ..., *i* — номера элементов массива *B*.

Рис. 4.1. Взаимосвязь массивов объектов с парными свойствами различных типов.

Очевидно, что массив *B* будет значительно компактнее. Однако использование элементов этого массива в качестве непосредственной замены узловых элементов исходной системы невозможно в виду различия в уровне конкретности их описаний.

Для того, чтобы такую замену осуществить, необходимо конкретизировать описание элементов массива *B* до уровня описания элементов массива *A*, т. е. выполнить процедуру, обратную абстрагированию (см. рис. 4.1.). Если бы нам был известен массив *A*, то процедура конкретизации была бы строго формальной и ее выполнение не представляло бы какой-либо сложности. Однако в нашем случае содержание этого массива неопределенно, поэтому указанная выше процедура конкретизации носит творческий, или как иногда говорят, эвристический характер. Ее основой является поиск человеком объектов, которые подобны элементам массива B, выполняющим в этом случае роль «поискового образа».

Из сказанного ясно, как используются элементы последнего массива при решении поисковых задач, однако непонятно, где и как их искать. Очевидно, что использовать для этого результаты физических исследований, как в случае с массивом A, бессмысленно. Поэтому для определения элементов массива B предлагается воспользоваться обратным подходом — получить их описание из ряда очевидных фактов в рамках фиксированных ограничений.

К последним относится следующее. Во-первых, желательно, чтобы входящие в массив объекты с парными свойствами были предельно простыми. Во-вторых, среди всех отношений, которые могут существовать между двумя объектами, ограничимся рассмотрением лишь несовместимых между собой пространственных, временных отношений и отношения часть—целое.

Тогда, исходя из очевидного факта, что любая система характеризуется парными свойствами, если хотя бы два ее элемента характеризуются однотипными свойствами, можно доказать следующее утверждение.

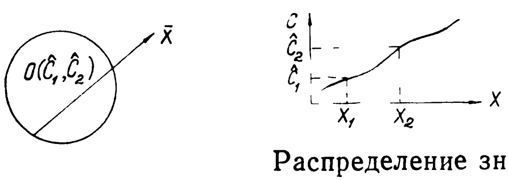
УТВЕРЖДЕНИЕ 3

«Массив объектов с парными свойствами типа B состоит из шести систем ($S_1, ..., S_6$)».

Естественноязыковое и графическое описания этих систем приводится ниже.

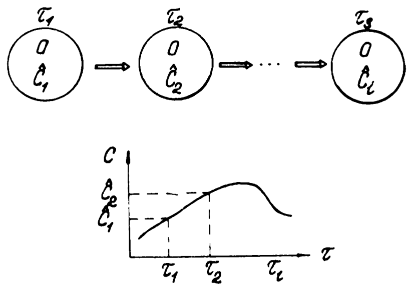
Система S_1 состоит из одного элемента (объект O), который характеризуется двумя однотипными свойствами (С1, С2).

Система S_2 состоит из одного элемента (объект O), который характеризуется свойством С, имеющим пространственное распределение значений.



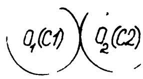
Распределение значений свойства С по вектору $\bar{X}$.

Система S_3 состоит из одного элемента (объект O), который характеризуется свойством С, имеющим временное распределение значений.

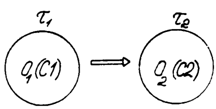


Распределение значений свойства С во времени.

Система S_4 состоит из двух, находящихся в пространственном отношении, элементов (объекты O_1, O_2), которые характеризуются однотипными свойствами (C1, C2).

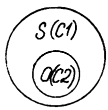


Система S_5 состоит из двух, находящихся во временном отношении объектов (O_1, O_2), которые характеризуются однотипными свойствами (C1, C2).



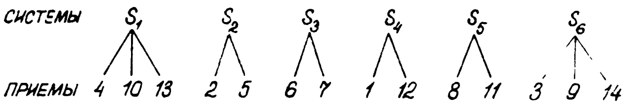
где τ_1, τ_2 — два различных момента времени; O_1, O_2 — например, две различные фазы вещества.

Система S_6 — любая система (S), которая характеризуется таким же свойством (C), как один из ее элементов (O).



С точки зрения использования наиболее удобной формой представления элементов массива *B* являются так называемые эвристические *приемы устранения физических противоречий.*

Их число значительно превышает число элементов массива *B*. Это объясняется тем, что «превратить» узловой элемент в объект с парными свойствами можно не только за счет его замены на тот или иной элемент массива *B*, но и за счет изменения условий, в которых находится узловой элемент. С учетом всех возможных способов «преобразований» узлового элемента можно получить 30 приемов устранения ФП. Однако из этих «теоретически возможных» приемов только 18 имеют самостоятельную ценность. В данной же работе представлены лишь те из них, которые подтвердили свою эффективность на практике. Эти приемы соотносятся с элементами массива *В* следующим образом.



Ниже будут приведены описания приемов устранения ФП и примеры, поясняющие их практическое применение.

Во всех этих примерах указываются два типа решений: *принципиальное* и *техническое*. Первое из них получается путем подстановки в текст соответствующих приемов вместо переменных вида: «узловой элемент», «узловой параметр» — их конкретных значений из формулы ФП. Техническое решение получается из принципиального за счет конкретизации значений ряда параметров объекта с парными свойствами, включенного в состав исходной системы, или за счет уточнения изменений условий функционирования узлового элемента. Такая двухстадийная конкретизация позволяет без особых сложностей преобразовать объект с парными свойствами типа *В* в аналогичный объект типа *А* (см. рис. 4.1.).

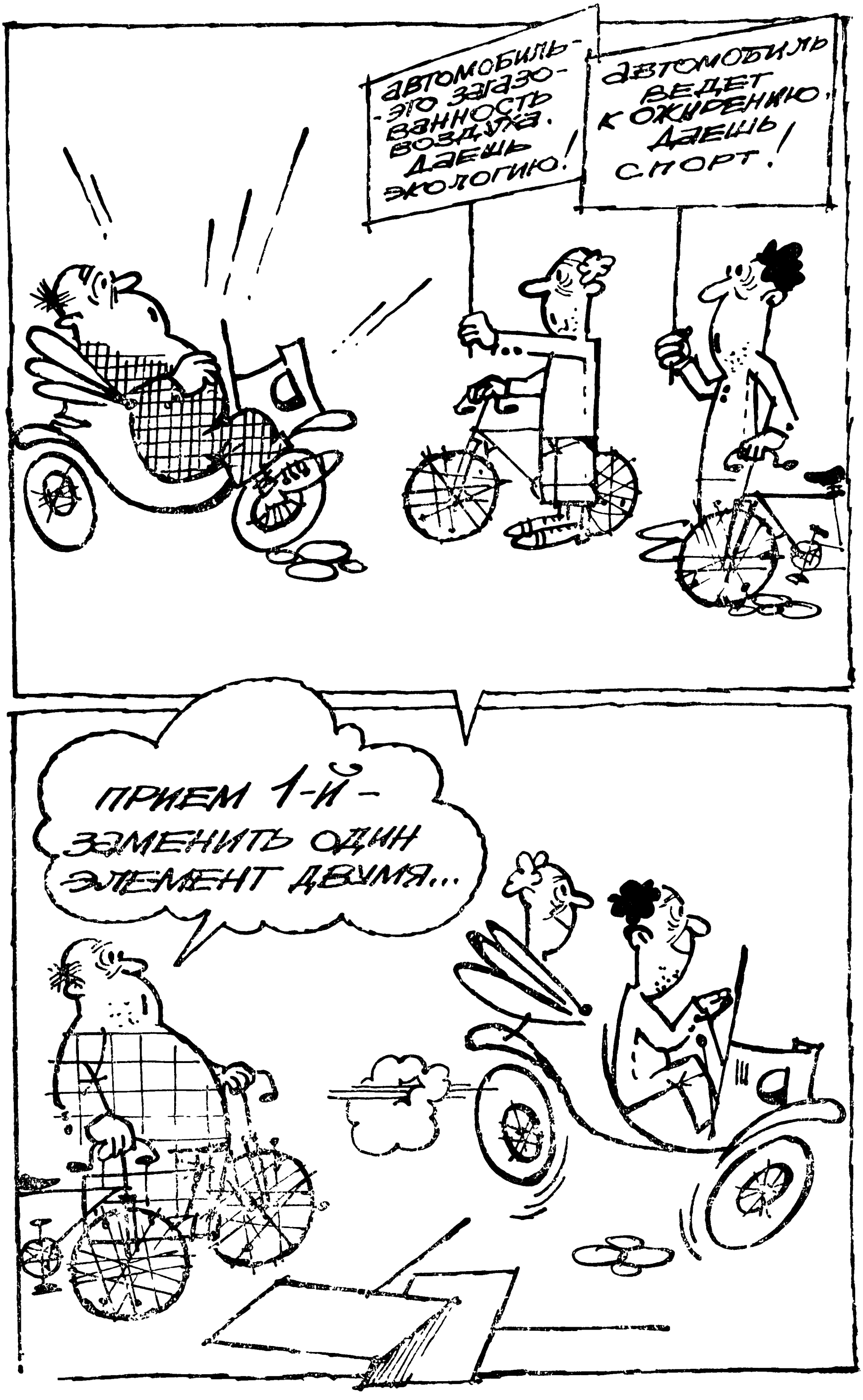
В некоторых случаях подбор подобных примеров вызвал затруднение. Поэтому для части приемов в качестве иллюстраций возможности их использования на практике проводится описание конкретных объектов с парными свойствами — соответствующих элементов массива *А*.

Кроме этого следует отметить, что, во-первых, приемы в приводимом ниже перечне расположены не случайным образом, а в соответствии со следующим экспертным правилом: «Чем меньше номер приема, тем выше вероятность с его помощью устранить ФП». Во-вторых, в тех приемах, которые направлены на замену узлового элемента (пр. 1÷4, 7÷10, 13) или изменение уровня его рассмотрения (пр. 14), неявно предполагается, что условия, в которых находятся данный и новый элемент исходной системы, совпадают.

ПРИЕМ 1. Заменить узловой элемент системой, состоящей из двух элементов, каждый из которых характеризуется одним из значений параметра, указанного в формуле физического противоречия.

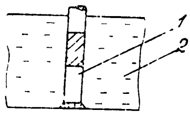
Известна силовая конструкция 1, изготовленная из коррозионностойкого материала и работающая в агрессивной среде 2. Она характеризуется такими показателями как длительность эксплуатации и стоимость.

К ПРИЕМУ 1


АВТОМОБИЛЬ - ЭТО ЗАГАЗОВАННОСТЬ ВОЗДУХА. ДАЕШЬ ЭКОЛОГИЮ!
АВТОМОБИЛЬ ВЕДЕТ К ОЖИРЕНИЮ, ДАЕШЬ СПОРТ!
ПРИЕМ 1-Й - ЗАМЕНИТЬ ОДИН ЭЛЕМЕНТ ДВУМЯ...

Если принять в качестве узлового элемента (УЭ) — силовую конструкцию, а в качестве узлового параметра (УП) — тип материала, из которого она изготовлена, то можно сформулировать следующее ФП.

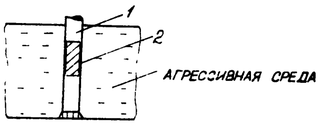
«Силовая конструкция должна быть изготовлена из материала типа К (коррозионностойкий материал), что позволит увеличить длительность ее эксплуатации; силовая конструкция должна быть изготовлена из материала типа *Д* (некоррозионностойкий материал), что позволит уменьшить ее стоимость».



Устранение ФП

Принципиальное решение. Заменить силовую конструкцию, изготовленную из коррозионностойкого материала, на конструкцию 1, изготовленную из «дешевой» стали, но имеющую коррозионностойкое покрытие, например, слой краски 2.

Техническое решение



ПРИЕМ 2. Заменить узловой элемент объектом, различные части которого имеют различные значения параметра, указанного в формуле физического противоречия.

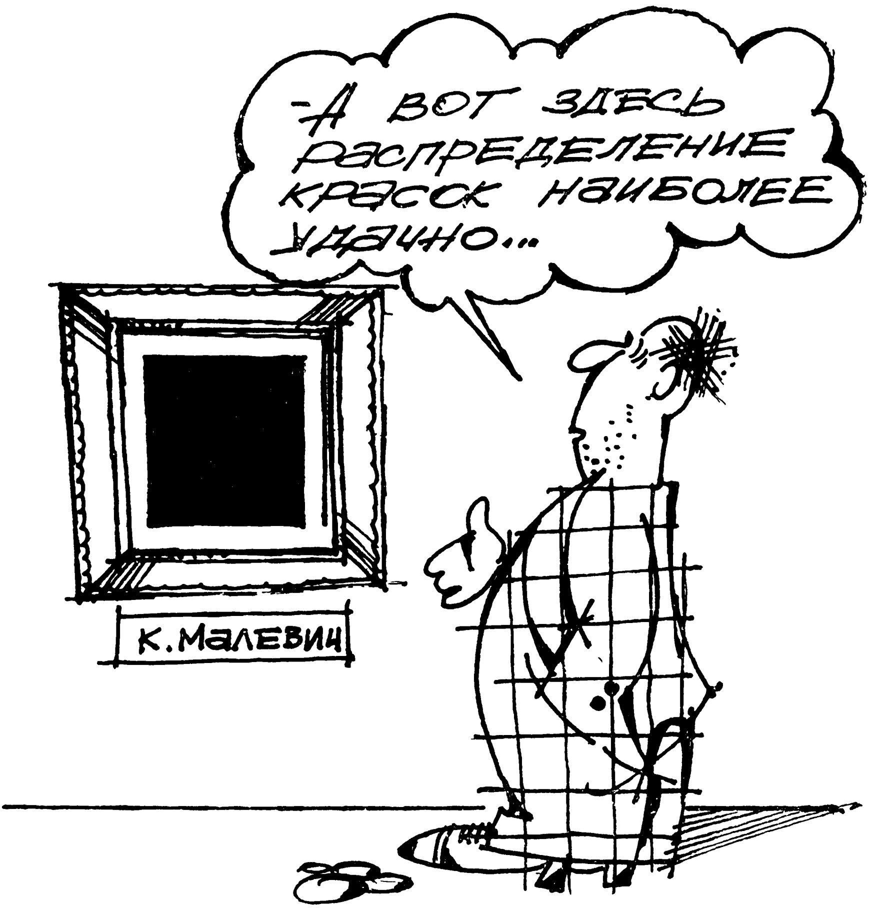
Одним из основных элементов многих силовых конструкций является консольно закрепленная балка 1. Ее функция состоит в передаче к опоре фиксированной нагрузки.

Такого рода силовой элемент среди прочего характеризуется такими показателями как величина передаваемой нагрузки — F и вес.

Если принять в качестве УЭ данный силовой элемент, а площадь его поперечного сечения принять за УП, то можно сформулировать следующее ФП.

«Площадь поперечного сечения балки должна быть равна S^*, что позволит обеспечить передачу нагрузки величиной F; площадь поперечного сечения балки должна быть как можно меньше, что позволит уменьшить ее вес ($S=\pi d^2/2$).

К ПРИЕМУ 2

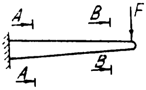


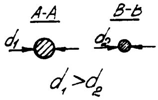
-А вот здесь распределение красок наиболее удачно...
К. Малевич

Устранение ФП

Принципиальное решение. Заменить балку, имеющую во всех частях постоянную площадь поперечного сечения, на балку с переменной по длине площадью поперечного сечения.

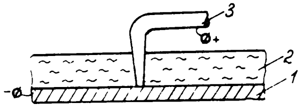
Техническое решение





ПРИЕМ 3. Заменить узловой элемент системой, состоящей из множества одинаковых элементов, каждый из которых характеризуется одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а система в целом — другим значением.

Для подвода электрического тока к металлической пластине 1 через диэлектрическую ткань 2 используется электрошина 3, выполненная в форме иглы.



Эта система характеризуется такими показателями как сила тока, протекающего по электрошине, и степень повреждения диэлектрической ткани.

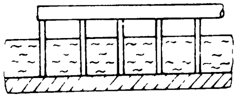
Если принять в качестве УЭ электрошину, а в качестве УП — площадь контакта между ней и пластинкой, то можно сформулировать следующее ФП.

«Площадь контакта должна быть как можно больше, что позволит увеличить силу тока, протекающего по электрошине; площадь контакта должна быть как можно меньше, что позволит уменьшить степень повреждения диэлектрической ткани».

Устранение ФП

Принципиальное решение. Заменить электрошину, состоящую из одной иглы на электрошину, состоящую из множества игл значительно меньшего диаметра.

Техническое решение



Суммарная площадь электрического контакта отдельных игл с пластинкой может значительно превышать аналогичную характеристику исходной системы.

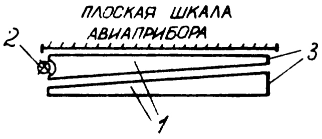
К ПРИЕМУ 3

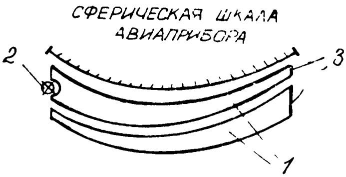

ВЫ ПРОСИЛИ ЭКСКАВАТОР? ВЫСЫЛАЕМ ЛОПАТЫ. СУММАРНАЯ ПЛОЩАДЬ ИХ ШТЫКОВ БОЛЬШЕ ЭКСКАВАТОРНОГО КОВША.

ПРИЕМ 4. Заменить узловой элемент объектом, который характеризуется двумя параметрами, аналогичными узловому параметру, каждый из которых имеет одно из значений, указанных в формуле физического противоречия.

Известна система, предназначенная для подсветки плоских шкал авиаприборов. Она состоит из световода, составленного из 2-х плоских клиньев 1, источника света 2 и зеркал 3.

По аналогии с ней была предложена система подсветки сферических шкал авиаприборов.





Последняя система подсветки позволяет получить равномерное освещение сферической шкалы, но при этом возникают оптические искажения при считывании пилотом показаний этих приборов. У прототипа подобного недостатка нет.

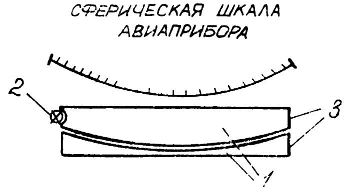
Если в последней системе принять в качестве УЭ световод, а его сферический радиус — в качестве УП, то можно сформулировать следующее ФП.

«Сферический радиус световода должен быть равен бесконечности (радиус плоскости), что позволит считывать показания прибора без оптических искажений; сферический радиус должен быть равен радиусу шкалы прибора, что позволит обеспечить равномерность ее освещения».

Устранение ФП

Принципиальное решение. Заменить световод, используемый в исходной системе, на световод, который характеризуется двумя сферическими радиусами, один из которых равен бесконечности, а другой — радиусу шкалы прибора.

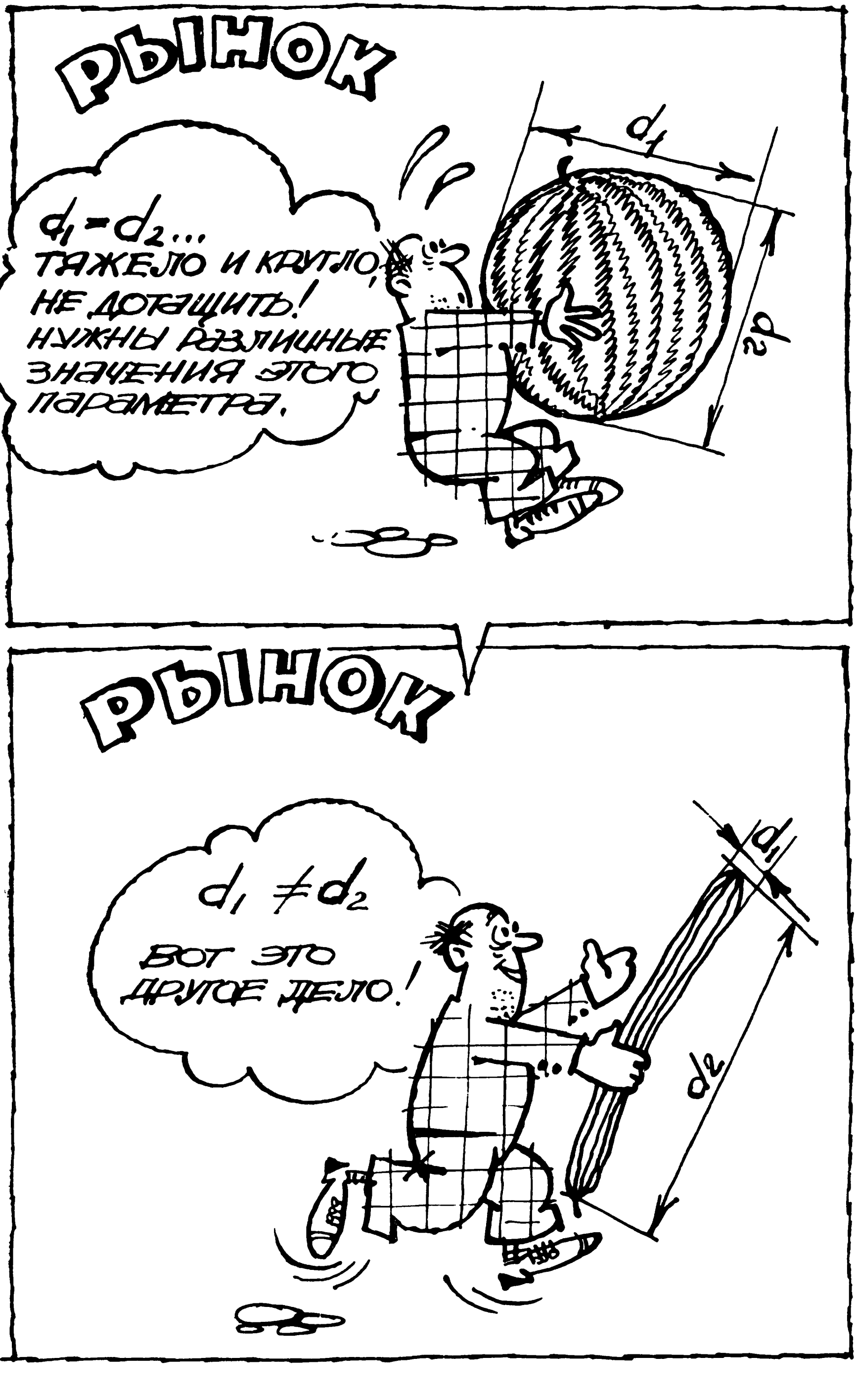
Техническое решение



где 1 — световод, 2 — источник света, 3 — зеркало.

ПРИЕМ 5. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы его различные части имели

К ПРИЕМУ 4



РЫНОК
d_1
d_2
$d_1 = d_2$... ТЯЖЕЛО И КРУГЛО, НЕ ДОТАЩИТЬ! НУЖНЫ РАЗЛИЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭТОГО ПАРАМЕТРА.
РЫНОК
d_1
d_2
$d_1 \neq d_2$
ВОТ ЭТО ДРУГОЕ ДЕЛО!

К ПРИЕМУ 5


ТИПИЧНЫЙ ОБЪЕКТ С ПАРНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ... ИНТЕРЕСНО, ЗАКАЛКА ИДЕТ ТОЛЬКО СНАРУЖИ, БЕЗ СЕРДЦЕВИННОЙ ЧАСТИ?

различные значения параметра, указанного в формуле физического противоречия.

Известно, что за счет переменного магнитного поля в проводнике может быть индуцирован переменный электрический ток. Если к тому же это поле высокочастотное, то ток наводится только в тонком поверхностном слое проводника (скин-эффект (17, с. 690)). Это позволяет нагреть поверхность проводника до высокой температуры, не меняя температуру его «сердцевины»; тем самым получается объект с парной температурой.

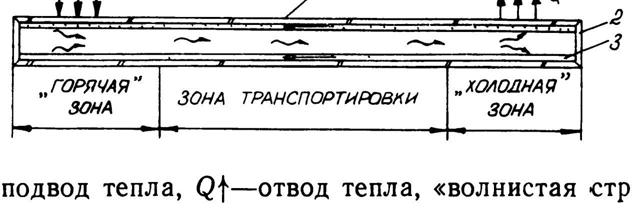
Данный эффект широко используется в тех случаях, когда требуется закалить только поверхность детали, что связано с необходимостью устранить следующее ФП.

«Температура детали должна быть равна T_1, что позволит закалить ее поверхность, температура детали должна быть равна T_0, что позволит предотвратить закалку «сердцевинной» части детали». Здесь T_1 — температура детали, необходимая для закалки, T_0 — температура окружающей среды.

ПРИЕМ 6. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы на различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной системы он характеризовался различными значениями параметра, указанного в формуле физического противоречия.

Подробнее о стадиях и фазах жизненного цикла системы рассказывается на с. 77.

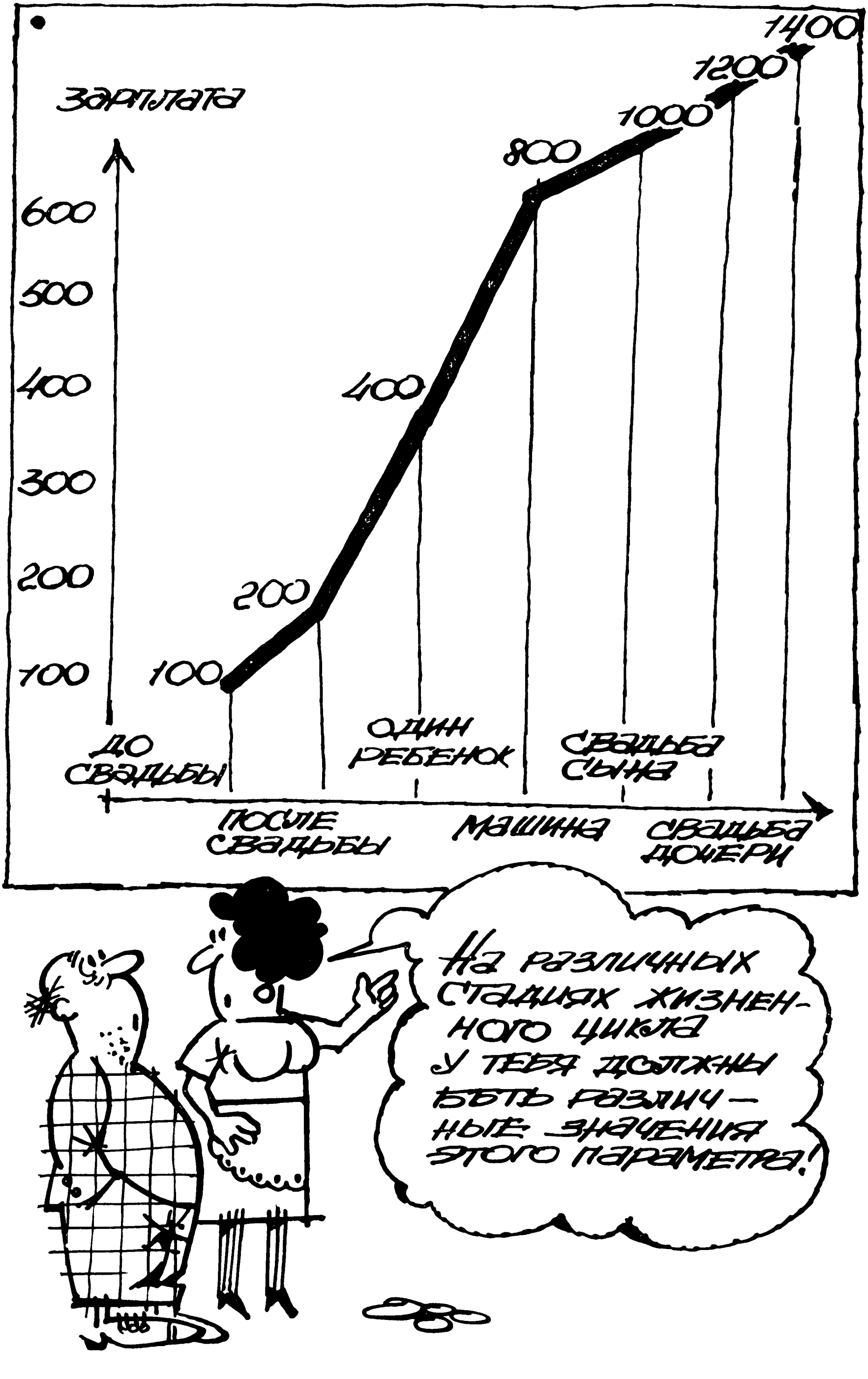
В некоторых случаях для отвода тепла от космической энергетической установки целесообразно использовать холодильник-излучатель, представляющий набор жидкометаллических тепловых труб (ТТ). Каждая из них состоит из корпуса 1, торцевых заглушек 2, фитиля 3, «пропитанного» легкоплавким металлом, например, натрием. Для обеспечения работоспособности ТТ из ее внутренней полости откачивается воздух до высокой степени вакуума.



где $Q\downarrow$—подвод тепла, $Q\uparrow$—отвод тепла, «волнистая стрелка»— поток паров натрия, $\rightarrow$ — поток жидкого натрия.

При выведении энергоустановки в космическое пространство ТТ подвергаются вибрационным, инерционным и акустическим воздействиям. Это иногда приводит к потере устойчивости герметического корпуса («схлопыванию») у части тепловых труб. Данный неприятный эффект можно устранить либо за счет утолщения стенок корпуса ТТ, либо за счет поддува всех

К ПРИЕМУ 6



зарплата
600
500
400
300
200
100
100
200
400
800
1000
1200
1400
до свадьбы
после свадьбы
один ребенок
машина
свадьба сына
свадьба дочери
На различных стадиях жизненного цикла у тебя должны быть различные значения этого параметра!

ТТ газом, например гелием, с давлением чуть больше атмосферного.

Если принять в качестве УЭ гелий, находящийся во внутренней полости ТТ, а в качестве УП — его давление, то для последнего способа защиты ТТ от «схлопывания» можно сформулировать следующее ФП.

«Давление газа должно быть близко к нулю, что позволит обеспечить работоспособность ТТ; давление газа должно быть несколько больше 1 ат, что позволит предотвратить ее «схлопывание».

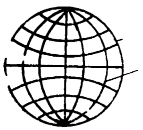
Устранение ФП

Принципиальное решение. Изменить условия функционирования гелия во внутренней полости ТТ таким образом, чтобы в период выведения энергоустановки в космическое пространство его давление было чуть больше 1 ат, а перед началом работы — близко к нулю.

Техническое решение. На торце каждой ТТ устанавливается устройство, позволяющее «выпускать» гелий из внутренней полости в космическое пространство (подробнее см. на с. 72).

ПРИЕМ 7. Заменить узловой элемент объектом, который на различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной системы характеризуется различными значениями параметра, указанного в формуле физического противоречия.

Известна трансформируемая космическая антенна, состоящая из сферической полимерной оболочки 1, в материал которой «заделана» металлическая сетка 2.



При выведении данной антенны в космическое пространство она свернута в рулон небольшого размера. На орбите во внутреннюю полость оболочки подается газ, в результате чего она разворачивается и приобретает сферическую форму. После этого газ из внутренней полости удаляется, и антенна готова к работе. Однако эта простая система имеет один трудно устранимый недостаток — под действием «солнечного ветра» антенна начинает менять свою орбиту, которая со временем из круговой становится сильноэллиптической.

Если принять в качестве УЭ оболочку, а в качестве УП — ее наличие в системе, то можно сформулировать следующее ФП.

«Оболочка должна использоваться в системе («должна быть»), что позволит обеспечить ее развертывание; оболочка не должна использоваться в системе («не должна быть»), что позволит избежать воздействия на антенну «солнечного ветра».

Устранение ФП

Принципиальное решение. Заменить оболочку, устойчивую в условиях космического пространства, на оболочку, разрушающуюся в этих условиях в течение короткого времени.

К ПРИЕМУ 7


Тебе не кажется что на Земле перепутали материал для антенны и космической станции?

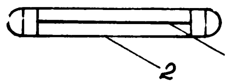
Техническое решение. Таким свойством обладает полимерная пленка, в которой под действием ультрафиолетового излучения Солнца происходит процесс деполимеризации. Если оболочка трансформируемой антенны изготовлена из такой пленки, то она в условиях околоземного космического пространства испаряется в течение короткого времени.

ПРИЕМ 8. Заменить узловой элемент объектом, который претерпевает превращение (например, фазовое) в другой объект, при этом каждый из них характеризуется одним из значений параметра, указанного в формуле физического противоречия.

В качестве конкретного примера применения данного приема можно рассматривать проводник 1 электрического предохранителя 2.

Пока величина протекающего по нему тока в пределах нормы, он имеет форму стержня. Когда же эти пределы превы-

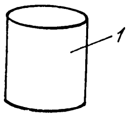
шены, то проводник плавится и превращается, чаще всего, в набор металлических шариков. Следовательно, проводник электрического предохранителя характеризуется парной формой. Это его свойство в конечном итоге позволяет устранить следующее ФП.



«Потребитель электрической энергии должен быть соединен с электросетью, что позволит обеспечить его функционирование; потребитель электрической энергии должен быть отсоединен от электросети, что позволит предотвратить его поломку в том случае, если величина протекающего в электросети тока превышает норму».

ПРИЕМ 9. Включить узловой элемент в состав системы, которая характеризуется одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а узловой элемент — другим значением.

Рассмотрим сборку ядерного топлива 1, в которой протекает цепная реакция на тепловых нейтронах.



Она характеризуется такими показателями, как количество тепла, выделяемого в результате ядерной реакции и степенью воздействия на окружающую среду.

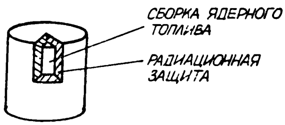
Если принять в качестве УЭ сборку ядерного топлива, а плотность потока нейтронов в ней — за УП, то можно сформулировать следующее ФП.

«Плотность потока нейтронов в сборке должна быть как можно больше, что позволит увеличить количество выделяемого тепла; плотность потока нейтронов в сборке должна быть как можно меньше, что позволит уменьшить вредное воздействие на окружающую среду».

Устранение ФП

Принципиальное решение. Включить сборку ядерного топлива в состав системы, которая в целом характеризуется низкой плотностью потока нейтронов, а сама сборка ядерного топлива — высокой плотностью потока нейтронов.

Техническое решение



ПРИЕМ 10. Заменить узловой элемент объектом, который характеризуется параметром, аналогичным узловому параметру, с таким значением, что его по отношению к различным внешним объектам можно было бы считать «различным».

Рассмотрим более подробно тепловую трубу (ТТ), внутренняя полость которой заполнена гелием (см. с. 68). Как уже говорилось, для «стравливания» этого газа в космическое пространство необходимо некоторое устройство, например клапан. Учитывая, что гелий легко проходит через любые поры и микротрещины, попробуем использовать в качестве подобного «клапана» одну из торцевых заглушек ТТ. Однако в этом случае возникает следующее ФП.

«Заглушка должна быть пористой, что позволит обеспечить выход гелия из внутренней полости ТТ; заглушка должна быть сплошной (непористой), что позволит предотвратить выход паров натрия из внутренней полости ТТ».

Устранение ФП

Принципиальное решение. Заменить заглушку, изготовленную из нержавеющей стали, на заглушку, изготовленную из материала, который по отношению к гелию являлся бы «пористым», а по отношению к парам натрия — «сплошным».

Техническое решение. Таким свойством обладает заглушка, изготовленная из паладия.

ПРИЕМ 11. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы он превратился (например, за счет фазового перехода) в другой объект, причем перед превращением он характеризовался бы одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а после превращения — другим значением.

Известно, что ряд жидкостей при охлаждении до определенной температуры замерзает и превращается в твердое тело. Если жидкость обладает текучестью, то твердое тело подобным свойством не обладает (другими словами, его текучесть равна нулю). Тем самым получается объект с парной текучестью: текучесть больше нуля и нуль. Подобный эффект может быть использован при замене аварийного участка трубопровода в тех случаях, когда слив перекачиваемого по нему теплоноси-

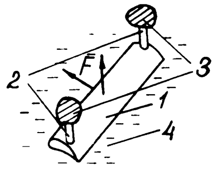
теля нежелателен. При этом приходится устранять следующее ФП.

«Теплоноситель должен быть «жидким», что позволит перекачивать его по трубопроводу; теплоноситель должен быть «твердым», что позволит предотвратить его утечку при ремонте трубопровода».

ПРИЕМ 12. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы одна из его частей претерпевала превращения (например, за счет фазового перехода) в другой объект, который характеризуется одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а оставшаяся часть узлового элемента — другим значением.

Некоторые речные и морские суда оборудованы подводным крылом. Оно состоит из собственно крыла 1 и силовых конструкций 2, соединяющих его с корпусом судна 3. При движении крыла в воде 4 на него действует подъемная сила F, которая через силовые конструкции передается судну.

Желательно увеличивать скорость движения крыла относительно воды. Однако это приводит к его разрушению под действием кавитационных процессов, которые в этом случае развиваются на его поверхности.



Если принять в качестве УЭ воду, обтекающую крыло, а в качестве УП — ее скорость относительно крыла, то можно сформулировать следующее ФП.

«Относительная скорость воды должна быть как можно больше, что позволит увеличить подъемную силу F; относительная скорость воды должна быть как можно меньше, что позволит уменьшить степень разрушения крыла».

Устранение ФП

Принципиальное решение. Изменить условия течения воды относительно крыла таким образом, чтобы тот ее слой, который непосредственно взаимодействует с крылом, имел бы низкую скорость, а остальная ее часть — высокую.

Техническое решение. Поверхность крыла охлаждается до температуры ниже 0°C. В результате этого вода, обтекающая крыло, замерзает и образует на его поверхности тонкую корку льда («вода с нулевой скоростью»), защищающую крыло от разрушения.

ПРИЕМ 13. Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы он характеризовался двумя различными параметрами, аналогичными узловому параметру, каждый из которых имел бы одно из значений, указанных в формуле физического противоречия.

Некоторые изотропные оптические тела (в том числе полимеры) при одноосном сжатии или растяжении приобретают свойства оптически одноосных кристаллов. В результате этого при различных направлениях наблюдения они имеют в проходящем свете различную окраску (явление дихроизма (17, с. 176)). Следовательно, после изменения условий деформации подобные твердые тела превращаются в объекты с парным цветом.

ПРИЕМ 14. Рассмотреть узловой элемент как систему, которая характеризуется одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а один из ее элементов — другим значением.

Известно, что плазма характеризуется как общей температурой, так и температурой составляющих ее компонентов, например, электронов («электронного газа»). Температура последнего в некоторых случаях может быть значительно выше температуры плазмы в целом. Следовательно, плазму можно рассматривать как объект с парной температурой.

К ПРИЕМУ 12

Теперь несколько слов о том, как использовать данный перечень эвристических приемов на практике. Очевидно, что самым простым способом являлся бы последовательный просмотр всех 14-ти приемов с целью выбора тех из них, которые подходят для устранения конкретного ФП. Однако производительность данного способа невелика. Ее можно повысить, если учитывать при выборе приемов особенности устраняемого ФП, которые зафиксированы в его формуле, или какие-либо другие практические соображения. В настоящее время данная идея реализована еще не в полном объеме; выявлено лишь несколько правил, позволяющих упорядочить и ограничить перебор приемов устранения ФП.

К ПРИЕМУ 13

Вот эти правила.

1. Если указанные в формуле ФП показатели характеризуют исходную систему на различных стадиях и фазах жизненного цикла, то лучшие результаты дает применение *приемов устранения ФП «во времени»* — приемы 6, 7, 8, 11.

К *стадиям жизненного цикла* относятся: изготовление, транспортировка, хранение, комплектация, функционирование, ремонт, утилизация и т. п. Любая стадия жизненного цикла может быть разделена на ряд характерных частей — *фаз* (в качестве примера см. рис. 1.4.).

2. Если указанные в формуле ФП показатели одновременно присущи исходной системе, то лучшие результаты дает приме-

К ПРИЕМУ 14

нение *приемов устранения ФП «в пространстве»* — приемы 1, 2, 5, 12.

3. Если по условиям поисковой задачи замена узлового элемента недопустима, то лучшие результаты дает применение *приемов «изменения условий»* — приемы 5, 6, 9, 11, 12, 13.

4. Если требования к узловому элементу сформулированы с точки зрения различных внешних объектов или, исходя из различных систем отсчета, то наилучшие результаты дает применение *приемов устранения ФП «в отношениях»* — приемы 10, 14.

5. Если требуется получить наиболее простое решение поисковой задачи, то наилучшие результаты дает применение приемов 3, 4 и 10.

В заключение необходимо сказать, что некоторые из приведенных здесь приемов были известны и раньше. Так же как и приемы устранения технических противоречий (см. с. 52), они были получены за счет обобщения результатов анализа авторских свидетельств и патентов. Например, в 1-ой и 2-ой книге данной серии приведены приемы устранения ФП, которые близки по своей сути к приемам 1, 3, 6, 7, 9, 10 и 11.

Прежде чем продолжить дальнейшую конкретизацию блок-схемы параметрического метода (см. рис. 3.7.), надо подробнее рассмотреть процедуру постановки поисковой задачи 3-го типа, т. к. для некоторых пользователей выполнение данной процедуры вызывает значительные затруднения. Это объясняется тем, что тексты большинства встречающихся на практике проблемных ситуаций не содержат в явном виде математических моделей исходных систем. Следовательно, в подобных случаях для постановки поисковой задачи 3-го типа необходимо эти модели построить. Но такая процедура не входит, и в общем-то («по определению»), не должна входить в параметрический метод. Поэтому, исходя из чисто практических соображений, приводимые в этой книге варианты параметрического метода дополнены рядом операций, позволяющих упростить разработку математической модели исходной системы.

Прежде чем перейти к их изучению, целесообразно выполнить следующие *упражнения.*

4.1. Определите, как соотносятся между собой элементы массива объектов с парными свойствами (см. приложение 1) и приемы устранения ФП.

4.2. Определите, с помощью каких приемов устранения ФП могли быть получены приводимые ниже описания технических решений (производные системы) при условии, что известны описания их прототипов (исходных систем).

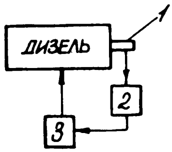
Для этого можно использовать следующий эвристический алгоритм:

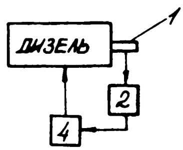
а) определите в составе производной системы новые (по отношению к исходной) элементы и отличия в ее работе;

б) определите, применение какого приема устранения ФП могло привести к подобным изменениям исходной системы.

1) Мощные дизели 50% времени работают с небольшой нагрузкой или на холостом ходу. Горючего при этом потребляется мало, а форсунки рассчитаны по режиму максимальной нагрузки. В результате 2/3 топлива не сгорает. Так как регулировать геометрию форсунок в этом случае чрезвычайно сложно, то предложено регулировать число работающих цилиндров дизеля в зависимости от нагрузки на валу.

Исходная система *Производная система*

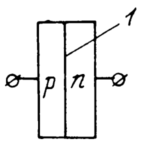


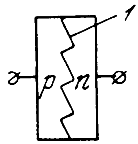


где 1 — вал дизеля, 2 — система измерения нагрузки на валу, 3 — регулятор расхода топлива, 4 — регулятор числа работающих цилиндров (18, с. 57).

2) Площадь p—n перехода диода должна быть как можно больше, что позволит увеличить его мощность; площадь p—n перехода диода должна быть как можно меньше, что позволит уменьшить его максимальный габарит. Данное ФП было устранено следующим образом.

Исходная система *Производная система*

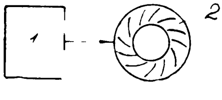


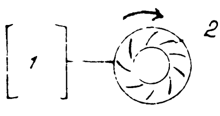


где 1 — p—n переход (а. с. № 150 938)

3) При утилизации автомобильных покрышек приходится отделять металлокорд от резины. Для увеличения производительности данного процесса желательно снизить запас прочности резины — как бы «разупрочнить» ее. Этого можно добиться, если раскрутить покрышку до больших угловых скоростей. Возникающие при этом центробежные силы способствуют ускорению процесса разрушения резины.

Исходная система *Производная система*





(а. с. № 260 874)

где 1 — система разделения резины и металлокорта, 2 — автомобильная покрышка.

4) В процессе выведения спутника, установленная на его борту аппаратура подвергается большим вибрационным на-

грузкам, что увеличивает вероятность ее отказа (исходная система). Для устранения этого недостатка аппаратура спутника заливается пенопластом. После вывода спутника в космическое пространство пенопласт испаряется, создавая тем самым необходимые условия для нормальной работы аппаратуры (производная система (патент США № 3 160 950)).

5) Предлагается использовать в учебных целях вместо карт звездного неба звездный глобус-шар, на поверхности которого нанесены точки, изображающие звезды (исходная система). Наиболее полно достоинства звездного глобуса проявляются в том случае, если наблюдатель находится внутри него. Однако это недопустимо с практической точки зрения. Поэтому предлагается сделать шар из прозрачного материала, а наблюдение вести, поднося его близко к глазам. Это позволяет видеть дальнюю полусферу шара, «не видя» ближнюю полусферу (производная система (16, с. 137)).

4.3. Используя эвристические приемы устранения ФП и массив объектов с парными свойствами (см. приложение 1), устраните ранее сформулированные ФП (см. с. 38—42), а также те, которые были получены в результате выполнения упражнений 3.1. и 3.2..

ГЛАВА 5

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

или о том, без чего не обойтись при решении практических задач с помощью параметрического метода

В первую очередь необходимо отметить, что речь в этой главе пойдет не о методах решения задачи математического моделирования (см. с. 28). В ней будет приведен ряд методических рекомендаций, которые помогут преобразовать словесную и графическую информацию о связях между показателями исходной системы и параметрами ее элементов, содержащуюся в тексте проблемной ситуации, в уравнения математической модели. Причем получаемые в результате применения данных рекомендаций модели отображают только качественную сторону указанных выше связей. На их основании можно судить лишь о направлении изменения (увеличение или уменьшение) показателей системы при том или ином изменении параметров ее элементов. Выявить же точную, количественную взаимосвязь между параметрами и показателями модели такого рода не позволяют, поэтому их принято называть *качественными*. Однако для параметрического метода такой «точности» математической модели, которая, как известно, входит в исходные данные поисковой задачи, вполне достаточно.

Здесь надо отметить, что это свойство параметрического метода дает ему в ряде случаев преимущество перед методами оптимизации систем. Известно, что последние, так же как и параметрический метод, позволяют повысить показатель качества исходной системы. Однако применение методов оптимизации возможно лишь в том случае, если предварительно определена количественно-точная математическая модель исходной системы, что значительно сложнее построения качественной модели этой же системы.

Как показывают предварительные исследования, содержание эвристической процедуры представления связей между показателями исходной системы и параметрами ее элементов в виде математической модели в основном определяется степенью полноты описания этих связей. Начнем с самого простого случая, когда известны функциональные зависимости между показателями системы и рядом параметров ее элементов. Рассмотрим один из этих показателей ($П_i$), функция которого (f_i) имеет следующий вид:

$$П_i=f_i(\{P_n\}_i), \qquad (5.1.)$$

где $\{P_n\}_i=P_1, ..., P_k$.

Предположим, что часть, из входящих в это выражение параметров в свою очередь зависит от других параметров элементов системы и может быть определена через другие математические функции. В дальнейшем подобные параметры будут называться *зависимыми*. Не нарушая общности рассуждений, примем, что в выражении 5.1. первые j параметров являются зависимыми. Предположим, что упомянутые выше функции известны и имеют следующий вид:

$$P_1=f_1(\{P_n\}_{i1})$$
$$\ldots\ldots\ldots \qquad (5.2.)$$
$$P_j=f_j(\{P_n\}_{ij}),$$

где $\{P_n\}_{i1}, ..., \{P_n\}_{ij}$ — подмножества множества всех параметров элементов системы (см. 3.1.).

Тогда, подставив последние выражения в функцию показателя Π_i, получим:

$$\Pi_i=f_i(\{P_n\}_{i1}, ..., \{P_n\}_{ij}, P_{j+1}, ..., P_k). \qquad (5.3.)$$

Очевидно, что после преобразования среди переменных функции f_i вновь могут оказаться зависимые параметры. Тогда вместо них в функцию f_i надо подставить соответствующие им функциональные зависимости. Операция подстановки повторяется до тех пор, пока в функции показателя Π_i не останутся лишь *независимые параметры*. Для того, чтобы определить, является ли тот или иной параметр независимым, можно использовать следующие признаки. К независимым параметрам относятся:

1) параметры, которые в рамках рассматриваемой ситуации нельзя определить через функциональные зависимости от других параметров элементов исходной системы;

2) параметры, характеризующие элементы исходной системы, замена которых невозможна или нежелательна.

Кроме этого в большинстве случаев к независимым параметрам относятся характеристики размеров (длина, ширина, толщина и т. п.), вес, масса, скорость, а также физико-химические свойства элементов исходной системы.

После того как подобные действия будут проведены по отношению функций всех показателей исходной системы, то процедура построения ее математической модели считается оконченной. В дальнейшем такого рода процедуры будем называть *методом подстановки*. Рассмотрим его применение на конкретном примере.

Одним из показателей фланцевого соединения трубопровода является степень его герметичности (H), которая однозначно определяется через массовый расход жидкости, просачивающейся через него в окружающий воздух (G).

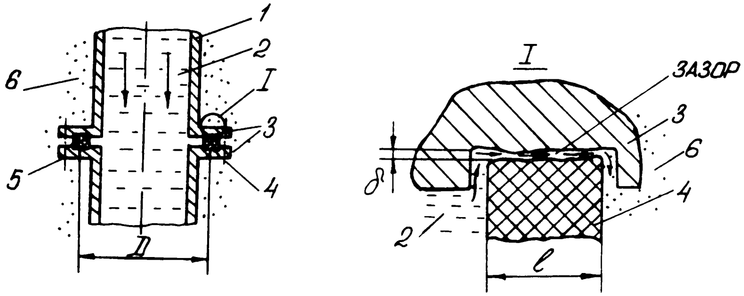
Согласно введенному выше определению степени герметичности, ее первоначальная функция имеет следующий вид:

$$H=G. \qquad (5.4.)$$

Известно, что

$$G=WS\rho, \qquad (5.5.)$$

где W — средняя скорость жидкости в зазоре между уплотнительным кольцом и поверхностью фланца, S — средняя площадь поперечного сечения зазора, ρ — плотность жидкости.



где 1 — трубопровод, 2 — транспортируемая жидкость, 3 — фланцы, 4 — уплотнительное кольцо, 5 — места установки болтовых соединений, 6 — окружающий воздух.

Рис. 5.1. Фланцевое соединение трубопровода.

На большинстве практически важных режимах работы подобных систем если и происходит течение жидкости в зазоре, то оно является ламинарным. Так как жидкость к тому же несжимаема, то ее среднюю скорость в зазоре можно определить с помощью следующего выражения.

$$W = C\frac{\delta^2 \Delta P}{S\mu l}, \tag{5.6}$$

где δ — эффективная толщина зазора, ΔP — разность давлений жидкости и окружающего воздуха, μ — вязкость жидкости, l — ширина уплотнительного кольца, C — безразмерная постоянная, зависящая от формы поперечного сечения зазора.

Очевидно, что

$$\Delta P = P_1 - P_2, \tag{5.7.}$$

где P_1 — давление жидкости, P_2 — давление окружающего воздуха.

Также можно учесть, что вязкость жидкости в значительной степени зависит от ее температуры:

$$\mu = \mu_0 \eta (T/T_0), \tag{5.8.}$$

где μ_0 — вязкость жидкости при температуре T_0, T — температура жидкости, $\eta(T/T_0)$ — некоторая функция от переменной T.

Теперь последовательно поставим выражения 5.8.—5.5. в выражение 5.4. Получим

$$H = C\frac{\delta^2 (P_1 - P_2)\rho}{\mu_0 \eta (T/T_0) l}. \tag{5.9}$$

Учитывая, что условия работы фланцевого соединения, которые определяются перепадом давления и температурой жидкости, фиксированы и не подлежат изменению, то все параметры, входящие в последнее выражение, можно считать независимыми.

Особенностью описанной процедуры построения математической модели является «потеря» в результате подстановок тех параметров, которые входят в первоначальную и промежуточные функции показателей исходной системы. Например, анализируя выражение 5.9., нельзя выяснить, что герметичность фланцевого соединения зависит от таких параметров как средняя скорость жидкости в зазоре (W) и средняя площадь его поперечного сечения (S). Учитывая ту важнейшую роль, которую играют параметры в процессе выявления ФП, эту особенность метода подстановки следует признать недостатком.

Однако его легко можно устранить, если в окончательном выражении зафиксировать результаты всех промежуточных подстановок, например, таким образом:

$$H = G \left\{ W \left\{ C \frac{\delta^2 \Delta P \{P_1 - P_2\}}{Sl\mu \{\mu_0 \eta (T/T_0)\}} \right\} S\rho \right\}, \qquad (5.10)$$

где в фигурных скобках, справа от параметров, указаны функциональные зависимости, через которые данные параметры могут быть определены.

Подобная форма записи функции в дальнейшем будет называться *развернутой*. Ее легко преобразовать в запись традиционного вида. Для этого надо «раскрыть» фигурные скобки и опустить стоящие перед ними переменные. Например, исключив подобным образом из выражения 5.10. параметры G, W, μ и ΔP, получим выражение 5.9.

Использование в условиях поисковой задачи развернутой формы записи функций показателей исходной системы в конечном итоге приводит к увеличению множества производных систем, получаемых в результате ее решения. Нетрудно доказать, что это в ряде случаев позволяет повысить показатель качества решения соответствующей проектной задачи.

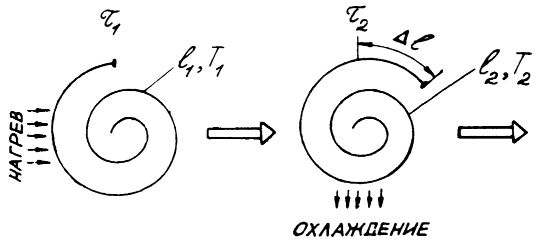
Другим практически важным способом описания сведений о связях между показателями исходной системы и параметрами ее элементов являются тексты и графики.

Например, известно, что число оборотов теплового двигателя, работающего на принципе температурного расширения твердого тела (см. например, а. с. № 225620) среди прочего зависит от величины удлинения рабочей спирали.

Представим данное утверждение в виде следующей функциональной зависимости.

$$N = f(P_1, ..., P_{k-1}, \Delta l), \qquad (5.11.)$$

где N — число оборотов «твердотельного» двигателя; $P_1, ...,$ $..., P_{k-1}$ — некоторые параметры элементов «твердотéльного» двигателя; Δl — величина максимального удлинения рабочей спирали данного двигателя.



где T_1, T_2 — соответственно минимальная и максимальная температура цикла теплового двигателя; l_1, l_2 — соответственно минимальная и максимальная длина рабочей спирали; τ_1, τ_2 — фазы цикла теплового двигателя; $\Delta l = l_2 — l_1$.

Рис. 5.2. Схема рабочего цикла «твердотельного» теплового двигателя.

Параметры $P_1, ..., P_k$ характеризуют процесс теплообмена рабочей спирали с нагревателем и холодильником, а также процесс преобразования поступательного движения во вращательное. Примем, что в нашем случае уровень описания данных процессов в проблемной ситуации не позволяет точно определить вид функциональной зависимости величины N от переменных $P_1, ..., P_{k-1}, \Delta l$. Однако, исходя из физических соображений, можно утверждать: вне зависимости от того, какие конкретные значения принимают параметры $P_1, ..., P_{k-1}$ увеличение (уменьшение) величины удлинения рабочей спирали (Δl) приводит к увеличению (уменьшению) числа оборотов двигателя (N). Данное утверждение не позволяет определить явную зависимость между величинами N и Δl, однако с точки зрения возможности применения параметрического метода этой «точности» достаточно. Действительно, данному словесному утверждению соответствует следующее математическое неравенство.

$\dfrac{\partial N}{\partial (\Delta l)} = \dfrac{\partial [f(P_1, \ldots, P_{k-1}, \Delta l)]}{\partial (\Delta l)} > 0$ при любых допустимых значениях переменных $(P_1, \ldots, P_{k-1}, \Delta l)$ (5.12)

Этих сведений о свойствах функции числа оборотов «твердотельного» двигателя вполне достаточно для определения противоречивости пар, в которые входит данный показатель.

Однако согласно форме записи математической модели системы (см. 3.1.), в нее не допускается включать неравенства, аналогичные выражению 5.12. Поэтому в подобных случаях первоначальную информацию о связях между показателями исходной системы и параметрами ее элементов описывают с помощью приближенных соотношений, обычно в виде степенных функций. Для рассматриваемого примера можно предположить следующее приближение функции числа оборотов «твердотéльного» двигателя:

$$N = C(\Delta l)^{\alpha}, \tag{5.13.}$$

где C и α величины, в общем случае зависящие от переменных $P_1, ..., P_{k-1}$; $C>0$; $\alpha>0$.

Посмотрим, какой знак имеет производная

$$\frac{\partial N}{\partial(\Delta l)} = \alpha C(\Delta l)^{\alpha-1}. \tag{5.14}$$

Согласно выражению 5.13 $C>0$, $\alpha>0$, $(\Delta l)^{\alpha-1}>0$ при любом допустимом значении α, поэтому $\partial N/\partial(\Delta l)>0$. Данный вывод полностью совпадает с результатом математического представления части сведений проблемной ситуации (см. 5.12).

Следовательно, с точки зрения результатов применения параметрического метода безразлично, представлены ли функции показателей исходной системы явными зависимостями или приближениями, аналогичными выражению 5.13.

Последнее, что необходимо рассмотреть в этой главе, это как построить математическую модель исходной системы в том случае, если известен только перечень параметров, от которых зависят ее показатели. Иными словами, известно лишь, что значения показателя $П_i$ таким-то образом (?) меняются при изменении значений параметров $P_1, ..., P_k$. Ясно, что для применения параметрического метода такой «точности» описания функции показателей исходной системы недостаточно. Надо выяснить хотя бы качественную взаимосвязь между показателем $П_i$ и параметрами $P_1, ..., P_k$. Для этого можно воспользоваться методами *теории размерности*, один из которых рассматривается ниже.

Сначала несколько слов о самой этой теории. Главным образом она применяется для обработки результатов экспериментов с целью получения на их основе начальных теоретических представлений об исследуемом физическом явлении. Для этого с помощью сравнительно простых математических приемов анализируются размерности параметров, определяющих данное явление. Рассмотрим подробнее понятие размерности.

«Различные физические величины связаны между собой определенными соотношениями. Если некоторые из этих величин принять за основные и установить для них какие-то единицы измерения (некоторый принятый масштаб), то единицы измерения всех остальных величин будут определенным образом выражаться через единицы измерения основных величин. Принятые для основных величин единицы измерения будем называть *основными* или первичными, а все остальные — *производными* или вторичными» (20, с. 12).

Из сказанного ясно, что в качестве основных могут быть выбраны различные группы величин. В соответствии с этим могут быть предложены различные системы единиц измерения.

В данной работе во всех случаях будет использоваться международная система единиц (СИ), в которой в качестве основных величин приняты: длина (м), масса (кг), время (с), сила электрического тока (А — ампер), термодинамическая температура (К — кельвин), сила света (кд — кандела) и количество вещества (моль). В круглых скобках указаны символические обозначения единиц измерения основных величин.

«Зависимость единиц измерения производной величины от единиц измерения основных величин может быть представлена в виде формулы, которая называется *формулой размерности.* Ее можно рассматривать как сжатое определение и характеристику физической природы производной величины. В теории размерности доказывается, что формулы размерности всех физических величин имеют вид степенного одночлена» (20, с. 17). В системе единиц измерения СИ он будет состоять из следующих компонентов.

$$\text{м}^{\alpha}(\text{кг})^{\beta}\cdot \text{с}^{\gamma}\cdot \text{А}^{\delta}\cdot \text{К}^{\varepsilon}\cdot(\text{кд})^{\xi}\cdot(\text{моль})^{\mu}, \qquad (5.15)$$

где $\alpha\div\mu$ — некоторые действительные числа, в том числе ноль.

Например, формулы размерности таких производных (в системе СИ) величин как сила (F), напряженность магнитного поля (H), частота (ω), кинематическая вязкость (ν) имеет следующий вид: $[F]=\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$; $[H]=\text{А}\cdot\text{м}^{-1}$; $[\omega]=\text{с}^{-1}$; $[\nu]=\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$.

Главным компонентом концептуального ядра теории размерности является так называемая π-теорема (20, с. 28). Для нас важно одно из ее следствий, которое в рамках уже введенных понятий звучит следующим образом.

Функциональную зависимость показателя $П$ от определяющих его параметров $P_1, ..., P_k$ можно установить с точностью до постоянного множителя (φ), если число основных единиц измерения больше или равно числу тех определяющих параметров, которые имеют независимые размерности.

«Независимость размерностей означает, что формула, выражающая размерность одной из величин, не может быть представлена как комбинация в виде степенного одночлена из компонент формул размерности других величин. Например, размерности длины (м), скорости ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$) и энергии ($\text{кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{с}^{-2}$) независимы, размерности длины, скорости и ускорения ($\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$) зависимы» (20, с. 26).

Если совокупность параметров $P_1, ..., P_k$ удовлетворяет требованиям следствия π-теоремы, то искомая функция показателя $П$ имеет следующий вид.

$$П=\varphi P_1^{x_1} P_2^{x_2} \ldots P_k^{x_k}, \qquad (5.16)$$

где φ — положительная безразмерная величина; $x_1, ..., x_k$ — некоторые действительные числа (неизвестные величины).

Здесь надо отметить, что в следствии π-теоремы не говорится о том, как определить величины $x_1, ..., x_k$; в нем лишь утверждается, что они могут быть определены. Очевидно, для этого надо привлечь какие-то дополнительные соображения.

Воспользуемся следующим фактом. Согласно выражению 5.16. формула размерности показателя $П$ должна совпадать с формулой размерности правой части данного выражения. Это позволяет составить *уравнение размерности.* В общем случае оно будет иметь следующий вид.

$$R_1^{a_1} R_2^{a_2} \ldots R_n^{a_n} = (r_{11}^{\varepsilon_{11}} \ldots r_{m1}^{\varepsilon_{m1}})^{x_1} \ldots (r_{1k}^{\varepsilon_{1k}} \ldots r_{mk}^{\varepsilon_{mk}})^{x_k}, \tag{5.17}$$

где $R_1^{a_1} R_2^{a_2} \ldots R_n^{a_n}$ — размерность показателя $П$; $(r_{11}^{\varepsilon_{11}} \ldots r_{m1}^{\varepsilon_{m1}}) \cdot \ldots \cdot (r_{1k}^{\varepsilon_{1k}} \cdot \ldots \cdot r_{mk}^{\varepsilon_{mk}})$ — размерности параметров $P_1, \ldots, P_k$; $R_1, R_2, \ldots \ldots, R_n, r_{11}, r_{21}, \ldots, r_{mk}$ — размерности основных единиц.

Если приравнять степени одноименных основных единиц в правой и левой части уравнения размерности, то можно получить систему линейных алгебраических уравнений. Согласно следствию π-теоремы, их число должно быть равно числу неизвестных величин $(x_1, ..., x_k)$. Следовательно, такая математическая система является определенной, и найти ее решение не составляет большого труда.

Сказанного достаточно для того, чтобы разработать *метод размерности* (см. с. 99). Посмотрим, как с его помощью можно решать конкретные задачи построения математических моделей.

1. ДАНО. Из чисто логических соображений следует, что период колебаний маятника в вакууме (T) может зависеть только от массы маятника (m), его длины (l) и ускорения свободного падения (g).

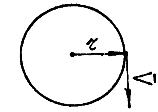
НАЙТИ вид функциональной зависимости $T = f(m, l, g)$.

Известно, что число основных единиц системы СИ, используемых при описании механических систем (маятник относится именно к таким системам), равно трем (м, с, кг). Нетрудно доказать, что указанные выше определяющие параметры независимы. Следовательно, для решения этой задачи можно применить метод размерности.

1. $T = \varphi m^{x_1} l^{x_2} g^{x_3}$
2. $[T] = с$; $[l] = м$; $[m] = кг$; $[g] = м \cdot с^{-2}$.
3. $с^1 = кг^{x_1} \cdot м^{x_2} \cdot (м \cdot с^{-2})^{x_3}$
4. $\begin{cases} 0 = x_1 \\ 0 = x_2 + x_3 \\ 1 = -2x_3 \end{cases}$
5. $x_1 = 0$; $x_2 = 0{,}5$; $x_3 = -0{,}5$
6. $T = \varphi \sqrt{l/g}$

ДАНО. Известно, что центробежная сила (F), действующая на твердое тело, равномерно движущееся по окружности, может зависеть только от его массы (m), линейной скорости (v) и радиуса этой окружности (r).

НАЙТИ вид функциональной зависимости $F=f(m, v, r)$.



Нетрудно убедиться, что для решения этой задачи так же можно применять метод размерности.

1. $F=\varphi m^{x_1} v^{x_2} r^{x_3}$

2 $[F]=\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$; $[m]=\text{кг}$; $[v]=\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$; $[r]=\text{м}$.

3. $\text{кг}^1\cdot\text{м}^1\cdot\text{с}^{-2}=\text{кг}^{x_1}\cdot(\text{м}\cdot\text{с}^{-1})^{x_2}\cdot\text{м}^{x_3}$

4. $$\begin{cases} 1=x_1 \\ 1=x_2+x_3 \\ -2=-x_2 \end{cases}$$

5. $x_1=1$; $x_2=2$; $x_3=-1$.

6. $F=\varphi m v^2/r$

Иногда применение метода размерности дает положительные результаты и в тех случаях, когда число определяющих параметров несколько (на один, два) превышает число основных единиц измерения. Правда, для этого необходимо выполнить ряд дополнительных условий. Действительно, подобное соотношение между числом определяющих параметров и числом основных единиц измерения приводит к неопределенным математическим системам. В них число неизвестных ($x_1, ..., x_k$) превышает число уравнений. Поэтому для того, чтобы найти решение подобных систем, необходимо привлечь дополнительные сведения о величинах $x_1, ..., x_k$. Обычно для этого используется ряд физических соображений, которые позволяют определить знак части неизвестных величин. Например, $x_1>0$, $x_2<0$, $x_k=2$ и т. п. Очень часто после такого расширения исследуемой системы уровней удается найти ее решение с точностью до знака. Например, $x_1>0$, $x_2<0$, $x_3>0$, $x_4=1, ..., x_k=2$. Как уже говорилось выше, такая «точность» определения функций показателей исходной системы вполне достаточна для применения параметрического метода.

К сказанному надо добавить, что приведенные здесь методы преобразования словесной и графической информации в уравнения математической модели исходной системы могут применяться не только по отдельности друг от друга, но и образовывать различные комбинации.

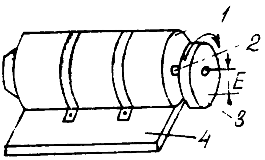
Например, известна первоначальная функция показателя $П$ ($П=P_1+P_2$). Сведения, содержащиеся в проблемной ситуации, или очевидные физические и технические соображения позволяют определить параметр P_1 с точностью до размерного коэффициента ($P_1=cP_3^\alpha$), а с помощью метода размерности удается выяснить, что $P_2=\varphi P_4^\beta P_5^\nu P_6^\xi$. Тогда, подставляя полученные выражения в первое уравнение, получим традиционную и развернутую функцию показателя $П$:

$$П=cP_3^\alpha+\varphi P_4^\beta P_5^\nu P_6^\xi,\quad П=P_1\{cP_3^\alpha\}+P_2\{\varphi P_4^\beta P_5^\nu P_6^\xi\}.$$

Приведенных в данной главе способов получения функций показателей исходной системы достаточно для того, чтобы без особых сложностей переходить от текста различных проблемных ситуаций к условиям поисковой задачи. Все эти способы, в том или ином сочетании, включены в тексты алгоритмов параметрического метода, что позволяет существенно повысить удобство их применения по отношению к реальным техническим проблемам.

УПРАЖНЕНИЯ

5.1. Определите функции показателей (математическую модель) системы, описанной в ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ 4.



Известен виброгенератор, состоящий из двигателя 1, на валу 2 которого закреплен груз 3, имеющий эксцентриситет (E). Двигатель жестко прикреплен к платформе 4.

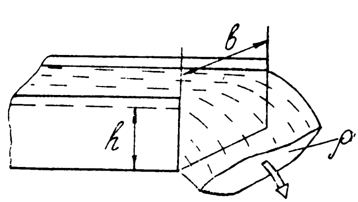
Виброгенератор работает следующим образом. После включения двигателя груз раскручивается до номинального числа оборотов. Так как груз имеет эксцентриситет, то система «двигатель—груз» начинает колебаться.

Особенностью данной системы является то, что мощность двигателя, необходимая для «раскрутки» груза, на порядок больше мощности, необходимой для поддержания его вращения. В свою очередь мощность двигателя определяет его стоимость, а значит и стоимость всей системы.

Показатель качества виброгенератора, который в основном зависит от величины создаваемого им максимального нагружения (F), максимальной частоты колебаний груза (Λ) и стоимости (C), не удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Ответ см. на с. 101.

5.2. В гидротехнических сооружениях широко используются водосливы прямоугольного сечения. Они позволяют придать потоку воды нужное направление течения.



где
ρ — плотность воды (кг/м^3)
b — ширина водослива (м),
h — высота водослива и напор истечения жидкости (м).

Одним из главных показателей этой системы является массовый расход жидкости через отверстие водослива G (кг/с). Установлено, что данный показатель зависит от следующих параметров: ρ, h, b и g (ускорение свободного падения (м/с^2)).

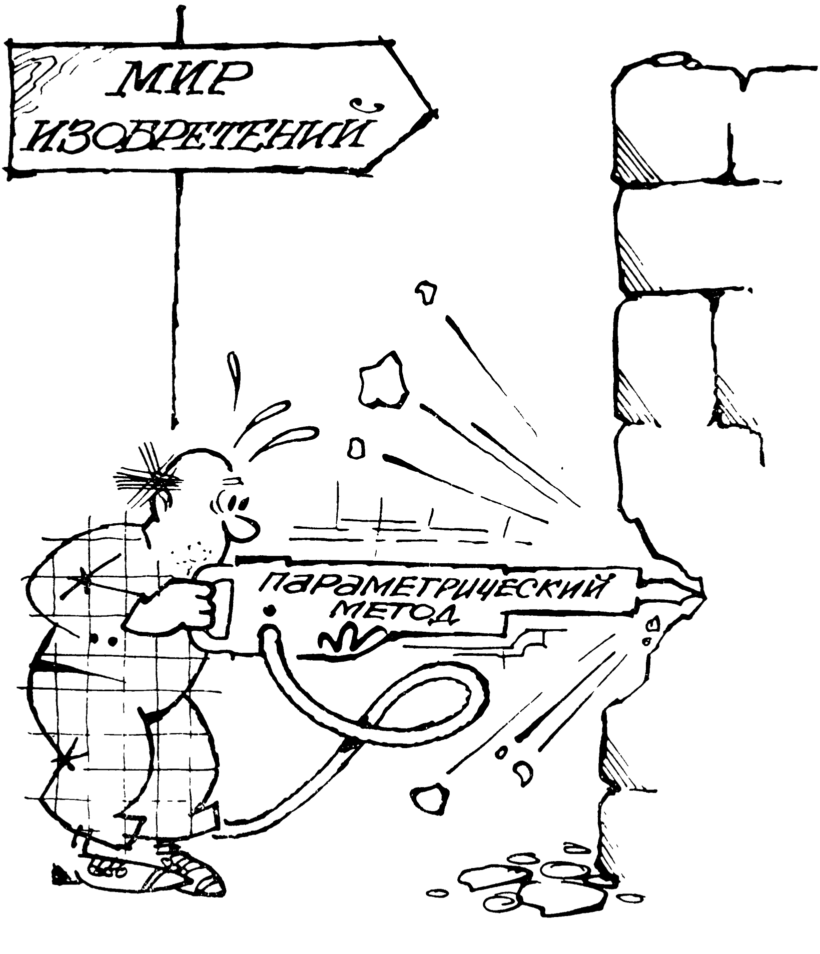
Определите с помощью метода размерности вид функции $G=f(\rho, g, h, b)$, используя при этом следующий факт — чем больше площадь эффективного поперечного сечения водослива S ($S=hb$), тем больше массовый расход протекающей по нему жидкости G.

Ответ. $G=\varphi\rho g^{0,5}h^{\alpha}b^{\beta}$, где φ — безразмерный постоянный множитель; α и $\beta>0$.

ГЛАВА 6

АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И УСТРАНЕНИЯ НЕДОСТАТКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

и кроме этого 25 проблемных ситуаций



Теперь можно приступить к развертыванию блок-схемы параметрического метода (см. рис. 3.7.) в последовательность конкретных операций. Однако при этом придется решить еще одну проблему. В рамках данной блок-схемы можно получить множество различных вариантов параметрического метода, каждый из которых будет иметь свои достоинства. Из всех факторов, определяющих это многообразие, здесь рассматривается только один — особенности условий поисковых задач 3-го типа. К ним в первую очередь относятся количество и тип показателей исходной системы, указанных в условиях этих задач.

Но даже такое существенное ограничение приводит тем не менее к 4 отличным друг от друга вариантам. При изложении их текста возникает дилемма. Последовательное описание указанных вариантов приводит к неизбежным повторениям, а объединение их в один комплекс приводит к усложнению процесса решения конкретных задач. В данной работе из этого затруднительного положения предлагается выйти следующим образом. Сначала в полном объеме приводится текст варианта параметрического метода, ориентированного на решение поисковых задач, в условиях которых описывается исходная система, характеризующаяся несколькими линейными показателями. По отношению к остальным трем вариантам будут даны методические рекомендации, позволяющие легко восстановить их текст, используя для этого часть текста первого варианта, который в дальнейшем будет называться *«алгоритмом повышения качества»* (АПК).

Использование в данном случае такого названия требует пояснений. Во-первых, входящий в него термин «алгоритм» используется в интуитивно-содержательном смысле — как любая четкая программа действий (2, с. 25). Во-вторых, это сокращенное название. В соответствии с принятой в данной книге терминологией рассматриваемый вариант параметрического метода надо было бы назвать «алгоритмом повышения показателя качества».

Прежде чем приступить к изучению алгоритма повышения качества, необходимо отметить его особенности.

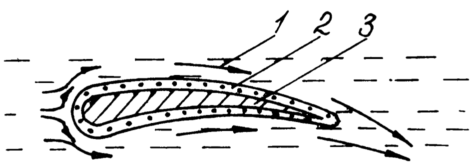
Во-первых, в него не включены операции, связанные с определением однофункциональности и эквивалентности математических моделей исходной и производных систем. Это объясняется тем, что в большинстве практических случаев выполнение этих требований достигается «автоматически», за счет правильного применения приемов устранения ФП. Поэтому, включение подобных операций в текст АПК только усложнило бы его, не давая существенного увеличения степени правильности получаемых решений.

Во-вторых, как показывает практика, очень часто решение поисковой задачи не доводится до конца. Оно прекращается после получения производной системы, которая удовлетворяет пользователя и принимается им за решение соответствующей проектной задачи. Здесь проявляются особенности психики человека — «зачем искать что-либо еще, если то, что найдено, удовлетворяет установленным требованиям». Для учета данного эффекта в АПК введена операция ранжирования показателей по степени их значимости с точки зрения полноты устранения исходной проблемы. На следующих за ней операциях алгоритма в первую очередь рассматриваются пары показателей с наибольшей суммой коэффициентов значимости. Это позволяет повысить вероятность получения наилучших производных систем в случае прекращения решения поисковой задачи.

При определении коэффициентов значимости показателей исходной системы используется следующее правило: более высокие значения имеют коэффициенты значимости тех показателей, улучшение которых составляет суть проблемной ситуации, а также показатели, характеризующие исходную систему на стадии функционирования.

В-третьих, принципиальное решение поисковой задачи, получаемое с помощью данного алгоритма, поясняется специальным рисунком. На нем изображается узловой элемент в двух «крайних» состояниях, определяемых противоположными значениями узлового параметра, которые указаны в формуле ФП.

Например, принципиальное решение задачи защиты подводного крыла (см. с. 75) можно дополнить следующим рисунком.



где 1 — движущаяся вода, 2 — «неподвижная» вода, 3 — крыло.

Рис. 6.1.

Использование подобных иллюстраций значительно упрощает переход от принципиального решения к техническому. Это также связано с особенностями психики человека; он в большинстве случаев лучше воспринимает и осмысливает графические образы, чем тексты.

В-четвертых, АПК ориентирован на совершенствование технических систем ЛЮБОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. Все получаемые с его помощью решения находятся на уровне изобретений. Поэтому результаты применения алгоритма повышения качества фиксируются в виде ФОРМУЛ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ ИЗОБРЕТЕНИЙ.

И последнее. Выполнение операций данного алгоритма поясняется примером решения конкретной поисковой задачи, условия которой сформулированы в соответствии с проблемной ситуацией 4 (см. с. 92).

АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА

Операции алгоритма 1	Значения по выполнению операции алгоритма 2	Пример решения поисковой задачи 3
1. Сформулируйте на основании описания проблемной ситуации условия поисковой задачи. Результат запишите в форму 1. Ф. 1. УСЛОВИЯ ПОИСКОВОЙ ЗАДАЧИ ДАНО: 1) *исходная система* — . . . 2) функция исходной системы — . . . 3) показатели, определяющие качество исходной системы: Π_1 — . . . (α_1) . . . . Π_m — . . . (α_m) НАЙТИ: множество *производных систем.* где Π_m и α_m — символические имена m-ого показателя и его коэффициента значимости. Вместо точек записываются естественно-языковые имена исходной системы, ее функции и показателей.	1. *Исходной* называется система, улучшение показателей которой определяется проблемной ситуацией. 2. В пункте 3 условий поисковой задачи обязательно должны быть указаны показатели, улучшение которых определяется проблемной ситуацией. 3. В данном случае под *производными* понимаются системы, выполняющие ту же функцию, что и исходная система. 4. Определения понятий, выделенных курсивом, приводятся во втором столбце текста алгоритма.	1. УСЛОВИЯ ПОИСКОВОЙ ЗАДАЧИ ДАНО: 1) исходная система — виброгенератор; 2) функция исходной системы — создание силового нагружения объектов; 3) показатели, определяющие качество исходной системы: F — максимальное нагружение (0,4), Λ — максимальная частота колебаний груза (0,2), C — стоимость (0,4). НАЙТИ: множество производных систем.

Продолжение

1	2	3
2. Определите коэффициенты значимости показателей исходной системы. Результат запишите в п. 3 формы 1.	При определении коэффициентов значимости показателей необходимо учитывать следующие правила: 1) более высокие значения коэффициентов значимости имеют те показатели, улучшение которых определяется проблемной ситуацией, а также показатели, характеризующие исходную систему на стадии функционирования; 2) сумма всех коэффициентов значимости должна быть равна 1.	
3. Определите функциональные зависимости между показателями исходной системы и параметрами ее элементов (функции показателей). Результат запишите в соответствии с формой 2. Ф. 2. $\Pi = f(P_1, \ldots, P_k)$ P_1 — . . ., ... P_k — . . . . где Π — показатель исходной системы, $P_1, \ldots, P_k$ — множество параметров элементов исходной системы, $f(\ )$ — знак функциональной зависимости. Вместо точек записываются естественно-языковые имена соответствующих параметров.	1. При определении функции показателя необходимо учитывать следующее: 1) в функцию показателя системы кроме параметров ее элементов могут входить другие показатели этой системы, а также показатели (параметры) других систем (объектов); 2) по отношению к одному и тому же показателю системы может быть получено несколько вариантов его функции; 3) включение в функцию показателя того или иного параметра (показателя) приведет, в дальнейшем, к изменению или замене того объекта, который этот параметр (показатель) характеризует; 4) чем больше одинаковых параметров (показателей) входит в функции показателей исходной системы, тем больше однофункциональных систем будет найдено в результате применения этого алгоритма. 2. При определении функции показателя необходимо обратиться к литературе, в которой описана теория исходной системы. В случае отсутствия такой теории может быть использован метод размерности.	2. $F = MN^2E$; $C \approx \widetilde{\Psi}$; $\Lambda = N$ M — масса груза, N — максимальное число оборотов двигателя, E — эксцентриситет груза (расстояние между осью вращения груза и его центром массы), Ψ — стоимость двигателя.

1	2	3

АЛГОРИТМ МЕТОДА РАЗМЕРНОСТИ

I. Определите полный перечень параметров, характеризующих элементы исходной системы, изменение которых приводит к изменению рассматриваемого показателя.
Результат запишите в соответствии с формой 1.

Ф. 1.

$$\boxed{\Pi = \varphi P^{x_1} P^{x_2} \dots P^{x_k}}$$

где Π — показатель,
φ — положительная безразмерная величина,
$P_1, P_2, \dots, P_k$ — искомые параметры,
$x_1, x_2, \dots, x_k$ — степень параметров $P_1, P_2, \dots, P_k$ (неизвестные величины).

II. Определите размерности показателя Π и параметров $P_1, P_2, \dots, P_k$ в какой-либо системе единиц.
Результат запишите в соответствии с формой II.

Ф. II.

$[\Pi]$ — _ _ _
$[P_1]$ — _ _ _
....
$[P_k]$ — _ _ _

Вместо черточек записываются символические имена единиц измерения показателя и параметров.

III. Составьте уравнение размерности, соответствующее функции показателя (см. Ф. 1).
Результат запишите в соответствии с формой III.

Ф. III.

$$\boxed{R_1^{a_1} R_2^{a_2} \dots R_n^{a_n} = (r_{11}^{\varepsilon_{11}} \dots r_{m_1}^{\varepsilon_{m_1}})^{x_1} \dots (r_{1k}^{\varepsilon_{1k}} \dots r_{mk}^{\varepsilon_{mk}})^{x_k}}$$

где $R_1^{a_1} R_2^{a_2} \dots R_n^{a_n}$ — размерность показателя Π,
$(r_{11}^{\varepsilon_{11}} \dots r_{m_1}^{\varepsilon_{m_1}}), \dots, (r_{1k}^{\varepsilon_{1k}} \dots r_{mk}^{\varepsilon_{mk}})$ — размерности параметров $P_1, \dots, P_k$,
$R_1, R_2, \dots, R_n, r_{11}, r_{21}, \dots, r_{mk}$ — размерность основных единиц.

IV. Составьте систему уравнений относительно неизвестных $x_1, x_2, \dots, x_k$.
Каждое уравнение системы запишите в соответствии с формой IV (пример).

Ф. IV.

$$\boxed{a_2 = \varepsilon_{31} x_1 + \varepsilon_{22} x_2 + \varepsilon_{45} x_5}$$

V. Решите систему уравнений (см. Ф. IV).
Замечания:
1. Если рассматриваемая система является неопределенной (число неизвестных больше числа уравнений), то, исходя из физических соображений, ее необходимо дополнить до определенной с помощью неравенства вида $x_k \gtrless 0$.
2. Считается, что система уравнений решена, если $x_1, x_2, \dots, x_k$ определены с точностью до знака. (Например $x_k > 0$ или $x_k < 0$).

VI. Подставьте результаты решения системы уравнений в функцию показателя (см. Ф. 1).

3. Если при определении функции показателя используется метод размерности, то результаты выполнения его операций включаются в описание хода решения поисковой задачи.		
1	2	3
4. Определите среди параметров, входящих в функции показателей исходной системы, *независимые параметры*. Результат запишите в форму 2, отметив зависимые параметры верхней волнистой линией.	К *независимым* относятся: 1) параметры, которые в рамках рассматриваемой системы не могут быть определены в виде функциональных зависимостей от других параметров; 2) параметры, характеризующие объекты, изменение которых невозможно или нежелательно.	
Если в функции показателей входят только независимые параметры, то перейти к выполнению операции 7. В противном случае, перейти к выполнению операции 5.		Функция стоимости содержит зависимый параметр (стоимость двигателя).
5. Определите функциональные зависимости между зависимыми параметрами и другими параметрами элементов системы (функции параметров). Результат запишите в соответствии с формой 3. Ф. 3. $\widetilde{P} = f(P_1, \ldots, P_k)$ P_1 — ..., ... P_k — ... где $\widetilde{P}$ — зависимый параметр элемента исходной системы, $P_1, \ldots, P_k$ — множество параметров элементов исходной системы, $f(\;)$ — знак функциональной зависимости. Вместо точек записываются естественноязыковые имена соответствующих параметров.	1. При определении функций параметров необходимо учитывать факты аналогичные тем, что указаны в замечаниях к выполнению операции 3. 2. При повторном выполнении этой операции можно фиксировать естественноязыковые имена лишь тех параметров, которые ранее не были определены.	3. $\Psi = k_1 (HN)^2$ H — номинальная мощность двигателя, k_1 — коэффициент пропорциональности.

1	2	3
6. Подставьте функции зависимых параметров в функции показателей исходной системы. Результат представьте в соответствии с формой 2.	После выполнения этой операции можно фиксировать лишь те функции и естестенноязыковые имена параметров, которые ранее не были определены.	4. $C = k_1 (\widetilde{H}N)^2$
Перейти к выполнению операции 4.		5. $H = k_2 ME$ k_2 — коэффициент пропорциональности (результат повторного выполнения операции 5). 6. $F = MN^2E$; $C = k_1k_2^2(MEN)^2$; $\Lambda = N$. (результат повторного выполнения операции 6).
7. Разделите множество показателей исходной системы на пары *связанных показателей* (пары показателей). Результат запишите в форму 4. Ф. 4. ПАРЫ СВЯЗАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ: — — — Вместо черточек записываются символические имена показателей, образующих пары.	1. *Связанными* называются показатели, функции которых содержат одинаковые параметры. 2. В форму 4 пары связанных показателей записываются в порядке возрастания суммы коэффициентов значимости этих показателей.	7. ПАРЫ СВЯЗАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ: $(\overset{+}{F}, \overset{-}{C})$; $(\overset{+}{F}, \overset{+}{\Lambda})$; $(\overset{-}{C}, \overset{+}{\Lambda})$.
Если не удалось получить хотя бы одну пару связанных показателей, то данная поисковая задача не может быть решена с помощью этого варианта параметрического метода.		

Продолжение

1	2	3
8. Определите тип показателей, образующих пары. Результат запишите в форму 4, отметив *положительные показатели* верхним знаком «+», а *отрицательные* — верхним знаком «—».	1. *Положительным* называется показатель, значение которого желательно увеличивать. 2. *Отрицательным* называется показатель, значение которого желательно уменьшить.	
9. Определите *узловые параметры.* Результат запишите в форму 5. Ф. 5. УЗЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ___(A)___ : ___(B)___ где A — символические имена показателей, образующих пару, B — символические имена узловых параметров.	*Узловым* называется параметр, который одновременно входит в функции двух показателей.	8. УЗЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ $(\overset{+}{F}, \overset{-}{C})$: E, M, N
Если рассмотрены все пары связанных показателей, то решение поисковой задачи закончено. Результатом ее решения является совокупность форм 13.		
10. Определите интервал возможных изменений значений узлового параметра. Результат запишите в соответствии с формой 6. Ф. 6. $p_1 \leqslant p \leqslant p_2$ где p — символическое имя узлового параметра. p_1, p_2 — значение нижнего и верхнего *предела изменения* узлового параметра.	1. *Предел изменения* параметра может быть выражен с помощью неотрицательного действительного числа. 2. Если точное значение *предела изменения* параметра неизвестно, то можно использовать нечеткие значения, которые определяются с помощью следующих выражений: «бесконечность» (∞), «некоторое большое число», «некоторое малое число», «около (указывается точное значение параметра)» ,такое значение, при котором (указываются условия, при которых параметр принимает определенное значение) (например, температура воды, при которой давление паров насыщения равно 1 ат.).	9. $E > 0$

Если рассмотрены все узловые параметры одной пары связанных показателей, то перейти к выполнению операции 9 по отношению к другой пары связанных показателей.

II. Определите первые частные производные связанных показателей по узловому параметру.
Результат запишите в соответствии с формой 7.
Ф. 7.

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial p} = ---; \quad \frac{\partial \pi_2}{\partial p} = ----.$$

где π_1, π_2, p — символические имена связанных показателей и узлового параметра.
Вместо черточек указывается результат выполнения операции.

При определении частных производных используются следующие правила:

1) частная производная функции $\pi = f(P_1, \ldots, P_i, p, P_{i+2}, \ldots, P_k$ по p равна обыкновенной производной такой функции от переменной p, которую получают из $f(\ldots)$, когда все переменные $P_1, \ldots, P_i, P_{i+2}, \ldots, P_k$ рассматриваются как постоянные величины.

2) $[C_1 f_1(p) + C_2 f_2(p)]' = C_1 f_1'(p) + C_2 f_2'(p)$

где C_1 и C_2 — постоянные величины (константы), $f'(p)$ — обыкновенная производная функции $f(\ldots)$ по переменной p.

3) $[f_1(p)\ f_2(p)]' = f_1(p) f_2'(p) + f_2(p) f_1'(p)$

4) $\left[\frac{f_1(p)}{f_2(p)}\right]' = \frac{f_1'(p) f_2(p) - f_2'(p) f_1(p)}{[f_2(p)]^2}$ 5) $\frac{d\{f[\varphi(p)]\}}{dp} = \frac{df(\varphi)}{d\varphi} \varphi'(p)$

6) Обыкновенные производные некоторых элементарных функций.

ФУНКЦИЯ	С-КОСТАНТА	p	p^c	$\frac{1}{p}$	$\frac{1}{p^c}$	$\sqrt{p}$	$\sqrt[c]{p}$	e^p	C^p
ПРОИЗВОДНАЯ ФУНКЦИИ	0	1	Cp^{c-1}	$-\frac{1}{p^2}$	$-\frac{C}{p^{c+1}}$	$\frac{1}{2\sqrt{p}}$	$\frac{1}{C\sqrt[c]{p^{c-1}}}$	e^p	$C^p \ln C$

ФУНКЦИЯ	$\ln p$	$\log cp$	$\sin p$	$\cos p$	$\operatorname{tg} p$	$\operatorname{ctg} p$
ПРОИЗВОДНАЯ ФУНКЦИИ	$\frac{1}{p}$	$\frac{1}{p \ln C}$	$\cos p$	$-\sin p$	$\frac{1}{\cos^2 p}$	$-\frac{1}{\sin^2 p}$

10. $\frac{\partial \overset{+}{F}}{\partial E} = MN^2; \quad \frac{\partial C}{\partial E} = k_1 (k_2 MN)^2 E$

1	2	3
12. Определите интервал возможных изменений значений параметров (кроме узлового параметра), входящих в выражения частных производных связанных показателей. Результат запишите в соответствии с формой 6.	При выполнении этой операции используются те же замечания, что и при выполнении операции 10.	11. $M > 0$, $N > 0$, $k_1 > 0$, $k_2 > 0$.
13. Определите знак частных производных связанных показателей при условии, что входящие в них параметры изменяются в установленных пределах (см. результат операции 10 и 12). Результат запишите в форму 8. Ф. 8. (указывается $\partial\pi_1/\partial p$) (указвыается одии из возможных результатов выполнения операции) (указывается $\partial\pi_2/\partial p$) (указывается один из возможных результатов выполнения операции)	1. Возможные результаты выполнения операции: «>0»; «<0»; «$\geqslant 0$»; «$\leqslant 0$»; «$\gtreqless 0$ (>0 и <0)». 2. При определении знака частной производной целесообразно использовать графики элементарных функций/напр., 19 с. 158—187/.	12. $\overset{+}{\partial F}/\partial E = MN^2 > 0$; $\overset{-}{\partial C}/\partial E = 2k_1\,(k_2\,(MN)^2E > 0$.

1	2	3
14. Определите тип пары связанных показателей. Результат запишите в соответствии с формой 9. Ф. 9. $((\pi_1, \pi_2))$ — (указывается один из возможных результатов выполнения операции)	1. Возможные результаты выполнения операции: «противоречивые показатели»; «непротиворечивые показатели»; «частично противоречивые показатели». 2. При определении типа пары связанных показателей пользуются следующими правилами:	13. $(\overset{+}{F}, \overset{-}{C})$ — противоречивые показатели.

1)

ЕСЛИ	ТО
$\frac{\partial \overset{+}{\pi}_1}{\partial p} > (\geqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{+}{\pi}_2}{\partial p} > (\geqslant) 0$	Н
$\frac{\partial \overset{+}{\pi}_1}{\partial p} > (\geqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{+}{\pi}_2}{\partial p} < (\leqslant) 0$	П
$\frac{\partial \overset{+}{\pi}_1}{\partial p} < (\leqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{+}{\pi}_2}{\partial p} > (\geqslant) 0$	П
$\frac{\partial \overset{+}{\pi}_1}{\partial p} < (\leqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{+}{\pi}_2}{\partial p} < (\leqslant) 0$	Н

2)

ЕСЛИ	ТО
$\frac{\partial \overset{+}{\pi}_1}{\partial p} > (\geqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{-}{\pi}_2}{\partial p} > (\geqslant) 0$	П
$\frac{\partial \overset{+}{\pi}_1}{\partial p} > (\geqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{-}{\pi}_2}{\partial p} < (\leqslant) 0$	Н
$\frac{\partial \overset{+}{\pi}_1}{\partial p} < (\leqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{-}{\pi}_2}{\partial p} > (\geqslant) 0$	Н
$\frac{\partial \overset{+}{\pi}_1}{\partial p} < (\leqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{-}{\pi}_2}{\partial p} < (\leqslant) 0$	П

3)

ЕСЛИ	ТО
$\frac{\partial \overset{-}{\pi}_1}{\partial p} > (\geqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{-}{\pi}_2}{\partial p} > (\geqslant) 0$	Н
$\frac{\partial \overset{-}{\pi}_1}{\partial p} > (\geqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{-}{\pi}_2}{\partial p} < (\leqslant) 0$	П
$\frac{\partial \overset{-}{\pi}_1}{\partial p} < (\leqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{-}{\pi}_2}{\partial p} > (\geqslant) 0$	П
$\frac{\partial \overset{-}{\pi}_1}{\partial p} < (\leqslant) 0$; $\frac{\partial \overset{-}{\pi}_2}{\partial p} < (\leqslant) 0$	Н

4) Если значения хотя бы одной частной производной рассматриваемой пары связанных показателей как больше, так и меньше нуля ($\gtrless 0$), то данные показатели частично противоречивы.

где Н — непротиворечивые показатели
П — противоречивые показатели

Если рассматриваемая пара связанных показателей относится к типу непротиворечивых или частично противоречивых показателей, то перейдите к выполнению операции 10 по отношению к другому узловому параметру.

1	2	3
15. Определите *узловой элемент* исходной системы. Результат запишите в форму 10. Ф. 10. УЗЛОВОЙ ЭЛЕМЕНТ (p, (π_1 и π_2)) — (указывается имя узлового элемента)	*Узловым элементом* называется объект, который характеризуется узловым параметром.	14. УЗЛОВОЙ ЭЛЕМЕНТ (E, ($\overset{+}{F}$, $\overset{-}{C}$)) — груз
16. Сформулируйте по отношению к узловому элементу физическое противоречие. Результат запишите в форму 11. Ф. 11. ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ (p, (π_1 π_2)) — (указывается имя p) ДОЛЖЕН БЫТЬ (указывается значение p, при котором π_1 удовлетворяет предъявляемому к нему требованию), ЧТО ПОЗВОЛИТ (указывается требование, предъявляемое к π_1); (указывается имя p) ДОЛЖЕН БЫТЬ (указывается значение p_2 при котором π_2 удовлетворяет предъявляемому к нему требованию), ЧТО ПОЗВОЛИТ (указывается требование, предъявляемое к π_2).	1. Физическое противоречие — это взаимно исключающие требования, предъявляемые к узловому элементу, состоящие в том, что характеризующий его узловой параметр должен иметь два различных значения. 2. При формулировании физического противоречия используются следующие правила: 1) требования, предъявляемые к показателям, определяются с помощью следующих выражений: ДЛЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ: «увеличить (указывается естественноязыковое имя показателя)»	15. ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ (E, ($\overset{+}{F}$, $\overset{-}{C}$)) — «Эксцентриситет груза должен быть как можно больше, что позволит увеличить максимальное нагружение создаваемое виброгенератором; эксцентриситет груза должен быть как можно меньше, что позволит уменьшить стоимость виброгенератора. КРАТКАЯ ФОРМУЛА ФИЗИЧЕСКОГО ПРОТИВОРЕЧИЯ (E, ($\overset{+}{F}$, $\overset{-}{C}$)) — «Эксцентриситет груза должен быть как можно больше и как можно меньше».

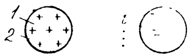
1	2	3
КРАТКАЯ ФОРМУЛА ФИЗИЧЕСКОГО ПРОТИВОРЕЧИЯ $(p, (\pi_1, \pi_2))$ — (указывается имя p) ДОЛЖЕН БЫТЬ (указываются значения p, при которых π_1 и π_2 удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям)».	ДЛЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ: «уменьшить (уменьшить до нуля) (указывается естественноязыковое имя показателя)».	

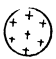
2)

Знак частной производной функции показателя	Значение узлового параметра, при котором показатель удовлетворяет предъявляемому к нему требованию
$\partial\overset{+}{\pi}/\partial p > (\geqslant) 0$	p_2
$\partial\overset{+}{\pi}/\partial p < (\leqslant) 0$	p_1
$\partial\overset{-}{\pi}/\partial p > (\geqslant) 0$	p_1
$\partial\overset{-}{\pi}/\partial p < (\leqslant) 0$	p_2

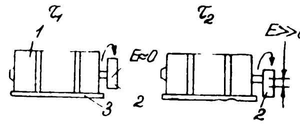
где p_1 и p_2 — значения нижнего и верхнего предела изменения узлового параметра.

<table>
<tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr>
<tr>
<td>
17. Найдите принципиальные решения поисковой задачи.
Результат запишите в форму 12.
Ф. 12.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ
(p, (π_1, π_2)):(C)) указывается результат применения приема устранения физического противоречия) ((D)).
Иллюстрация принципиального решения

1 — ...,
2 — ...,
....
i — ....

где C — номер принципиального решения,
D — номер приема.

— рисунок узлового элемента при том условии, что узловой параметр равен p_1, (рисунок R_1),
</td>
<td>
1. *Принципиальным* называется решение, полученное с помощью приемов устранения физических противоречий.

ПРИЕМЫ УСТРАНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ

1) Заменить узловой элемент системой, состоящей из двух элементов, каждый из которых характеризуется одним из значений параметра, указанного в формуле физического противоречия.
2) Заменить узловой элемент объектом, различные части которого имеют различные значения параметра, указанного в формуле физического противоречия.
3) Заменить узловой элемент системой, состоящей из множества одинаковых элементов, каждый из которых характеризуется одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а система в целом — другим значением.
4) Заменить узловой элемент объектом, который характеризуется двумя параметрами, аналогичными узловому параметру, каждый из которых имеет одно из значений, указанных в формуле физического противоречия.
</td>
<td>
16. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ
(E, (F, C)):
1) Заменить груз объектом, который при запуске двигателя имеет почти нулевой эксцентриситет, а после выхода на максимальные обороты — большой эксцентриситет (7).
Иллюстрация принципиального решения 1.


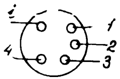
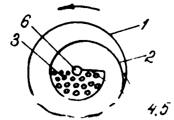
1 — двигатель,
2 — груз,
3 — платформа,
τ_1 — фаза запуска двигателя,
τ_2 — фаза максимальных оборотов двигателя.
</td>
</tr>
</table>

Продолжение

<table>
<tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr>
<tr><td> — рисунок узлового элемента при том условии, что узловой параметр равен p_2 (рисунок R_2), 1, ..., i—компоненты рисунков узлового элемента.</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">5) Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы его различные части имели различные значения параметра, указанного в формуле физического противоречия.
6) Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы на различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной системы он характеризовался различными значениями параметра, указанного в формуле физического противоречия.
7) Заменить узловой элемент объектом, который на различных стадиях (фазах) жизненного цикла исходной системы характеризуется различными значениями параметра, указанного в формуле физического противоречия.
8) Заменить узловой элемент объектом, который претерпевает превращение (например, за счет фазового перехода) в другой объект, при этом каждый из них характеризуется одним из значений параметра, указанного в формуле физического противоречия.
9) Включить узловой элемент в состав системы, которая характеризуется одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а узловой элемент — другим значением.
10) Заменить узловой элемент объектом, который характеризуется параметром, аналогичным узловому параметру, с таким значением, что его, по отношению к различным внешним объектам, можно было бы считать «различным».
11) Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы он превратился (например за счет фазового перехода) в другой объект, причем перед превращением он характеризовался бы одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а после превращения — другим значением.
12) Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы одна из его частей претерпевала превращения (например, за счет фазового перехода) в другой объект, который характеризуется одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а оставшаяся часть узлового элемента — другим значением.</td></tr>
</table>

1	2	3
	13) Изменить условия, в которых находится узловой элемент, таким образом, чтобы он характеризовался двумя различными параметрами, аналогичными узловому параметру, каждый из которых имел бы одно из значений, указанных в формуле физического противоречия. 14) Рассмотреть узловой элемент как систему, которая характеризуется одним значением параметра, указанного в формуле физического противоречия, а один из ее элементов — другим значением. 2. При разработке иллюстраций принципиального решения используются следующие правила: 1) если принципиальное решение получено с помощью приемов 1÷5, 9, 12, 13 то рисунки R_1 и R_2 совмещаются (как бы накладываются друг на друга); 2) если принципиальное решение получено с помощью приемов 6÷8, 11, то на рисунках R_1 и R_2 изображается узловой элемент в различные периоды жизненного цикла исходной системы (см. форму 11), 3) если принципиальное решение получено с помощью приемов 10 и 14, то рисунки R_1 и R_2 совмещаются в один рисунок и на нем, кроме узлового элемента, могут изображаться также внешние объекты (см. форму 11).	
18. Найти множество производных систем. Результат запишите в соответствии с формой 13. Ф. 13. ПРОИЗВОДНЫЕ СИСТЕМЫ: а) А. (*К*-ая) СИСТЕМА ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ИСХОДНОЙ ТЕМ, ЧТО В НЕЙ С ЦЕЛЬЮ (указываются желательные направления изменения показателей π_1 и π_2), ВМЕСТО (указывается имя узлового элемента), ИСПОЛЬЗУЕТСЯ (указывается имя объекта (системы)), КОТОРЫЙ (АЯ) (приводится краткая характеристика объекта или состав системы) ((D)). — — —	1. Переход от принципиального решения к производной системе осуществляется двумя способами: — путем замены ее узлового элемента объектом (системой), удовлетворяющим требованиям принципиального решения, — путем изменения условий, в которых находится узловой элемент таким образом, чтобы он удовлетворял требованиям принципиального решения. Первый способ используется тогда, когда принципиальное решение найдено с помощью приемов 1—4, 7÷10, 14, а второй — когда применялись приемы 5, 6, 11÷13. В первом случае результат записывается в подпункт А.а), а во втором — в подпункт А.б).	17. А. ПРОИЗВОДНЫЕ СИСТЕМЫ: 1-ая система отличается от исходной тем, что в ней с целью увеличения максимального нагружения, создаваемого виброгенератором и уменьшения его стоимости, вместо груза с постоянным эксцентриситетом используется груз, который имеет переменный эксцентриситет (7).

Продолжение

1	2	3
б) (*K*-ая) СИСТЕМА, ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ИСХОДНОЙ ТЕМ, ЧТО В НЕЙ С ЦЕЛЬЮ (указывается желательное направление изменения показателей π_1 и π_2) УСЛОВИЯ В КОТОРЫХ НАХОДИТСЯ (указывается имя узлового элемента) ИЗМЕНЯЮТСЯ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ: (приводится краткое описание изменений условий) ((D)). Б. ЭСКИЗ (*K*-ОЙ) СИСТЕМЫ  *1* — (указывается имя *1*-го элемента), ... *i* — (указывается имя *i*-го элемента). В. ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА (*K*-ОЙ) СИСТЕМЫ . . . . Г. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ (*K*-ОЙ) СИСТЕМЫ . . . . где *K* — номер производной системы.	2. При поиске объекта (системы), удовлетворяющего требованиям принципиального решения, используется метод перебора вариантов. 3. Для положительных показателей желательным направлением изменения является УВЕЛИЧЕНИЕ, а для отрицательных показателей — УМЕНЬШЕНИЕ. 4. При заполнении пунктов Б, В, Г формы 13 основное внимание уделяется отличиям производной системы от исходной.	Б. ЭСКИЗ 1-ой СИСТЕМЫ (а. с. № 845 871)  1 — груз с переменным эксцентриситетом. 2 — спиральная перегородка, 3 — шарики, 4,5 — заглушки, 6 — вал двигателя. В. — Г. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ 1-ой СИСТЕМЫ При запуске двигателя виброгенератора шарики 3 под действием сил инерции перекатываются по поверхности спиральной перегородки 2 к заглушке 5. В результате этого увеличивается эксцентриситет груза. При остановке двигателя шарики перекатываются в обратном направлении к заглушке 4.
Перейти к выполнению операции 10.		Ход дальнейшего решения поисковой задачи не приводится

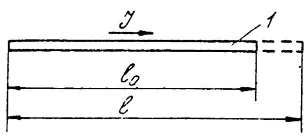
Конечно, одного примера недостаточно, чтобы показать все особенности применения алгоритма повышения качества на практике. Поэтому ниже приводится запись решения еще одной поисковой задачи, в которой кроме результатов выполнения операций включены также пояснения, позволяющие лучше понять, как эти операции выполнялись. Для того, чтобы легче было сравнивать параметрический метод с аналогичным ему по целям АРИЗом-77, в данном примере показано, как решается задача, которая по своей сути близка к той, что подробно разобрана в работе 2 (с. 44÷51). Исходной системой в этой задаче является электротермический удлинитель арматуры железобетонных изделий.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 5

Известно, что бетон лучше выдерживает растягивающие нагрузки, чем сжимающие. Поэтому для того, чтобы избежать при эксплуатации железобетонных конструкций, работающих на изгиб (например, балок) растягивающих нагрузок, используют так называемый предварительно напряженный бетон. При его изготовлении применяется следующая технология. Сначала растягивают арматуру (стальные стержни). В растянутом состоянии арматуру заливают бетоном. После затвердения бетона концы арматуры освобождают, она укорачивается и сжимает бетон во всем объеме изделия.

Известно, что при изгибе балок их «внутренняя» поверхность сжимается, а «внешняя» — растягивается. Если эти силовые конструкции изготовлены по описанной выше технологии, то в них растягивающие силы частично или полностью компенсированы за счет имеющегося предварительного сжатия бетона. Очевидно, что такие железобетонные изделия будут прочнее традиционных.

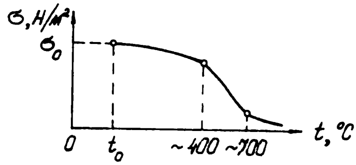
Первоначально для удлинения арматуры использовали гидравлические домкраты, но они оказались слишком сложными и ненадежными устройствами. Поэтому был предложен электротермический способ: арматуру нагревают, пропуская через нее электрический ток, она удлиняется, и в таком состоянии ее закрепляют в форме. После того как арматура несколько остынет, ее заливают бетоном.



где 1 — стержень арматуры, J — электрический ток, l_0 — длина стержня перед нагревом, l — длина стержня после нагрева.

Очевидно, что степень предварительного сжатия железобетонного изделия определяется величиной удлинения арматуры в результате ее нагрева — Δl ($\Delta l = l - l_0$). Последняя, в свою очередь, среди прочего, зависит (прямопропорционально) от длины стержней арматуры l_0 и максимальной температуры их нагрева t.

На практике данная взаимосвязь приводит к тому, что для увеличения степени сжатия бетона в относительно коротких балках их арматуру приходится нагревать до температур, значительно превышающих 400°C. Как известно, вблизи этой температуры обычная сталь претерпевает отжиг. Поэтому предел прочности материала арматуры после нагрева снижается.



где σ — предел прочности материала арматуры, t — температура нагрева арматуры, t_0 — температура арматуры перед нагревом (20°C)

Показатель качества системы электротермического удлинения арматуры железобетонных изделий, который определяется величиной удлинения стержня арматуры Δl и пределом прочности его материала после удлинения σ, не удовлетворяет предъявляемому требованию.

РЕШЕНИЕ ПОИСКОВОЙ ЗАДАЧИ

1. УСЛОВИЯ ПОИСКОВОЙ ЗАДАЧИ

ДАНО: 1) исходная система — установка электротермического удлинения арматуры;

2) функция исходной системы — увеличение длины стержней арматуры (далее просто стержней);

3) $П_1 \equiv \Delta l$ — величина удлинения стержня (0,5), $П_2 \equiv \sigma$ — предел прочности материала стержня после удлинения (0,5).

НАЙТИ: множество производных систем.

□ (Пояснение). В том случае, если число показателей, определяющих показатель качества исходной системы, равно двум, то соотношение величин коэффициентов значимости этих показателей не влияет на ход решения поисковой задачи. Поэтому здесь величины этих коэффициентов выбраны равными друг другу.

2. $\Delta l = \alpha l_0 (t - t_0)$

$\sigma \approx \sigma_0 - k(t - t_0)^2$

где α — коэффициент температурного расширения материала стержня, l_0 — длина стержня при температуре t_0, t_0 и σ_0 — соответственно исходные (перед нагревом) температура и предел прочности материала стержня, t — температура нагрева стержня, k — коэффициент пропорциональности.

□ Функция первого показателя совпадает с одной из форм математического описания явления расширения твердых тел при нагреве, которое подробно изучается в школьном курсе физики. Вторая функциональная зависимость достаточно точно аппроксимирует график $\sigma(t)$ на интервале температур от 20°С до 700°С, приведенный в тексте проблемной ситуации.

3. ПАРА СВЯЗАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ: $(\overset{+}{\Delta l}, \overset{+}{\sigma})$

□ Тип второго показателя не вызывает сомнения — чем выше предел прочности материала стержней арматуры после удлинения, тем лучше, т. к. это повышает предел прочности железобетонного изделия в целом. Выбор типа первого показателя требует более подробного пояснения. Очевидно, что степень сжатия бетона имеет оптимальное значение. Его превышение приведет не к улучшению, а к ухудшению прочностных характеристик железобетонных изделий. Однако из текста проблемной ситуации следует, что описанная в ней технология для относительно коротких балок позволяет получить степень сжатия бетона ниже оптимального значения. Так как увеличение удлинения стержня арматуры приводит к увеличению степени сжатия бетона, то, значит, данный показатель является положительным.

4. УЗЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ $(\overset{+}{\Delta l}, \overset{+}{\sigma}) : t$.

5. $t_0 \leqslant t < t^*$,

где t^* — температура плавления материала стержня.

□ Выбор в качестве верхнего предела изменения параметра t — температуры плавления материала стержня обусловлен тем, что при данной температуре стержень получает максимальное удлинение, оставаясь при этом твердым телом.

6. $\dfrac{\partial(\Delta l)}{\partial t} = \alpha l_0$; $\dfrac{\partial\sigma}{\partial t} = -2k(t - t_0)$.

7. $0 < \alpha \leqslant \varkappa$; $0 < l_0 \leqslant \varkappa$; $0 < k \leqslant \varkappa$.

□ Здесь $\varkappa$ — некоторое положительное число. В каждом из этих трех неравенств под $\varkappa$ подразумеваются различные числа.

8. $\dfrac{\partial(\overset{+}{\Delta l})}{\partial t} > 0$; $\dfrac{\partial\overset{+}{\sigma}}{\partial t} \leqslant 0$.

9. $(\overset{+}{\Delta l}, \overset{+}{\sigma})$ — противоречивые показатели.

10. УЗЛОВОЙ ЭЛЕМЕНТ $(t, (\overset{+}{\Delta l}, \overset{+}{\sigma}))$ — стержень.

11. ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ $(t, (\overset{+}{\Delta l}, \overset{+}{\sigma}))$ — температура нагрева стержня (t) должна быть равна исходной тем-

пературе (t_0), что позволит увеличить предел прочности материала стержня после удлинения (σ); температура нагрева стержня должна быть несколько меньше температуры плавления материала стержня (t^*), что позволит увеличить степень его удлинения (Δl).

КРАТКАЯ ФОРМУЛА ФИЗИЧЕСКОГО ПРОТИВОРЕЧИЯ

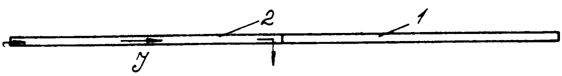
(t, ($\overset{+}{\Delta l}$, $\overset{+}{\sigma}$)) — температура нагрева стержня должна быть равна исходной температуре (t_0) и температуре несколько меньшей температуры плавления материала стержня (t^*).

□ Символы, заключенные в скобки, включены в формулы ФП для пояснения результата выполнения данной операции.

12. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

(t, (Δl, σ) : I) Заменить стержень системой, состоящей из двух стержней, температура одного из которых равна исходной температуре (t_0), а температура другого — несколько меньше температуры плавления материала стержня (t^*) (1).

Иллюстрация принципиального решения 1.



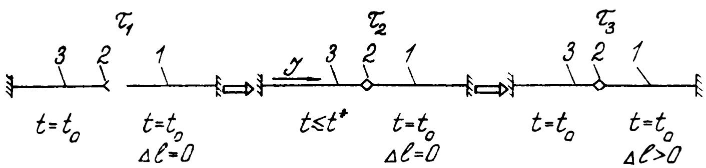
где 1 — «холодный» стержень, его температура равна t_0, 2 — «горячий» стержень, его температура не более t^*, J — электрический ток.

□ При выполнении этой операции допускаются стилистические изменения текста используемого приема.

13. ПРОИЗВОДНЫЕ СИСТЕМЫ:

А. 1-ая производная система отличается от исходной тем, что в ней с целью увеличения предела прочности материала стержня после удлинения и величины его удлинения, вместо стержня, который удлиняется за счет собственного нагрева, используется система из двух стержней, один из которых удлиняется за счет нагрева другого стержня.

Б. ЭСКИЗ 1-ой СИСТЕМЫ.



где 1 — стержни арматуры, 2 — механический зажим, 3 — термодомкрат, J — электрический ток, $\tau_1 \div \tau_3$ — фазы функционирования 1-й системы, ⇒ — переход от одной фазы к другой.

Г. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ 1-ой СИСТЕМЫ.

В исходном положении (τ_1) термодомкрат 3 имеет температуру t_0 и не контактирует со стержнями арматуры 1. Затем по нему пропускают электрический ток и он нагревается до температуры не более t^*. В результате этого термодомкрат удлиняется, что позволяет соединить его с помощью зажима 2 со стержнями арматуры (τ_2). На последней фазе функционирования (τ_3), термодомкрат остывая, растягивает стержни, в результате чего они удлиняются на величину Δl.

□ Выполнение данной операции алгоритма вызывает наибольшие трудности, что объясняется ее синтетическим характером, в отличие от всех предыдущих аналитических операций. Поиск производных систем представляет из себя процедуру конкретизации результата применения приемов устранения ФП. Это, как известно, требует от пользователя привлечения в процесс решения поисковой задачи сведений, которые не содержатся ни в ее условиях, ни в базе метода.

Если поиск производной системы заканчивается неудачей, то это означает, что процедура конкретизации в данном случае либо в принципе невозможна, либо пользователь не владеет необходимой для этого информацией.

Найденная производная система не только однофункциональна с исходной, но и эквивалентна ей по структуре математической модели.

Математическая модель исходной системы

$$\begin{cases} \Delta l = \alpha l_0 (t - t_0) \\ \sigma \approx \sigma_0 - k (t - t_0)^2 \end{cases}$$

Математическая модель 1-ой производной системы

$$\begin{cases} \Delta l = \alpha' l_0 (t' - t_0) \\ \sigma \approx \sigma_0 - k (t_0 - t_0) = \sigma_0 \end{cases}$$

где α' — коэффициент температурного расширения материала термодомкрата, t' — температура материала термодомкрата после нагрева.

Ход дальнейшего решения поисковой задачи не приводится.

Как уже отмечалось выше, применять алгоритм повышения качества возможно лишь в том случае, если известно несколько показателей исходной системы. А как быть в тех случаях, когда требуется улучшить только один показатель этой системы? Такого рода проблемы в технике встречаются довольно часто. Они связаны с устранением какого-либо конкретного недостатка, например, снижения стоимости, уменьшения габаритов, повышения производительности и т. п. В подобных случаях приведенный выше алгоритм использовать нельзя. Поэтому для этих целей пришлось разработать *алгоритм устранения недостатков* (АУН), текст которого приводится ниже.

Надо отметить, что данный алгоритм можно применять в тех же случаях, что и алгоритм повышения качества. Для этого по отношению к показателям, указанным в условиях исходной поисковой задачи, формулируется ряд отдельных поисковых задач (для каждого показателя «своя» задача), которые затем решаются последовательно. Найденное при этом множество производных систем частично будет совпадать с результатом решения исходной поисковой задачи, полученного с помощью алгоритма повышения качества.

АЛГОРИТМ УСТРАНЕНИЯ НЕДОСТАТКОВ

1. Сформулируйте на основании описания проблемной ситуации условия поисковой задачи.

Результат запишите в форму 1.

Ф. 1.

УСЛОВИЯ ПОИСКОВОЙ ЗАДАЧИ. Дано: 1) исходная система — ..., 2) функция исходной системы — ..., 3) показатель исходной системы, значение которого надо улучшить π_1 — ... НАЙТИ: множество производных систем.

где π_1 — символическое имя улучшаемого показателя.

Вместо точек записываются естественноязыковые имена исходной системы, ее функции и улучшаемого показателя.

2. Определить функциональную зависимость между улучшаемым показателем исходной системы и параметрами ее элементов (функцию показателя).

Результат запишите в соответствии с формой 2.

Ф. 2.

$\pi_1 = f(P_1, ..., P_k)$ P_1 — ..., ... P_k — ... .

где $P_1, ..., P_k$ — множество параметров элементов исходной системы, $f(\ \ )$ — знак функциональной зависимости.

Вместо точек записываются естественноязыковые имена соответствующих параметров.

3. Определите среди параметров, входящих в функцию показателя исходной системы, независимые параметры.

Результат запишите в форму 2, отметив зависимые параметры верхней волнистой линией.

◇ Если в функцию показателя входят только зависимые параметры, то перейти к выполнению операции 6. В противном случае перейти к выполнению операции 4.

4. Определите функциональные зависимости между зависимыми параметрами и другими параметрами элементов системы (функции параметров).

Результат запишите в соответствии с формой 3.

Ф. 3.

$\tilde{P}=f(P_1, ..., P_k)$
P_1 — :..,
. . . . . .
P_k — ....

где $\tilde{P}$ — зависимый параметр элемента исходной системы.

Вместо точек записываются естественноязыковые имена соответствующих параметров.

5. Подставьте функции зависимых параметров в функции улучшаемого показателя.

Результат представьте в соответствии с формой 2.

Перейдите к выполнению операции 3.

6. Определите тип улучшаемого показателя.

Результат зафиксируйте в записи функции данного показателя, отметив его верхним знаком «+», если он положительный, или верхним знаком «—», если он отрицательный.

7. Определите интервал возможных изменений параметров, входящих в функцию улучшаемого показателя.

Результат запишите в соответствии с формой 4.

Ф. 4.

$p_1 \leqslant P \leqslant p_2$

где P — один из параметров, входящих в функцию улучшаемого показателя, p_1, p_2 — значения нижнего и верхнего предела изменения параметра P.

8. Выберите один из параметров, входящих в функцию улучшаемого показателя, руководствуясь при этом следующим правилом.

«Приоритетом при выборе пользуются те параметры, изменение которых в допустимом интервале значений приводит к максимальному изменению значения показателя π_1».

Результат запишите в соответствии с формой 5.

Ф. 5.

$p \equiv$ _ _ _

Вместо черточек записывается символическое имя, выбранного параметра.

9. Определите первую частную производную улучшаемого показателя по параметру p.

Результат запишите в соответствии с формой 6.

Ф. 6.

$\dfrac{\partial \pi_1}{\partial p} =$ — — —

Вместо черточек записывается результат выполнения операции.

◇ Если рассмотрены все параметры, входящие в функцию улучшаемого показателя, то решение поисковой задачи закончено и результатом является совокупность форм 13.

10. Определите знак производной улучшаемого показателя при условии, что входящие в его функцию параметры изменяются в установленных пределах (см. результат операции 7).

Результат запишите в форму 6 в следующем виде.

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial p} = - - - L,$$

где L: „>0"; „<0"; „$\geqslant 0$"; „$\leqslant 0$"; „$\gtrless 0$",

11. Определите желательное значение параметра, используя для этого следующие правила.

ЕСЛИ	ТО
$\frac{\overset{+}{\partial \pi_1}}{\partial p} > (\geqslant)\, 0$	желательно, чтобы p был равен p_2
$\frac{\overset{-}{\partial \pi_1}}{\partial p} > (\geqslant)\, 0$	желательно, чтобы p был равен p_1
$\frac{\overset{-}{\partial \pi_1}}{\partial p} < (\leqslant)\, 0$	желательно, чтобы p был равен p_2
$\frac{\overset{+}{\partial \pi_1}}{\partial p} < (\leqslant)\, 0$	желательно, чтобы p был равен p_1
$\frac{\overset{+}{\partial \pi_1}}{\partial p} \gtrless 0 \quad \frac{\overset{-}{\partial \pi_1}}{\partial p} \gtrless 0$	перейти к выполнению операции 8.

Результат запишите в соответствии с формой 7.

Ф. 7.

$p_{ж} = - - -$

где $p_{ж}$ — желательное значение параметра p.

12. Определите, какие показатели исходной системы ухудшатся в том случае, если параметр p будет равен $p_{ж}$.

Результат запишите в соответствии с формой 8.

Ф. 8.

УХУДШАЮЩИЕСЯ ПОКАЗАТЕЛИ:
Π_1 — ... (α_1),
. . . .
Π_m — ... (α_m).

где $П_m$ и α_m — символические имена m-го показателя и его коэффициента значимости.

Вместо точек записываются естественноязыковые имена показателей исходной системы.

◇ Если ухудшающиеся показатели найдены, то перейти к выполнению операции 13, в противном случае — к выполнению операции 8.

13. Определите коэффициенты значимости показателей исходной системы $П_1, ..., П_m$.

Результат запишите в соответствии с формой 8.

14. Запишите пары показателей $(\pi_1, П_1)$, $(\pi_1, П_2)$, ..., ..., $(\pi_1, П_m)$ в форму 9 в порядке возрастания коэффициентов значимости показателей $П_1, ..., П_m$.

Ф. 9.

ПАРЫ ПРОТИВОРЕЧИВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ: - - -.

Вместо черточек записываются символические имена показателей, образующих пары.

15. Определите узловой элемент исходной системы.

Результат запишите в форму 10.

Ф. 10.

УЗЛОВОЙ ЭЛЕМЕНТ $(p, (\pi_1, \pi_2))$ — (указывается имя узлового элемента).

где π_2 — символическое имя показателя с наибольшим значением коэффициента значимости (см. ф. 9).

16.
17.
18.
} соответствуют операциям 16—18 алгоритма повышения качества

◇ Перейдите к выполнению операции 8.

Рассмотрим особенности применения данного алгоритма на примере решения конкретной поисковой задачи.

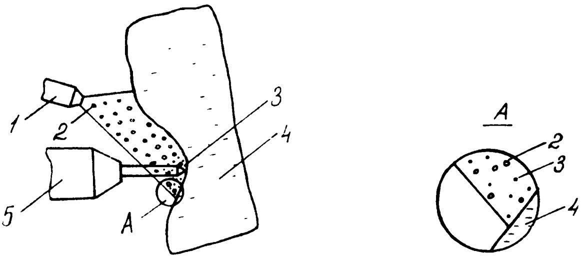
ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 6

Для подавления пыли, которая образуется при добыче угля с помощью отбойного молотка используют струю, состоящую из капель воды.

Капли воды, хаотично двигаясь в зоне образования пыли, контактируют с ней, в результате чего капли воды как бы «поглощают» частицы пыли. Такого рода образования сливаются с другими каплями воды, «тяжелеют» и падают на землю.

Надо отметить, что чем меньше размер капель воды в струе, тем эффективнее идет процесс подавления пыли при прочих равных условиях.

Одной из главных характеристик данной системы является ее экономичность — масса воды, расходуемая в единицу времени. Значение этого показателя не удовлетворяет предъявляемому требованию.



где 1 — генератор капель воды, 2 — капли воды, 3 — пыль, 4 — горная порода, 5 — отбойный молоток.

На основании данной проблемной ситуации можно сформулировать следующую задачу.

1. УСЛОВИЯ ПОИСКОВОЙ ЗАДАЧИ.

Дано: 1) исходная система — установка пылеподавления;

2) функция исходной системы — уменьшение концентрации пыли в воздухе;

3) $\pi_1 \equiv Э$ — экономичность.

Найти: множество производных систем.

2. $Э = k/\bar{M}$.

где k — размерный коэффициент пропорциональности; M — масса воды, расходуемая установкой пылеподавления в единицу времени.

3. $M = (4\pi d^3/3)\,n\rho$,

где n — число капель воды, создаваемое установкой пылеподавления в единицу времени; ρ — плотность воды; d — диаметр капель воды.

4. $Э = 3k/4\pi d^3 n\rho$.

5. $0 < n \leqslant \varkappa$; $\rho \approx 10^3$ кг/м^3; $d^* \leqslant d \leqslant \varkappa$,

где d^* — средний диаметр частиц пыли, $\varkappa$ — см. с. 114.

□ Очевидно, что дальнейшее уменьшение размера капель воды бесполезно, т. к. эффективность связывания частиц угольной пыли не повысится.

6. $p \equiv d$.

□ Из выражения, определяющего экономичность установки пылеподавления, видно, что наибольшее влияние на значение данного показателя оказывает диаметр капель воды (d).

7. $\dfrac{\overset{+}{\partial Э}}{\partial p} = -9k/4\pi d^4 n\rho < 0$.

8. $d_ж = d^*$.

9. УХУДШАЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ:

B — степень воздействия на шахтера.

□ Действительно, если размер капель воды будет равен размеру частиц пыли, то они будут попадать в дыхательные пути шахтера так же часто, как и частицы пыли, что вредно с точки зрения его здоровья.

□ Так как выявлен только один ухудшающийся показатель исходной системы, то 13-ую операцию алгоритма можно не выполнять.

10. ПАРЫ ПРОТИВОРЕЧИВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ: *Э*, *В*.

11. УЗЛОВОЙ ЭЛЕМЕНТ:

(*d*, (*Э*, *В*)) — капли воды.

12. ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ

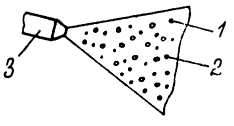
(*d*, (*Э*, *В*)) — диаметр капель воды должен быть несколько больше среднего диаметра частиц пыли, что позволит увеличить экономичность установки пылеподавления; диаметр капель воды должен быть как можно больше, что позволит уменьшить степень воздействия установки пылеподавления на шахтера.

КРАТКАЯ ФОРМУЛА ФИЗИЧЕСКОГО ПРОТИВОРЕЧИЯ (*d*, (*Э*, *В*)) — диаметр капель должен быть несколько больше среднего диаметра частиц пыли и как можно больше.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

(*d*, (*Э*, *В*) : I) «Заменить каждую каплю воды в струе системой, состоящей из двух капель, диаметр одной из которых несколько больше диаметра частиц пыли, а диаметр другой имеет значение, при котором та не оказывает влияние на здоровье шахтера» (1).

Иллюстрация принципиального решения 1.

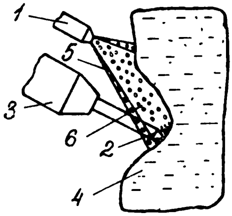


где 1 — «крупные» капли воды, 2 — «мелкие» капли воды, 3 — генератор капель воды.

13. ПРОИЗВОДНЫЕ СИСТЕМЫ.

А. 1-ая система отличается от исходной тем, что в ней с целью увеличения экономичности и уменьшения степени вредного воздействия на шахтера капель воды вместо струи воды, имеющей капли одного диаметра, используются две коаксиально расположенные струи воды, причем диаметр капель внутренней струи несколько больше диаметра частиц пыли, а диаметр капель внешней струи выбирается из условий наименьшей степени воздействия на шахтера.

Б. ЭСКИЗ 1-ой СИСТЕМЫ.



где 1 — генератор капель воды, 2 — пыль, 3 — отбойный молоток, 4 — горная порода, 5 — внешняя струя воды, 6 — внутренняя струя воды.

В. —

Г. ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ 1-ой СИСТЕМЫ.

Внутренняя струя воды, состоящая из мелких капель, успешно подавляет пыль. Внешняя струя препятствует распространению мелких капель в объеме шахты.

□ К плодотворным идеям приводят последующие циклы решения этой задачи по таким параметрам как плотность воды (ρ) и число капель в струе воды (n). Для сокращения записей рассмотрим только основные моменты этих циклов решения.

Из формального анализа выражения, определяющего экономичность установки пылеподавления (см. п. 4), следует, что желательно уменьшить плотность воды. Физическими способами (например, за счет изменения температуры) значительно уменьшить этот параметр не удается. Отсюда следует физическое противоречие.

«Плотность капель воды должна быть как можно меньше, что позволит увеличить экономичность установки пылеподавления; плотность воды должна быть не менее ρ^*, что позволит обеспечить реализуемость данной установки»,
где $\rho^* \approx 1000$ кг/м^3 — плотность воды при нормальных условиях.

Используя 4-ый прием устранения ФП можно прийти к идее применения вместо струи воды струи пены. Действительно, каждый пузырек пены характеризуется двумя плотностями воды: средней плотностью по объему пузырька (ρ_1), которая незначительна по величине, и плотностью воды в «оболочке» пузырька, которая равна ρ^*.

$$\rho_1 = m/V,$$

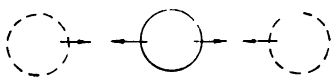
где m и V — соответственно масса и объем пузырька пены.

Технически эту идею реализовать несложно: достаточно добавить в воду поверхностно активные вещества и пропустить ее через пеногенератор.

По отношению второго параметра можно сформулировать следующее ФП.

«Число капель воды в струе должно быть как можно меньше, что позволит увеличить экономичность установки пылеподавления; число капель воды в струе должно быть как можно больше, что позволит увеличить эффективность пылеподавления».

С помощью 10-го приема устранения ФП можно перейти к идее использования для подавления пыли струи, в которой капли воды совершают периодические колебания. Тогда по отношению к шахтерам их будет как бы меньше, чем по отношению к частицам пыли. Действительно, если скорость колебания капель выше, чем характерная скорость движения частиц пыли, то вероятность столкновения между ними возрастает; тем самым эффективность пылеподавления увеличивается, хотя число капель остается прежним. Образно говоря, сообщение каплям воды колебательного движения увеличивает их число «как минимум в три раза».



где 0 — среднее положение капли, 1, 2 — крайние положения капли в процессе колебания.

Реализовать данную идею в условиях шахты вряд ли удастся, но она может быть использована в стационарных системах пылеподавления, например, в фильтрах.

Теперь несколько слов об особенностях решения поисковых задач, в которых исходная система характеризуется точечными показателями. Анализ большого числа технических проблем показал, что в этом случае больших трудностей с выявлением и формулированием ФП не возникает. Это объясняется тем, что ввиду простоты взаимосвязи между точечными показателями и параметрами элементов исходной системы почти все необходимые компоненты ФП уже представлены в тексте проблемной ситуации.

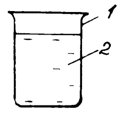
Поэтому при решении поисковых задач, в условиях которых указаны несколько точечных показателей, можно использовать алгоритм, состоящий из операции 1, 16÷18 алгоритма повышения качества. В том случае, если в этих условиях указан только один точечный показатель, то можно воспользоваться операциями 1, 12÷18 алгоритма устранения недостатков.

Поясним сказанное на примере решения конкретной поисковой задачи.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 7

При получении химически чистых веществ обычно используется кварцевая посуда. В большинстве случаев ее стойкость не вызывает нареканий. Однако при плавке в ней веществ —

восстановителей 2, например, некоторых металлов, кварцевые колбы 1 быстро разрушаются и к тому же загрязняют расплав кремнием (Si).



Это объясняется тем, что химическая активность некоторых веществ-восстановителей выше, чем у кремния. Поэтому их атомы замещают в материале колбы атомы кремния.

Например, $SiO_2+X \rightleftarrows Si+XO_2$, где X — символ атома вещества-восстановителя.

Высокой стойкостью по отношению к подобным веществам отличается муллит (от $Al_6Si_2O_{13}$ до Al_4SiO_3). Однако с помощью традиционной стеклодувной технологии из него невозможно изготовить химическую посуду сложной формы, т. к. он плавится при температуре 2200°С, в то время как температура плавления кварца 1100÷1200°С.

На основании данной проблемной ситуации можно сформулировать следующую задачу.

1. УСЛОВИЯ ПОИСКОВОЙ ЗАДАЧИ.

ДАНО: 1) исходная система — кварцевая колба;

2) функция исходной системы — сохранение формы жидкости при условии, что она находится внутри колбы;

3) $П_1 \equiv C$ — стойкость по отношению к веществам-восстановителям; $П_2 \equiv T$ — возможность изготовления с помощью стеклодувной технологии (технологичность).

НАЙТИ: множество производных систем.

2. ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ.

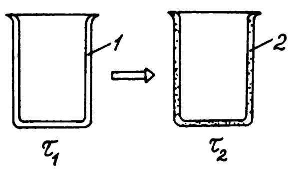
«Материалом колбы должен быть муллит, что позволит обеспечить ее стойкость по отношению к веществам-восстановителям; материалом колбы должен быть кварц, что позволит использовать для ее изготовления стеклодувную технологию».

□ Как следует из текста проблемной ситуации, узловым элементом является сама колба, а материал, из которого она изготовлена—узловым параметром (M). При этом «муллит» и «кварц» — значения этого параметра.

3. ПРИНЦИПИАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

(M, (C, T) : I) — «Изменить условия, в которых находится колба, таким образом, чтобы на стадии изготовления ее материалом был кварц, а на стадии функционирования — муллит» (6).

Иллюстрация принципиального решения 1.



где 1 — кварцевая колба, 2 — муллитовая колба, τ_1 и τ_2 — соответственно последняя фаза стадии изготовления и стадия функционирования, ⇛ — переход от одной стадии к другой.

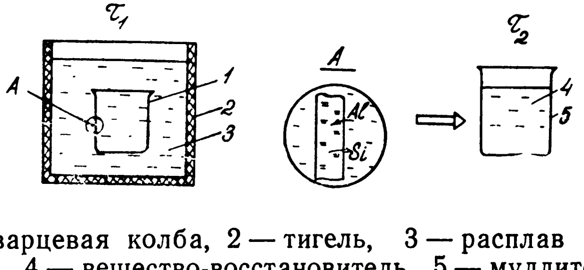
□ На первоочередное использование при выполнении этой операции одного из приемов устранения ФП «во времени» указывает то, что противоречивые показатели присущи колбе на различных стадиях жизненного цикла. Технологичность характеризует колбу на стадии изготовления, а стойкость — на стадии функционирования.

Принципиальное решение подсказывает идею «превращения» кварца в муллит на последней фазе изготовления колбы. Это должны «обеспечить» новые условия, иными словами — новая технология. Однако сведений о том, как подобное превращение можно осуществить, принципиальное решение не содержит. Поэтому пользователь должен «добавить» эту информацию в процесс решения данной задачи, используя либо собственный запас знаний, либо сведения из специальной литературы.

4. А. ПРОИЗВОДНЫЕ СИСТЕМЫ.

1-ая система отличается от исходной тем, что в ней с целью обеспечения возможности использования при ее изготовлении стеклодувной технологии и обеспечения ее стойкости по отношению к веществам восстановителям условия, в которых находится колба на стадии изготовления, изменены следующим образом: при формировании колбы ее материалом является кварц, который после отжига колбы в расплаве алюминия с галлием при температуре 800÷1000°С в течение нескольких суток превращается в муллит.

Б. ЭСКИЗ 1-ой СИСТЕМЫ.



где 1 — кварцевая колба, 2 — тигель, 3 — расплав алюминия с галлием, 4 — вещество-восстановитель, 5 — муллитовая колба, τ_1 — последняя фаза стадии изготовления колбы (фаза превращения кварца в муллит), τ_2 — стадия функционирования колбы.

□ Описание устройства и функционирования 1-ой системы опущено, т. к. их суть раскрыта в пунктах А и Б.

Конечно, в приведенных здесь алгоритмах учтены далеко не все особенности поисковых задач 3-го типа, однако сказанного достаточно для решения большинства из них. В этом можно убедиться самому, если попытаться разрешить при помощи параметрического метода приводимые ниже проблемные ситуации (ПС). Часть из них разработана на основании авторских свидетельств, патентов и задач, приводимых в различных работах Г. С. Альтшуллера (ПС 10÷12, 14, 16, 21, 24) и ряда других авторов (ПС 17, 19, 20, 23), остальные проблемные ситуации составлены автором этой книги.

Большинство из приводимых ниже проблемных ситуаций представлены в произвольном (неструктурированном (см. с. 23)) виде. Поэтому прежде чем приступить к постановке поисковых задач, выделите в их тексте проблемную часть.

ПРОБЛЕМНЫЕ СИТУАЦИИ 1÷3

Продолжить решение поисковых задач, соответствующих данным проблемным ситуациям (см. с. 24, 25), начиная с операции 17 алгоритма повышения качества, используя следующие результаты выполнения операции 16.

ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ (ПС 1)

«Между зоной сварки и телекамерой должен быть экран, что позволит обеспечить ее защиту от брызг жидкого металла; между зоной сварки и телекамерой экрана быть не должно, что позволит обеспечить контроль процесса сварки с помощью телекамеры».

ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ (ПС 2)

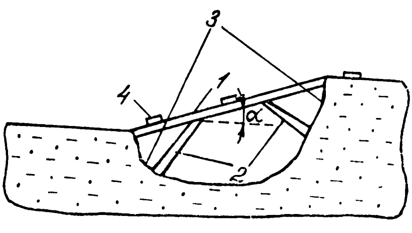
«Концентрация атомов серебра и меди в воде должна быть как можно больше, что позволит увеличить производительность дезинфицирующей установки; концентрация атомов серебра и меди в воде должна быть как можно меньше, что позволит уменьшить стоимость дезинфицирующей установки».

ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ (ПС 3)

«Элекромагнит должен находиться над транспортером, что позволит обеспечить извлечение металлических частиц из литейной земли; электромагнит должен находиться над бункером, что позволит «сбрасывать» в него металлические частицы без остановки транспортера».

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 8

Известны следующие мостовые переходы через горные ущелья.

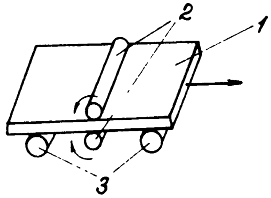


где 1 — полотно моста, 2 — опоры моста, 3 — стенки ущелья, 4 — автомобили.

Одним из важнейших показателей подобного мостового перехода является безопасность движущегося по нему автотранспорта. Она тем выше, чем меньше угол наклона полотна моста к линии горизонта (α). Для того, чтобы обеспечить необходимый уровень безопасности движения, в рассматриваемом случае требуется выполнить дополнительные работы: либо надо вынуть большой объем горной массы из правой стенки ущелья, либо построить предварительную эстакаду перед мостовым переходом на левой стороне ущелья. Оба эти способа позволяют уменьшить угол α до требуемой величины, но ведут к значительному увеличению стоимости моста.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 9

Для получения листовой стали (проката) используют прокатные станы, рабочими органами которых являются обжимные и подающие валки.

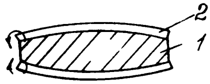


где 1 — слиток стали, 2 — пара обжимных валков, 3 — подающие валки.

Последние транспортируют слиток в зону расположения обжимных валков, которые вращаются на встречу друг другу. За счет этого слиток втягивается в зазор между обжимными валками. Так как величина этого зазора несколько меньше толщины слитка, то, проходя через него, он деформируется, становясь одновременно тоньше, шире и длиннее.

Показатель качества прокатного стана, который в основном определяется длиной прокатного стана и качеством получаемого на нем проката, не удовлетворяет предъявляемому требованию.

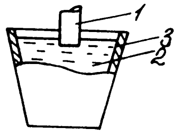
Очевидно, что длину прокатного стана можно уменьшить за счет уменьшения числа обжимных валков, но это приводит к необходимости увеличивать интенсивность воздействия каждой пары валков на слиток. Последний параметр, при прочих равных условиях, тем больше, чем меньше диаметр обжимных валков. Однако, уменьшение диаметра обжимного валка приводит к его прогибу, что в свою очередь ведет к увеличению неравномерности деформации по ширине слитка, а следовательно к ухудшению качества проката.



где 1 — слиток, 2 — обжимные валки.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 10

В некоторых случаях расплавленный металл необходимо подвергнуть воздействию акустических колебаний. Для этого используют звуковод, который соединяет ультразвуковой генератор с поверхностью расплава.

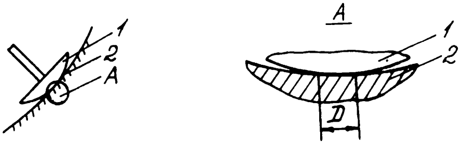


где 1 — звуковод, 2 — расплавленный металл, 3 — тигель.

У данной системы есть один существенный недостаток: звуковод под действием высоких температур разрушается и загрязняет металл.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 11

Обычно для получения металлических деталей с высокой степенью частоты поверхности используются шлифовальные станки. Если поверхность детали имеет участки различной кривизны, то ее шлифовку можно вести следующим образом.



где 1 — шлифовальный круг, 2 — деталь.

Шлифовальный круг, вращаясь вокруг своей оси, «сканирует» поверхность детали, последовательно обрабатывая все ее участки. Зона обработки в каждый момент времени равна площади контакта шлифовального круга и детали (окружность диаметром D). Та, в свою очередь, достигает максимального значения тогда, когда радиус кривизны шлифовального круга равен аналогичной характеристике обрабатываемого участка детали.

Показатель качества шлифовального станка, который в основном определяется его производительностью и универсальностью, не удовлетворяет предъявляемому требованию.

Производительность станка можно повысить за счет увеличения площади контакта шлифовального круга и детали. Однако при этом, как нетрудно заметить, уменьшается спектр обрабатываемых деталей по степени кривизны их поверхности. Иными словами, снижается универсальность станка.

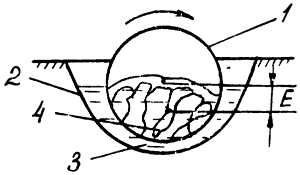
ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 12

Показатель качества охотничьего ружья, который в основном определяется его весом и дальнобойностью, не удовлетворяет предъявляемому требованию.

Если принять массу порохового заряда и массу дроби фиксированными параметрами, то дальнобойность ружья однозначно определяется длиной его ствола. Вес же охотничьего ружья равен сумме веса приклада и ствола.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 13

В настоящее время широкое распространение получили стиральные машины барабанного типа. Они имеют следующую компоновку:



где 1 — перфорированный барабан, 2 — корыто, 3 — мыльный раствор, 4 — ком белья.

Стирка и отжим белья в этих машинах обеспечивается за счет вращения барабана. Причем на режиме отжима скорость его вращения достигает весьма значительных величин.

Стиральные машины данного типа имеют один существенный недостаток — сильные вибрации, возникающие на режиме отжима (иногда машина начинает буквально подпрыгивать). Это объясняется тем, что после подачи воды в корыто ком белья намокает и уменьшает свой объем, поэтому его центр масс перемещается ниже оси вращения барабана. В результате этого появляется эксцентриситет E. На режиме отжима на барабан начинают действовать большие центробежные силы, что приводит к вибрациям и, как следствие, — к снижению ресурса стиральной машины (R).

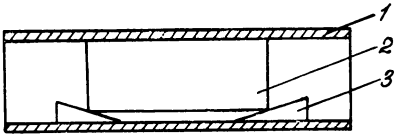
Рекомендация. Примем, что функция последнего показателя определяется следующим образом:

1. $R = k_1/F$, 2. $F = Mn^2E$, 3. $E \sim \sqrt[3]{\Delta V}$, 4. $\Delta V = k_2V$.

где k_1 — коэффициент пропорциональности, F — сила, действующая на барабан на режиме отжима, M — масса кома белья, n — число оборотов барабана, ΔV — величина уменьшения объема кома белья в результате намокания, V — объем кома белья после его загрузки в барабан, k_2 — коэффициент «усадки» кома белья в результате намокания.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 14

При фиксации детали А внутри детали В (например, в трубке) используют металлические клинья.

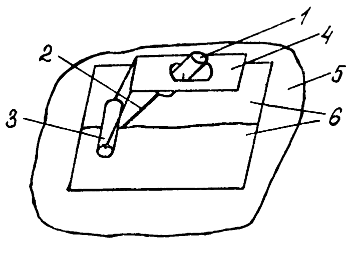


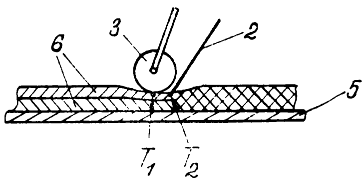
где 1, 2 — взаимофиксированные детали А и В, 3 — клинья.

Для того, чтобы детали были более надежно зафиксированы относительно друг друга, степень упругой деформации клиньев после установки должна быть как можно больше. С другой стороны, для удобства разборки этого узла данная характеристика должна быть как можно меньше.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 15

В последнее время для сварки полимерных материалов используется лазер. Например, для сварки тонких пленок применяется следующая установка.





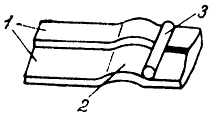
где 1 — лазер, 2 — лазерный луч, 3 — прижимной ролик, 4 — подвижная платформа, 5 — стол, 6 — свариваемые полосы пленки, T_1 и T_2 — соответственно точка максимального сжатия полос пленки и точка воздействия лазерного луча.

Эта установка работает следующим образом. Платформа, на которой установлен лазер и прижимной ролик, перемещается вдоль линии сварочного шва. Ролик прижимает друг к другу края полос пленки, а луч лазера расплавляет их, в результате чего и образуется сварочное соединение.

Качество сварочного шва, которое в этом случае определяется его прочностью и степенью искривления (изогнутостью), не удовлетворяет предъявляемому требованию.

Прочность сварного соединения в большой степени зависит от расстояния между точками T_1 и T_2. Это объясняется тем, что в точке T_1 степень прижатия полос достигает максимального значения. Поэтому чем ближе точка воздействия лазерного луча (T_2) к точке T_1, тем лучше прогревается и сплавляется материал полос, тем выше прочность сварочного шва.

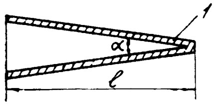
Расстояние между точками T_1 и T_2 можно сократить за счет уменьшения диаметра прижимного ролика, однако это может приводить к образованию «волны материала» (см. рисунок), в результате чего сварочный шов получается «изогнутым».



где 1 — свариваемые полосы, 2 — «волна материала», 3 — прижимной ролик.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 16

В последнее время широкое распространение получили установки ультразвуковой обработки. Одной из важных деталей этих установок являются концентраторы, которые позволяют повышать плотность энергии ультразвуковых колебаний.



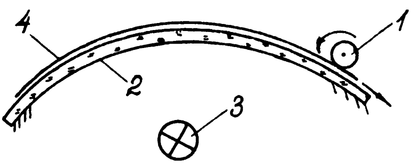
где 1 — концентратор, α, l — соответственно угол раскрытия и длина концентратора.

Показатель качества концентратора, который в основном определяется длиной (l) и коэффициентом потерь энергии, не удовлетворяет предъявляемому требованию.

Значения последнего показателя в первую очередь зависят от угла раскрытия концентратора (α). Чем он меньше, тем меньше потери энергии в процессе ее концентрации.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 17

Известна светокопировальная машина, которая имеет следующую подсистему протяжки кальки.



где 1 — протяжный ролик, 2 — стеклянная направляющая, 3 — источник света, 4 — лист кальки.

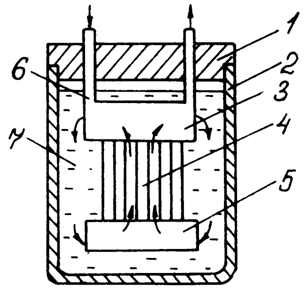
Функцией данной подсистемы является перемещение листа кальки по направляющей. Для этого край кальки заводится под протяжной ролик, вращение которого и позволяет выполнить указанную функцию.

В процессе эксплуатации светокопировальной машины штатная направляющая разбилась. В запасе подобной детали не оказалось, и ее попробовали сделать своими силами. Так как оборудования для гибки неорганического стекла не было, то решили изготовить направляющую из оргстекла. Однако скоро выяснилось, что такая замена материала направляющей увеличивает вероятность самовозгорания светокопировальной машины.

Это объясняется тем, что при протягивании кальки по оргстеклу на его поверхности скапливается электрический заряд, что приводит к возникновению электрических разрядов (искр). При наличии во внутреннем объеме светокопировальной машины большого количества бумажной пыли (она накапливается в процессе работы) это может привести к ее самовозгоранию.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 18

В настоящее время на атомных электростанциях и на морских судах стали широко использовать ядерные реакторы интегрального типа. Их особенностью является то, что все системы первого контура расположены в одном корпусе — баке.



где 1 — крышка реактора, 2 — корпус реактора, 3 — теплообменник, 4 — активная зона (зона расположения ядерного топлива), 5 — насос, 6 — трубопровод 2-го контура, 7 — жидкометаллический теплоноситель (например, натрий).

Работают эти реакторы следующим образом. Теплоноситель нагнетается насосом в полость активной зоны, где он нагревается. После этого теплоноситель попадает в теплообменник, отдает там тепло теплоносителю 2-го контура, после чего снова попадает на вход насоса.

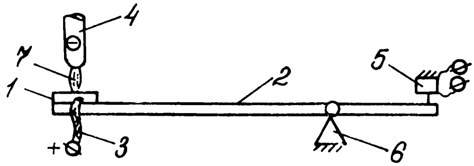
Известно, что одним из важнейших показателей подобных систем является степень радиационного воздействия на окружающую среду. В данном случае этот показатель определяется возможностью протечек теплоносителя 1-го контура через стенку корпуса реактора, что при данной конструкции полностью не исключается.

В процессе эксплуатации реактора в материале его корпуса за счет нейтронного излучения, химических реакций и температурных напряжений образуются межкристаллические дефекты и даже микротрещины. В результате этого радиоактивный теплоноситель может вытечь из 1-го контура реактора.

Рекомендация. При постановке поисковой задачи необходимо учесть, что если бы теплоноситель не контактировал с корпусом реактора, то его протечки были бы полностью исключены.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 19

Известна установка для измерения давления дуги:



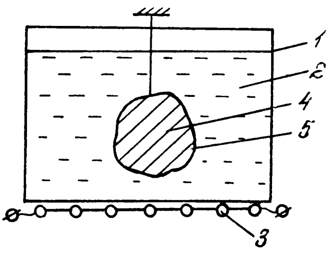
где 1 — площадка из тугоплавкого материала, 2 — рычаг, 3 — токоподводящий провод, 4 — электрод, 5 — тензодатчик, 6 — опора, 7 — дуга.

Работает эта установка очень просто. Дуга, которая образуется между электродом и площадкой, оказывает на последнюю некоторое давление. Данное силовое воздействие усиливается за счет рычага и фиксируется тензодатчиком.

К сожалению, этой простой системе присущ один существенный недостаток. Токоподводящий провод ввиду того, что он должен иметь большое сечение, вносит существенную погрешность в измерение давления дуги.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 20

В некоторых случаях для нанесения защитных и декоративных никелевых покрытий целесообразно использовать термохимический способ, который можно реализовать с помощью следующей установки:

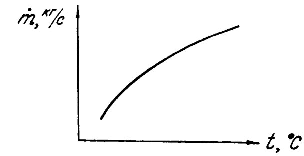


где 1 — ванна, 2 — раствор соли никеля, 3 — многосекционный электронагреватель, 4 — металлическая деталь, 5 — покрытие из никеля.

Перед началом ее работы в раствор опускают металлическую деталь, после чего включают часть секций нагревателя. Их количество определяется размером детали. В результате, часть раствора нагревается, и он начинает циркулировать в объеме ванны.

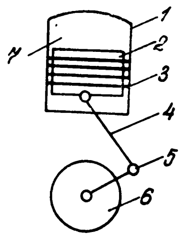
При нагреве раствора соль никеля разлагается. Это приводит к появлению в нем свободных атомов никеля, которые оседают как на поверхность детали, образуя никелевое покрытие, так и на внутреннюю поверхность ванны. В последнем и состоит главный недостаток установки термохимического никелирования деталей.

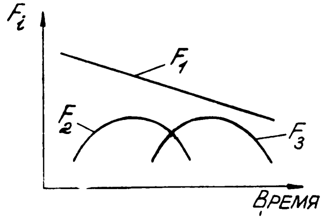
К сказанному надо добавить, что зависимость массовой скорости разложения соли никеля (m) от температуры раствора (t) определяется следующим графиком.



ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 21

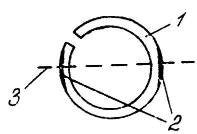
Известен двигатель внутреннего сгорания, работающий по следующей схеме:





где 1 — цилиндр, 2 — поршень, 3 — уплотнительные кольца, 4 — шатун, 5 — коленчатый вал, 6 — маховик, 7 — продукты сгорания топлива.

В процессе работы двигателя на поршень действуют силы F_1, F_2 и F_3. Первая из них обеспечивает вращение вала двигателя. Действие же сил F_2 и F_3 приводит к истиранию уплотнительных колец в плоскости вращения маховика.



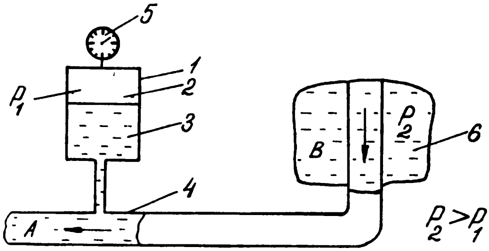
где 1 — уплотнительное кольцо, 2 — зона истирания, 3 — плоскость вращения маховика.

В результате этого уменьшается степень уплотнения пары цилиндр — поршень, что, как известно, ведет к снижению КПД двигателя внутреннего сгорания.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 22

Обычно манометры для измерения давления в гидравлическом контуре устанавливаются на его компенсаторе.

Компенсатор позволяет принять из контура А или выдать в него часть жидкости в случае изменения ее объема. Обычно подобные изменения связаны с увеличением или уменьшением температуры жидкости и проходят достаточно плавно. Но могут быть и аварийные ситуации, когда объем жидкости в компенсаторе растет очень быстро. Это может быть вызвано разгерметизацией контура А, в результате чего он соединяется с контуром В, имеющим более высокое давление. В этом случае давление газа в компенсаторе начинает увеличиваться, что фиксируется с помощью манометра. Внешняя система управления, получив от него сигнал о росте давления, «сбрасывает» давление газа в компенсаторе контура В, прекращая тем самым перетечку из него жидкости в контур А.



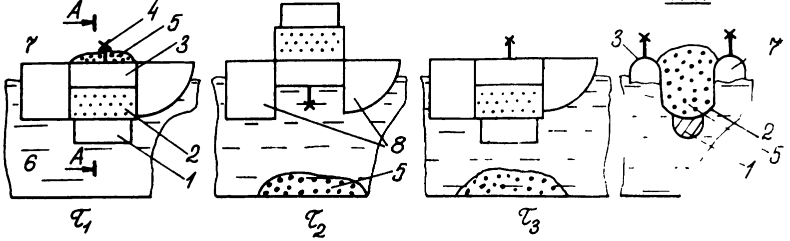
где 1 — бак компенсатора, 2 — газовый объем, 3 — резервный запас жидкости, 4 — трубопровод контура А, 5 — манометр, 6 — жидкость контура В, P_1 и P_2 — соответственно давление в контуре А и В.

Недостатком описанной системы контроля герметичности трубопроводов контура А является ее низкое быстродействие, которое зависит от чувствительности манометра — ΔP. Пока давление газа в баке увеличится на величину ΔP, в контур А перетекает недопустимое количество жидкости из контура В.

Однако в данных условиях применить другой, более чувствительный манометр (и тем самым уменьшить величину ΔP), невозможно.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 23

Для перекрытия русла рек используются саморазгружающиеся баржи следующей конструкции:



где 1 — противовес, 2 — кузов для гравия, 3 — воздушные колокола, 4 — клапаны, 5 — гравий, 6 — вода, 7 — воздух, 8 — основная часть баржи, τ_1, τ_2, τ_3 — фазы разгрузки баржи.

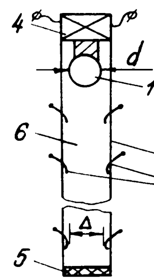
Она работает следующим образом. С берега в кузов баржи загружают гравий, после чего ее буксируют к месту разгрузки. С буксира при помощи веревки открывают один из клапанов (фаза τ_1). Воздух, давление которого в результате частичного погружения баржи в воду в процессе загрузки несколько возросло, выходит из полости колокола. Это приводит к нарушению баланса сил, действующих на кузов, и он опрокидывается, высыпая гравий на дно реки (фаза τ_2). После опорожнения кузов под действием противовеса возвращается в исходное положение (фаза τ_3), и баржа вновь направляется под загрузку.

Показатель качества саморазгружающейся баржи, который в основном определяется ее грузоподъемностью и вероятностью возвращения кузова в исходное положение, не удовлетворяет предъявляемому требованию. Последний из указанных показателей среди прочего зависит от момента, который создает противовес при возвращении кузова в исходное положение.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 24

При проведении горных работ необходимо за 0,6 с последовательно произвести 40 взрывов, причем промежутки между взрывами могут быть различными. График проведения взрывов должен выдерживаться с точностью до 0,001 с.

Очень часто для этого используется следующее программное устройство.

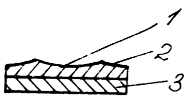


где 1 — стальной шарик, 2 — стеклянная трубка, 3 — посеребренные электрические контакты, 4 — соленоид, 5 — резиновая прокладка, 6 — разреженный газ.

Перед началом работы шарик «примагничен» к сердечнику соленоида. После отключения питания соленоида шарик начинает падать, замыкая при этом электрические контакты, что и позволяет получить необходимую последовательность электрических импульсов. Для возвращения шарика в исходное положение надо подать питание на соленоид и перевернуть трубку.

Данному устройству присущ один существенный недостаток: по мере его эксплуатации изменяется форма и коэффициент трения внешней поверхности электрических контактов. Это приводит к недопустимому ухудшению точности соблюдения графика взрывов, в результате чего дальнейшая эксплуатация программного устройства становится невозможной.

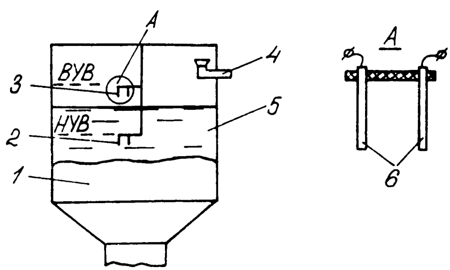
Неблагоприятные изменения параметров электрических контактов происходят за счет их многократного взаимодействия с шариком. Для того, чтобы обеспечить замыкание контактов, величина зазора между ними (Δ) должна быть меньше диаметра шарика (d). Поэтому при прохождении шарика между контактами на них (со стороны шарика) действует сила $F=$ $=k(d-\Delta)$, где k — коэффициент упругости контактов. Под действием этой силы шарик «раскатывает» в слое серебра, покрывающего контакты, «ложбинку».



где 1 — «ложбинка», 2 — слой серебра, 3 — электрический контакт.

ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 25

Известна следующая система регулирования уровня воды в водонапорной башне.



где 1 — бак, 2 — датчик НУВ (нижнего уровня воды), 3 — датчик ВУВ (верхнего уровня воды), 4 — сливная воронка, 5 — вода, 6 — электроды датчиков ВУВ (НУВ).

Когда вода опускается ниже уровня расположения датчика НУВ, его электрические контакты размыкаются. Это служит сигналом для включения насоса. Он начинает закачивать воду в бак до тех пор, пока ее уровень не подымется до уровня расположения электрических контактов датчика ВУВ, в результате чего они замыкаются, и система управления отключает насос.

В теплое время года данная система регулирования уровня работает нормально. Но при отрицательных температурах очень часто наблюдается несрабатывание датчика ВУВ. Это объясняется тем, что его контакты покрываются льдом, который, как известно, является диэлектриком. Поэтому после погружения контактов датчика ВУВ в воду электрическая цепь не замыкается, насос продолжает закачивать воду в бак, и она переливается через сливную воронку.

Очевидно, требуется ввести обогрев датчика ВУВ, но использование для этой цели электрических нагревателей нежелательно. Можно было бы воспользоваться теплом воды, которая находится в баке. Однако реализация этой идеи потребует размещения датчика ВУВ приблизительно на уровне датчика НУВ. Но тогда придется очень часто включать и выключать насос, что также нежелательно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В конце этой книги хотелось бы остановиться на перспективах развития параметрического метода.

Одним из важнейших резервов повышения эффективности данного метода является разработка ряда алгоритмов, в которых более полно учитывались бы особенности условий поисковых задач, в первую очередь — алгоритмов позволяющих получать формулы физических противоречий по отношению к парам частично противоречивых показателей. Как показывают предварительные оценки это позволит значительно расширить перечень задач, решаемых с помощью данного метода.

Другое направление совершенствования параметрического метода связано с повышением уровня его формализации. Видимо, многие заметили, что наибольшую трудность при решении поисковых задач вызывает переход от принципиального решения к техническому. Снизить «эвристичность» этой процедуры можно за счет привлечения для ее выполнения массива, содержащего большое число (~ 1000) описаний объектов с парными свойствами. Это позволило бы свести творческую задачу поиска подходящей замены узловому элементу на «рутинную» задачу выбора нескольких объектов из данного массива.

Очевидно, что подобное расширение базы параметрического метода потребует перехода от «ручных» алгоритмов решения поисковых задач, которые изложены в этой книге, к «машинным». В этом направлении уже сейчас получены обнадеживающие результаты — разработана система «НОВАТОР», представляющая компьютерную форму реализации алгоритма повышения качества.

Эта система помогает пользователю сформулировать условие поисковой задачи и через некоторое время предлагает ему для анализа несколько вариантов производных систем.

В последнюю версию компьютерной системы «НОВАТОР» включен массив, состоящий из 14 эвристических приемов и 200 описаний объектов с парными свойствами. Надо отметить, что данная версия содержит большое число подсказок типа «HELP», позволяющих даже неподготовленному пользователю быстро овладеть навыками постановки поисковых задач и анализа результатов ее решения.

Все, кто хотел бы получить более подробную информацию о компьютерной системе «НОВАТОР», могут обращаться по адресу: 119048, г. Москва, а/я 453, НТК «Метод» (т. 245-62-64, 245-43-07).

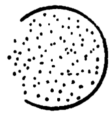
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

МАССИВ ОБЪЕКТОВ С ПАРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

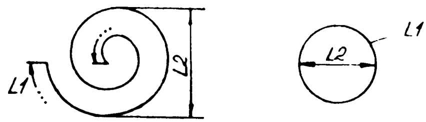
1. Система характеризуется двумя линейными размерами L1, L2 при условии, что:
1) L1 — линейный размер системы,
2) L2 — линейный размер элемента системы.

ТРОС (РЕССОРА)

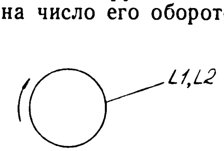
ПОРОШОК



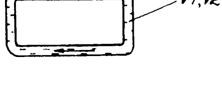
2. Твердое тело характеризуется двумя линейными размерами L1, L2 при условии, что:
1) форма твердого тела — спираль (кольцо),
2) L1 — длина спирали (длина окружности кольца),
3) L2 — габаритный размер спирали (диаметр кольца).



3. Твердое тело характеризуется двумя линейными размерами L1, L2 при условии, что:
1) форма твердого тела — кольцо,
2) твердое тело вращается,
3) центр вращения твердого тела совпадает с центром кольца,
4) L1 — абсолютная длина окружности кольца,
5) L2 — относительная длина окружности кольца (абсолютная длина кольца, умноженная на число его оборотов).



4. Жидкость характеризуется двумя объемами V1, V2 при условии, что:
1) жидкость циркулирует по замкнутому контуру,
2) V1 — объем жидкости, равный объему контура,
3) V2 — объем жидкости равный объему контура, умноженному на число циклов циркуляции.



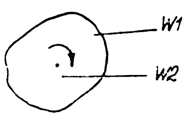
5. Твердое тело характеризуется двумя линейными размерами L1, L2 при условии, что:
1) твердое тело — материал с «памятью формы»,
2) в 1-й период времени температура твердого тела меньше *T*, во 2-й период времени температура твердого тела больше *T*,
3) *T* — температура изменения формы твердого тела,
4) L1 — линейный размер твердого тела в 1-ый период времени,
5) L2 — линейный размер твердого тела во 2-ой период времени.

1-й период времени 2-й период времени

6. Твердое тело характеризуется двумя площадями S1, S2 при условии, что:
1) форма твердого тела — губка (пористое тело),
2) S1 — площадь поверхности пор губки,
3) S2 — площадь внешней поверхности губки.

7. Твердое тело характеризуется двумя линейными скоростями W1, W2 при условии, что:
1) твердое тело вращается,
2) W1 — линейная скорость некоторой периферийной части твердого тела,
3) W2 — линейная скорость некоторой центральной части твердого тела.

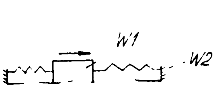
W2 может быть равна 0.



8. Система характеризуется двумя линейными скоростями W1, W2 при условии, что:
1) система — пружинный маятник,
2) W1 — линейная скорость груза маятника,
3) W2 — линейная скорость маятника в целом.

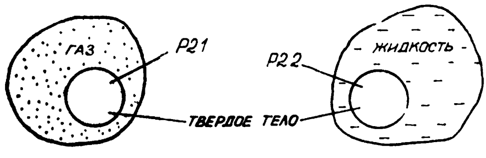
W2 может быть равна 0.

ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК



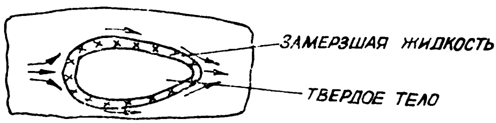
9. Твердое тело характеризуется двумя весами P2.1, P2.2 при условии, что:
1) твердое тело находится в среде, плотность которой в 1-ый период времени меньше, а во 2-ой период времени — больше (равна) его плотности,

2) P2.1 — вес твердого тела в 1-ый период времени,
3) P2.2 — вес твердого тела во 2-ой период времени.
P2.2 может быть равен 0.



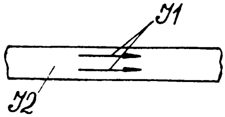
1-ый период времени 2-ой период времени

10. Жидкость характеризуется двумя линейными скоростями W1, **W2** при условии, что:
1) жидкость омывает твердое тело, температура которого ниже температуры кристаллизации жидкости,
2) W1 — скорость потока жидкости,
3) W2 — скорость замерзшей жидкости.
W2 равна 0.

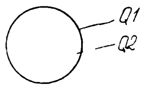


11. Твердое тело характеризуется двумя плотностями Ro1, Ro2 при условии, что:
1) форма твердого тела — губка (пористое тело),
2) Ro1 — плотность твердого тела без учета объема пор,
3) Ro2 — плотность твердого тела с учетом объема пор.

12. Твердое тело характеризуется двумя силами тока J1, J2 при условии, что:
1) твердое тело — проводник,
2) проводник находится в электромагнитном поле высокой частоты,
3) J1 — сила тока в поверхностном слое проводника,
4) J2 — сила тока внутри проводника.
J2 равна 0.

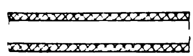


13. Твердое тело характеризуется двумя зарядами Q1, Q2 при условии, что:
1) твердое тело — проводник,
2) форма твердого тела — замкнутая оболочка (например, шар),
3) Q1 — заряд на внешней поверхности оболочки,
4) Q2 — заряд на внутренней поверхности оболочки.
Q2 равен 0.

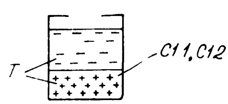


14. Система характеризуется двумя сопротивлениями R1, R2 при условии, что:
1) система — диод,
2) R1 — прямое сопротивление диода,
3) R2 — обратное сопротивление диода.
R2 приблизительно равно 0.
15. Система характеризуется двумя сопротивлениями R1, R2 при условии, что:
1) система состоит из проводника, находящегося внутри диэлектрика (электрический провод),
2) R1 — сопротивление проводника,
3) R2 — сопротивление диаэлектрика.
R2 приблизительно равно 0.

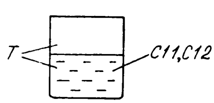
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОВОД



16. Жидкость характеризуется двумя температурами кипения T2.1, T2.2 при условии, что:
1) жидкость находится внутри капилляра,
2) T2.1 — температура кипения жидкости, находящейся в капилляре,
3) T2.2 — температура кипения жидкости в большом объеме.
17. Твердое тело характеризуется двумя теплоемкостями C1.1, C1.2 при условии, что:
1) твердое тело находится в состоянии фазового перехода «твердое тело — жидкость»,
2) C1.1 — теплоемкость твердого тела,
3) C1.2 — теплоемкость твердого тела с учетом его теплоты плавления.

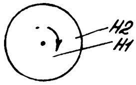


где T — температура фазового перехода «твердое тело — жидкость».
18. Жидкость характеризуется двумя теплоемкостями C1.1, C1.2 при условии, что:
1) жидкость находится в состоянии фазового перехода «жидкость — пар»,
2) C1.1 — теплоемкость жидкости,
3) C1.2 — теплоемкость жидкости с учетом ее теплоты испарения.

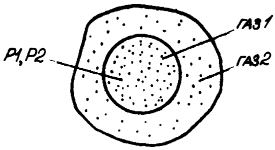


где T — температура фазового перехода «жидкоить — пар».
19. Твердое тело характеризуется двумя механическими напряжениями H1 и H2 при условии, что:
1) твердое тело вращается,

2) Н1 — механическое напряжение твердого тела в зоне центра вращения,
3) Н2 — механическое напряжение твердого тела в периферийной зоне.
Н2 может быть равно 0.



20. Газ 1 характеризуется двумя давлениями Р1, Р2 при условии, что:
1) газ 1 находится в герметичном сосуде,
2) сосуд окружен газом 2,
3) Р1 — абсолютное давление газа 1,
4) Р2 — относительное давление газа 1 (разность давлений газа 1 и газа 2).
Р2 может быть равен 0.



ПРИМЕЧАНИЕ

 — твердое тело,

 — жидкость,

 — газ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АПК — алгоритм повышения качества,
а. с. — авторское свидетельство,
АУН — алгоритм устранения недостатков,
ПО — проектная организация,
ПС — проблемная ситуация,
САПР — система автоматизированного проектирования,
СИ — международная система единиц,
ТТ — тепловая труба,
УП — узловой параметр,
УЭ — узловой элемент,
ФП — физическое противоречие,
ЭС — экспертная система,
□ — пояснение к результатам выполнения операции алгоритма.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация поискового конструирования. Под редакцией А. И. Половинкина. — М.: Радио и связь, 1981.

2. *Альтшуллер Г. С.* Творчество как точная наука. — М: Сов. радио, 1979.

3. *Уотермен О.* Руководство по экспертным системам. — М.: Мир, 1989.

4. *Альтшуллер Г. С., Шапиро Р. Б.* О психологии изобретательского творчества. Ж-л «Вопросы психологии», 1956, № 6, с. 37—49.

5. *Садовский В. М.* Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ. — М.: Наука, 1974.

6. *Уёмов А. И.* Системный подход и общая теория систем. — М.: Мысль, 1978.

7. *Дружинин В. В., Конторов Д. С.* Системотехника. — М.: Радио и связь, 1985.

8. *Будаков А. А.* Основные формы движения материи и их взаимосвязь в свете современной науки. — М.: Высшая школа, 1974.

9. *Уёмов А. И.* Вещи, свойства и отношения. — М.: Изд-во Академии наук, 1963.

10. *Зарипов М. Ф.* и др. Энерго-информационный метод научно-технического творчества. — М.: ВНИИПИ, 1988.

11. *Koller R.* Konstruktionsmethode für den Maschinen, Geräte und Apparatebau. — Berlin: Springer—Verlag, 1976.

12. *Чус А. В., Данченко В. Н.* Основы технического творчества. — Киев—Донецк: Виша школа, 1983.

13. *Капустян В. М., Махатенко Ю. А.* Конструктору о конструировании атомной техники. — М.: Атомиздат, 1981.

14. Основы функционально-стоимостного анализа. Под редакцией М. Г. Карпунина, Б. И. Майданчика. — М.: Энергия, 1980.

15. *Горская Т. Г.* О типологии диалектических противоречий в познании. Ж-л «Вопросы философии», 1981, № 11, с. 133—137.

16. *Альтшуллер Г. С.* Основы изобретательства. — Воронеж: Центрально-черноземное книжное изд-во, 1964.

17. Физический энциклопедический словарь. — М.: Сов. энциклопедия, 1984.

18. *Альтшуллер Г. С.* Как научиться изобретать. — Тамбов: Кн. издательство, 1961.

19. *Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике. М.: Наука, 1986.

20. *Седов Л. И.* Методы подобия и размерности в механике. — М.: Наука, 1965.

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»

Книга 3.

Глазунов В. Н.

Параметрический метод разрешения противоречий в технике (методы анализа проблем и поиска решений в технике) — М.: «Речной транспорт, 1990. — 150 с., ил.

В настоящем пособии рассматриваются основные принципы решения изобретательских задач, направленных на повышение качества технических систем различного функционального назначения. Особое внимание сосредоточено на обосновании и практическом овладении параметрическим методом. Исследованы причины и способы устранения противоречий, возникающих при разработке технических систем. Предложены варианты параметрического метода, использующие в качестве баз знаний массивы эвристических приемов устранения физических противоречий и объектов с парными свойствами. Изложение теоретических вопросов сопровождается большим числом примеров из различных областей техники, а изучение алгоритмов — примерами решения практических задач. Кроме этого, пособие содержит подборку учебных задач, предназначенных для самостоятельного решения.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, в первую очередь на инженеров, разработчиков новой техники, изобретателей, студентов технических вузов, руководителей групп качества и творческих коллективов. Особый интерес она представляет для разработчиков экспертных систем в области изобретательства и повышения качества продукции. Будет полезна для лиц, занимающихся вопросами выявления и разрешения противоречий.

Методы анализа проблем и поиска решений в технике

Серия методических пособий

Книга 3.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД РАЗРЕШЕНИЯ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ТЕХНИКЕ

ГЛАЗУНОВ ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Художник *Д. И. Бараб-Тарле*

Технический редактор *З. С. Кондрашова*

Корректор *Е. И. Малахова*

Сдано в набор 20 06 90. Подписано в печать 25.07.90. Т-00280 Формат 60×90/16. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 8,2 усл.-печ. л. 8,39 усл. кр.-отт. 9,11 уч.-изд л Тираж 50 000 экз. Зак. № 316. Цена 3 р 10 к.

Типография Московского государственного университета. 119899 Ленинские горы, ул. Хохлова, д. 6/н.