

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

А.Б.Бушуев

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО
ТВОРЧЕСТВА В ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Учебное пособие



Санкт-Петербург

2011

А.Б.Бушуев, Применение методов технического творчества в инновационной деятельности – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 124 с.

В учебном пособии рассмотрены методы структурного анализа и синтеза, встречающиеся в практике изобретателя при работе с функциональными и информационно-энергетическими схемами технических систем. Приведен ряд примеров по синтезу новых решений с использованием закона повышения информационно-энергетической проводимости, используемого в теории решения изобретательских задач.

Кроме того, рассмотрена важная проблема эволюционной кибернетики – процесс передачи наследственной информации между поколениями техники. Предложена математическая модель этого процесса, отражающая мышление изобретателя в ходе решения изобретательской задачи. На основе модели предложен метод поиска физических свойств решения изобретательской задачи, базирующийся на математическом аппарате теории размерностей с аналогиями их теории популяций.

Пособие предназначено для студентов (магистров) и аспирантов технических вузов по направлению «Системный анализ и управление» и может быть полезно для первичного знакомства с основными положениями теории решения изобретательских задач, с современными направлениями нелинейной динамики, такими, как детерминированный хаос, развитие популяций, передача наследственной информации между поколениями техники, генетическими алгоритмами.

Рекомендовано к печати Учёным советом Факультета КТ и У, 12.04.2011, протокол №4



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2011

© А.Б.Бушуев, Применение методов технического творчества в инновационной деятельности – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011.

Оглавление

Предисловие.....	5
------------------	---

1. Структурные методы исследования изобретательских задач

1.1. Структурные модели систем.....	7
1.1.1. Конструктивно-функциональная схема.....	9
1.1.2. Потоково-информационная схема.....	12
1.1.3. Структурно-энергетическая схема.....	14
1.2. Динамическая модель преобразования структуры.....	16
1.2.1. Динамическая структурно-энергетическая схема.....	16
1.2.2. Моделирование структурной схемы датчика давления.....	18
1.3. Структурные схемы в изобретательской практике.....	20
1.3.1. Минимально необходимая структура системы. Виды ресурсов структур.....	20
1.3.2. Синтез структур по законам развития технических систем.....	25
1.3.3. Пример синтеза обратной связи в структурной схеме.....	35
1.3.4. Структурные схемы формул изобретений.....	41
1.3.5. Вепольные треугольные структуры	45

2. Математическая модель передачи наследственной информации в изобретательской задаче

2.1. Методы эволюционной кибернетики в техническом творчестве ...	47
2.2. Система мысленного слежения.....	49
2.2.1. Режимы поиска и слежения в сознании.....	50
2.2.2. Режимы поиска цели в подсознании.....	54
2.3. Динамические треугольные структуры.....	61
2.3.1. Динамические вещественно-полевые ресурсы.....	61
2.3.2. Хаотические гомеостаты.....	65

3. Поиск физического решения изобретательской задачи

3.1. Математический базис изобретательской физики. Система кинематических величин Р.О. Бартини.....	71
3.1.1. Анализ размерностей в конфликтной модели изобретательской задачи.....	72
3.1.2. LT-таблица физических величин	75
3.1.3. Тренды свойств ресурсов.....	77
3.1.4. Передача наследственной информации в пространственном тренде.....	80
3.1.5. Тренды свойств вещественно-полевых ресурсов.....	84
3.1.6. Синтез свойства вещественно-полевого ресурса.....	85
3.2. Векторный метод оценки ресурсоемкости физических величин.....	93
3.2.1. Анализ ресурсов в вещественном базисе.....	93
3.2.2. Анализ ресурсов в комплексном базисе.....	100
3.3. Исследование устойчивости мышления на трендах.....	102
3.3.1. Математическая модель движения по трендам.....	106
3.3.2. Пример смены представлений.....	109
3.4. Генетические алгоритмы в изобретательской задаче.....	112
Литература.....	122

Предисловие

Настоящая работа является органическим продолжением учебного пособия «Математическое моделирование процессов технического творчества» [1]. Моделирование занимает существенное место в практическом изобретательстве. Оно используется как средство представления и осмысления изобретательской ситуации. Из конкретных методов моделирования необходимо выделить структурное моделирование. С него начинается переход от словесной постановки задачи к её формальной модели в виде некоторой функциональной схемы. Многие технические решения защищаются патентами именно на уровне структур, т.е. элементов и связей между ними. Наиболее характерна структурная защита новинок в схемотехнике, в системах управления, электронике, фармацевтике и некоторых других направлениях техники.

В теории решения изобретательских задач [2] (ТРИЗ) Г.С. Альтшуллера к структурным методам относится вепольный анализ. В вепольном анализе исследуется наиболее абстрактная модель изобретательской ситуации, состоящая из трех элементов и отношений между ними. Структура веполя представляет собой модель «узкого» места системы, где наиболее обострены технические противоречия и проявляется нежелательный эффект задачи.

Для поиска «узкого» места системы или узлового звена Б.И. Голдовский и М.И. Вайнерман. используют структурный метод построения причинно-следственных цепочек [3], позволяющий на основе исходной функциональной схемы системы построить связь между положительным и нежелательным эффектами.

Для синтеза новых структур в ТРИЗ используются законы развития технических систем [2] (ЗРТС), предложенные Г.С. Альтшуллером: закон полноты частей системы, закон энергетической проводимости, закон согласования ритмики, закон перехода в надсистему и др. Применительно к структурам технических систем законы развития были сформулированы В.М. Петровым в работе [4]. В частности, в законе существования связей проведена классификация связей между элементами структуры, и указано, что «формулировка и установление связей проводится с использованием специальных таблиц и в последовательности, которые были предложены автором».

При анализе структур в изобретательских задачах используется также и теория графов. В частности, в статье [5] Ю.П. Саламатова предложено представление исходной изобретательской ситуации в виде графической или графо-языковой модели, или так называемой

семантической цепи. Цель представления – выход на типовую схему конфликта, отражающего работу «узкого» места системы.

В первой главе настоящей работы рассматриваются методы анализа и синтеза для ограниченного класса структур, характерных для изобретательских задач в автоматике. Метод анализа и синтеза примыкает к методам использования законов развития технических систем, в частности, к закону повышения информационно-энергетической проводимости путем включения обратных связей. Метод описан на основе конкретных примеров и пригоден для обучения изобретательству.

Во второй главе рассматривается одна из задач эволюционной кибернетики [6] - математическая модель передача наследственной информации в технической системе в процессе решения изобретательской задачи. Модель представлена в виде динамической триады развития двух противоположных свойств технического противоречия и X-элемента как решения задачи. Процесс мышления рассматривается как поиск, обнаружение, опознавание и «захват» (озарение) X-элемента. В модели используются дифференциальные уравнения развития динамических вещественно-полевых ресурсов, описывающих развитие популяций в биологии.

Предложен новый метод синтеза структуры дифференциальных уравнений, сводящий поисковые движения в мышлении к уравнениям детерминированного хаоса в виде странных аттракторов Рёсслера и Лоренца. Модель ориентирована на алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). Процесс перехода от прототипа к техническому противоречию моделируется переходом уравнений развития типа Лоттки-Вольтерра к уравнениям аттрактора Лоренца. Дальнейший переход, от модели технического противоречия к поиску решения, рассматривается в модели уравнений Рёсслера. Передача наследственной информации от противоположных свойств технического противоречия к X-элементу на структурном уровне рассматривается как явление гомеостаза [7].

В третьей главе рассматривается проблема поиска физических свойств решения изобретательской задачи. Для поиска используется математический аппарат системы кинематических величин Р.О. Бартини [8]. Свойства физических величин кодируются своими размерностями в ЛТ-базисе пространственно-временных ресурсов: длины и времени. Задача нахождения физического свойства решения также рассматривается как передача наследственной информации в мышлении изобретателя. Используется аналогия с биологическими системами, введены понятия единиц передачи наследственной информации: генов длины и времени. Для нахождения физического свойства решения используется установившийся режим дифференциальных уравнений поиска и слежения,

полученных во второй главе. Рассмотрен типовой для ТРИЗ пример технологии решения в задаче о запайке ампул с жидким лекарством. Технология поиска физического свойства основана на движениях по трендам LT-таблицы Р.О. Бартини. Предложен метод оценки ресурсоемкости физического решения.

Рассмотрена также задача смены представлений при развитии мысли от прототипа к новому решению как задача потери устойчивости движения по трендам в LT-базисе системы Р.О. Бартини.

В последнем параграфе рассмотрена задача нахождения физического свойства решения изобретательской задачи при помощи генетических алгоритмов.

В основу настоящего пособия положен курс лекций по методам научно-технического творчества и управлению инновационными процессами, читаемый автором в СПбГУ ИТМО, для студентов, обучающихся по специальности «Автоматизация и управление».

Книга также может быть полезна студентам и аспирантам технических университетов для знакомства с методами формализации сложных задач.

Автор выражает свою признательность коллегам и сотрудникам кафедры «Систем управления и информатики» СПбГУ ИТМО, а также участникам форума на сайте «METODOLOG.RU».

1. Структурные методы исследования изобретательских задач

1.1. Структурные модели систем

Практика показывает, что инновационный процесс в системе происходит в виде возникновения, развития и умирания структуры.

Система - это совокупность элементов, способная выполнять определенную функцию. Элемент – неделимая часть системы.

Структура системы – это ее элементный состав и связи, объединяющие элементы системы.

Связи, как отношения между элементами, характеризуют строение системы в статике и ее функционирование в динамике.

Для нас важно выяснить, как из старой структуры появляется новая структура, и найти способы управляемого перехода от старого к новому.

Любая структура во времени развивается неравномерно, есть элементы и связи, более подверженные изменениям, другие сохраняются во многих поколениях сменяющихся систем. Например, в классе систем управления с обратной связью закрепились такие обязательные элементы как датчик, регулятор, исполнительное устройство, обратная связь, элемент сравнения. Они обеспечивают минимальную работоспособность системы, и попытка их выкинуть для получения нового решения приводит к неработоспособности системы. Поэтому приходится дробить элементы, описывая структуру на более низком уровне иерархии. Например, влезать в структуру регулятора для изменения законов управления.

Эволюция системы обычно начинается с параметрической интенсификации: один из параметров системы в ее «узком» месте начинает интенсивно изменяться под действием внешних условий или естественного старения. В «узком» месте обостряются противоречия, структура рушится, распадаются старые связи, возникают новые, отмирают старые функции и рождается новая системы с новыми функциями.

Говорят, что происходит катастрофа. Катастрофа означает быстрое во времени, скачкообразное изменение структуры и появление новой системы.

Вывод из этого можно сделать следующий: если мы хотим управлять процессом появления нового, мы должны найти в структуре это «узкое» место максимального обострения противоречий и сработать на опережение, реализовав катастрофу с нужным исходом.

Более того, если система работает хорошо, и никаких «узких» мест явно не обнаруживает, можно организовать это «узкое» место. Для этого выбирается любой из элементов системы и интенсифицируется какой-то его параметр до критического значения, тем самым возникает «узкое» место или «узкий» элемент. Аналогично в качестве «узкого» места может быть и связь между элементами. Например, один вращающийся элемент передает свое движение другому трением. Уменьшение трения до потери контакта или увеличение до остановки вращения приводит к катастрофе системы, поскольку существенно меняется структура из-за изменения связи между элементами. После катастрофы возникает новая система с новыми функциями.

Составлению структурной модели предшествует словесное описание работы системы с возможными рисунками и эскизами.

Словесное описание, в том или ином объеме, иногда – даже только в виде функции, которую должна выполнять система, предоставляется заказчиком работы. Поэтому часто приходится использовать описания работы аналогичных систем, выполняющих ту же функцию. Такие описания находятся при патентно-информационном поиске.

Структурная модель, составленная разработчиком, представляет собой структурную схему системы и отражает индивидуальное понимание разработчиком задачи, поставленной в описании. Из одного описания у разных людей могут получиться разные структурные схемы. Поэтому структурная схема должна быть уточнена и согласована с работодателем. В общении с ним одновременно вырабатывается единый язык, единая терминология, присущая данной задаче.

Разные типы структурных схем, как и любые другие модели, отличаются уровнем абстракции. По мере повышения абстракции структурные схемы можно расположить в следующей последовательности: конструктивно-функциональные, потоково-информационные [9], структурно-энергетические [3] и веполи [10]. Любая из этих схем представляет собой направленный граф, вершинами которого являются элементы структуры, а ребрами - отношения между элементами.

Самой абстрактной структурной моделью является граф-схема технического противоречия в алгоритме решения изобретательских задач (АРИЗ) [10]. Она отражает работу самого «узкого» места системы, где наиболее обострены структурные противоречия. Параметрической интенсификацией является назначение крайних, экстремальных состояний инструмента.

Рассмотрим некоторые виды структурных схем.

1.1.1. Конструктивно-функциональная схема

Конструктивно-Функциональная схема (КФС) отражает, главным образом, принцип действия системы и представляет собой граф, вершинами которого являются элементы системы, а ребрами – выполняемые элементами функции.

Рассмотрим пример составления КФС для системы автоматической горизонтальной посадки палубных самолетов. Для составления КФС рассмотрим принцип действия системы.

Во время посадки корабль, принимающий самолеты, движется полным ходом навстречу ветру (рис. 1.1). Самолет заходит на посадку по прямолинейной траектории со стороны кормы. В отличие от посадки на

сушу, из-за качки взлетно-посадочной палубы (ВПП) участок выравнивания траектории отсутствует. Корабль при морском волнении подвержен четырем видам качки: бортовой, килевой, рысканью и вертикальной. От совместного действия ветра и качки ВПП масса воздуха образует спутную струю. За кормой корабля в результате разрежения спутная струя проваливается. Эта воздушная яма может привести к удару самолета о корму и является одной из главных причин аварий самолетов при посадке.

Поэтому самолет должен пролететь на некоторой высоте над кормовым срезом корабля, попасть на ВПП в расчетную точку посадки (РТП) и зацепить своим хвостовым гаком (крюком) один из четырех тросов аэрофинишера. Тросы натянуты поперек оси ВПП и проваливаются в прорези палубы при зацеплении одного из них. Зацепленный трос, как пружина, тормозит садящийся самолет. При зацеплении хвостовым гаком самолет испытывает сильный удар своим шасси о палубу, и тем больше, чем больше вертикальная скорость посадки. Поэтому вертикальная скорость посадки не должна превышать допустимую величину для исключения разрушения шасси самолета.

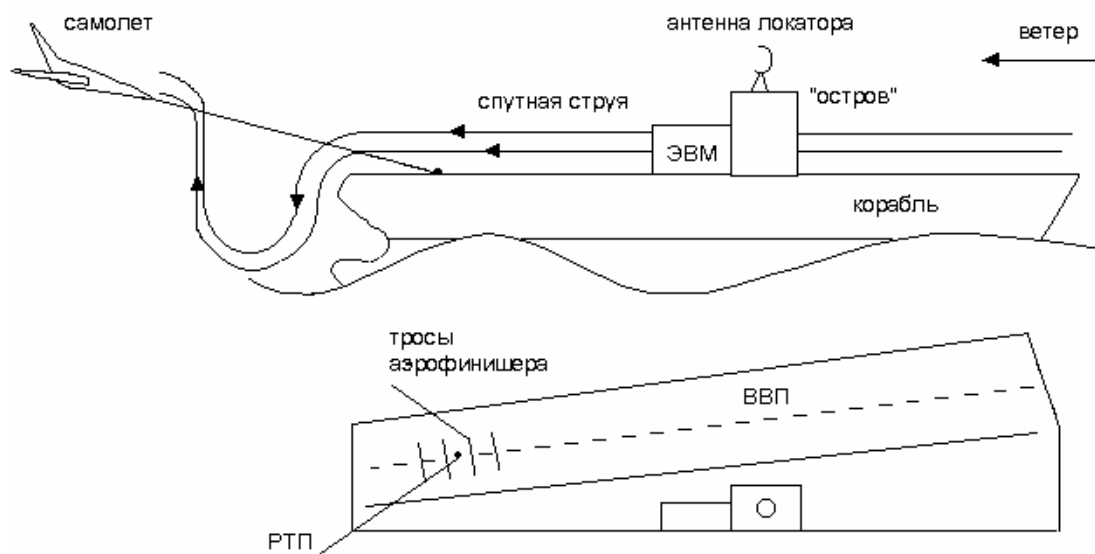


Рис. 1.1. Горизонтальная посадка самолета на подвижное основание

Исключительно сложные условия посадки, особенно при плохой видимости – в тумане, при снежных зарядах, приводят к необходимости создания системы автоматического управления самолетом в режиме посадки на палубу. Для этого следящий локатор, антенна которого установлена на «острове» (надстройке на палубе), непрерывно измеряет угловые координаты самолета: наклонную дальность R , угол места β (между горизонтом и направлением на самолет), и пеленг α (угол между продольной осью корабля и направлением на самолет). Угловые

координаты самолета локатор передает в корабельную вычислительную машину (ЭВМ). Туда же с датчиков корабля поступают углы качки палубы - угол бортовой качки γ , угол килевой качки ψ , угол рыскания ϕ , и сигнал вертикальной качки h . На основании этих данных ЭВМ рассчитывает текущую траекторию движения самолета в не качающейся декартовой системе координат, имеющей центром РТП и движущейся вперед вместе с кораблем. Текущая траектория сравнивается с номинальной траекторией, заложенной в памяти ЭВМ, в результате получается сигнал ошибки. Из сигнала ошибки по определенному закону ЭВМ формирует сигнал управления самолетом. Сигнал управления кодируется и по радиоканалу, включающему корабельный передатчик и самолетный приемник, поступает на борт самолета в автопилот. Автопилот вырабатывает сигналы углов поворота рулей самолета: руля направления δ_n , руля высоты δ_v , элеронов δ_ϵ , а также сигнал регулирования тяги самолета δ_t . Под действием этих сигналов самолет отслеживает номинальную траекторию.

Из описания работы системы выделим следующие элементы: E0 – корабль, E1 – самолет, E2 – локатор, E3 – ЭВМ, E4 – радиоканал, E5 – спутная струя. Эти элементы образуют вершины графа. Определим функции Φ_{ij} , выполняемые элементами, где i – номер элемента, а j – номер выполняемой им функции. Любая функция задается как бинарное отношение (т.е. отношение двух) между элементами. Можно ввести следующие бинарные отношения между элементами:

Ф01 – корабль E0 принимает самолет E1,

Ф02 – корабль E0 несет на себе локатор E2,

Ф03 – корабль E0 несет на себе ЭВМ E3,

Ф04 – корабль E0 несет на себе радиоканал E4 (точнее, его передающую часть),

Ф05 – корабль E0 выдает информацию о качке на ЭВМ E3,

Ф21 – локатор E2 измеряет координаты самолета E1,

Ф22 – локатор передает координаты на ЭВМ E3,

Ф31 – ЭВМ E3 обрабатывает координаты и передает сигнал управления в радиоканал E4,

Ф41 – радиоканал E4 передает сигнал управления на самолет E1,

V51 – спутная струя E5 сбивает самолет E1 с необходимой траектории.

Функция, выполняемая спутной струей, является вредной для системы и поэтому обозначается буквой V.

Теперь можно нарисовать КФС (рис. 1.2).

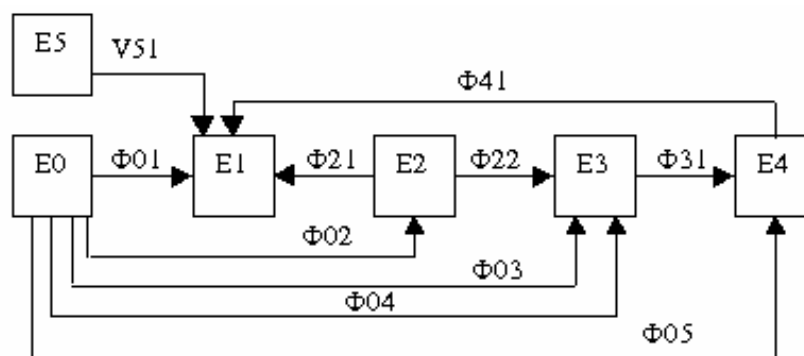


Рис. 1.2. Конструктивно-функциональная схема системы посадки

Как и любой граф, КФС может быть записана в матричном виде (табл.1).

Таблица 1. Матрица КФС

	E0	E1	E2	E3	E4	E5
E0	0	Φ01	Φ02	Φ03+Φ04	Φ05	0
E1	0	0	0	0	0	0
E2	0	Φ21	0	Φ22	0	0
E3	0	0	0	0	Φ31	0
E4	0	Φ41	0	0	0	0
E5	0	Φ51	0	0	0	0

Обратим внимание, что не все элементы и функции, имеющиеся в описании работы системы, вошли в КФС.

1.1.2. Потокowo-информационная схема

Потокowo-информационная схема (ПИС) отражает преобразование системой во времени потоков энергии, вещества, информации, проходящих через систему. Как и конструктивно-функциональная схема, так и потокowo-информационная схема представляет собой модель системы. Составляется эта схема также в виде направленного графа, вершинами которого являются элементы системы, а ребрами - потоки энергии, вещества, информации, поступающие на входы элементов и

выходящие из элементов. Поскольку любой поток имеет направление, то граф называется направленным.

Составим одну из возможных потоково-информационных схем для системы автоматической посадки палубных самолетов.

Вершинами графа выберем следующие элементы: корабль, самолет, ЭВМ (рис. 1.3).

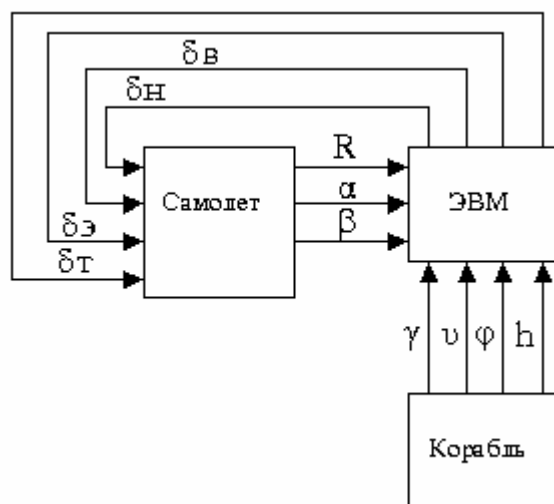


Рис. 1.3. Потоково-информационная схема системы посадки

Входными и выходными сигналами элементов являются потоки информации. Самолет преобразует управляющие потоки информации об углах поворота рулей и тяги в потоки информации о своем местоположении: наклонной дальности, угле азимута и пеленге. Потоки информации с самолета являются одновременно входными потоками ЭВМ. Корабль выдает на ЭВМ потоки информации о своем местоположении в подвижной системе координат: углах бортовой и килевой качки, рыскании и вертикальной качке. ЭВМ преобразует входные потоки своей информации в выходные потоки, поступающие на самолет.

Конечно, как и всякая модель, потоково-информационная схема является ограниченной. В частности, ПИС для системы посадки палубных самолетов не включает в себя радиоканал приема и передачи данных, автопилот самолета и другие возможные элементы системы. Не указаны также потоки возмущающей информации, например, скорость и направление ветра в спутной струе, действующие на вход самолета, морское волнение, поступающее на вход корабля и др. Однако, и такая структурная схема позволяет понять основные принципы функционирования системы.

1.1.3. Структурно-энергетическая схема

Более абстрактными моделями являются структурно-энергетические схемы. В этих схемах используются всего два разных типа элементов: вещество и поле. Под веществами понимаются любые элементы, устройства технической системы, ее функциональные части. Поля отражают, в принципе, любое взаимодействие между веществами. Структурно-энергетическая схема также представляет собой направленный граф. Вершинами графа являются чередующиеся вещества и поля, ребра показывают направление прохождения и преобразования энергии устройством. Структурно-энергетическая схема может быть получена из потоково-информационной схемы системы. Для примера рассмотрим датчик давления [11], конструкция которого представлена на рис.1.4.

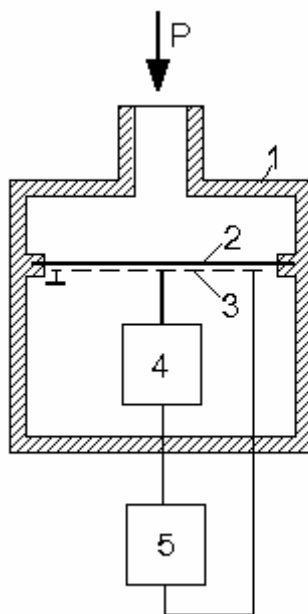


Рис. 1.4. Конструкция датчика давления

Датчик содержит корпус 1, внутри которого установлена мембрана 2, выполненная из металла с памятью формы. На мембране установлен пленочный нагреватель 3. Под действием измеряемого давления P мембрана прогибается. Прогиб мембраны перемещает шток преобразователя 4, электрический сигнал с которого дает информацию о давлении. Одновременно сигнал с преобразователя усиливается в усилителе 5 и подается на нагреватель. Под действием нагрева мембрана за счет эффекта памяти формы возвращается в первоначальное состояние.

Таким образом, в устройстве устанавливается динамическое равновесие между давлением и прогибом.

Как видно из потоково-информационной схемы (рис.1.5), структурно датчик представляет замкнутую систему автоматического регулирования прогиба мембраны и имеет неоднородные элементы и связи. Структура прототипа датчика обведена штриховой линией. В прототипе отсутствует обратная связь, т.е. нет нагревателя, а мембрана выполнена из любого материала. Включение обратной связи расширило диапазон измерений давления.



Рис. 1.5. Потоково-информационная схема датчика давления

Структурно-энергетическая схема получается заменой всех элементов веществами, а связей полями (рис. 1.6).

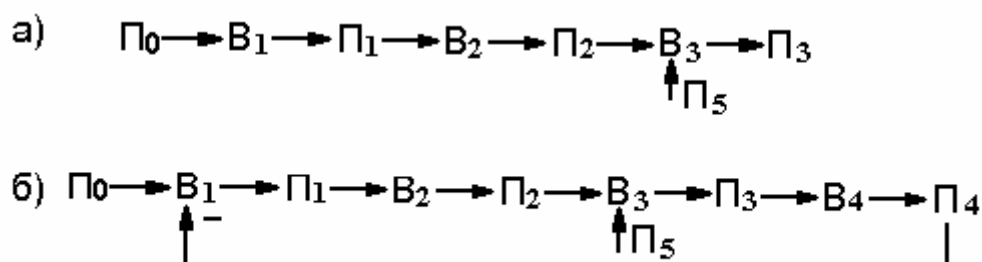


Рис. 1.6. Структурно-энергетическая схема датчика давления: а) прототип, б) новое решение

На рис. 1.6 введены обозначения: V_1 - мембрана, V_2 - преобразователь, V_3 -усилитель, V_4 - нагреватель, Π_0 и Π_1 - поля давления, Π_2 , Π_3 и Π_5 - электрические поля, Π_4 - тепловое поле.

Преобразование полей происходит следующим образом. Мембрана V_1 преобразует измеряемое поле давления Π_0 в поле давления Π_1 штока

преобразователя B_2 , а преобразователь B_2 преобразует поле давления P_1 в электрическое поле P_2 своего выходного сигнала. Усилитель B_3 преобразует входное электрическое поле P_2 и поле электрического питания P_5 в выходное мощное электрическое поле P_3 , которое преобразуется нагревателем B_4 в тепловое поле P_4 . Тепловое поле P_4 преобразуется мембраной B_1 в поле давления P_1 штока преобразователя. Очевидно, что поля P_0 и P_4 имеют противоположные направления.

1.2. Динамическая модель преобразования структуры

1.2.1. Динамическая структурно-энергетическая схема

Структурно-энергетическая схема состоит из элементарных фрагментов (рис. 1.7): ячеек "поле-вещество-поле" или $P_{i-1} \rightarrow V_i \rightarrow P_i$, где i - порядковый номер поля.

$$P_i \rightarrow V_i \rightarrow P_{i+1}$$

Рис. 1.7. Ячейка «поле-вещество-поле»

В такой ячейке каждое вещество V_i можно рассматривать как преобразователь его входного поля P_{i-1} в выходное поле P_i . При изменении номера i свойство преобразования полей как бы "прокатывается" по структуре от вещества к веществу в направлении прохождения энергии (информации) через устройство или, другими словами, входное поле перемещается через вещества к выходу устройства. Каждое поле как воздействие можно охарактеризовать потенциалом или потенциальной функцией V_i , которая для физических полей отождествляется с потенциальной энергией. Очевидно, возможности продвижения поля через пассивное вещество V_i связаны с выполнением условия $V_{i-1} > V_i$. Это условие вытекает из причинно-следственной связи между полями P_{i-1} и P_i , а в структуре определяется по направлению прохождения энергии (информации) через вещество V_i . К пассивным веществам относятся такие вещества, которые не используют энергию питания для функции преобразования полей.

Для активных веществ, использующих энергию внешнего питания для функции преобразования, соотношение между потенциальными функциями преобразованных полей меняет знак, т.е. $V_{j-1} < V_j$.

Возможности преобразования полей веществами в простейшем случае зависят от двух параметров: внешнего и внутреннего. Внешний параметр определяет свойство входного поля Π_{i-1} , например, его силу, а внутренний параметр определяет пропускную способность самого вещества V_i .

Проходя через вещество, поле резко изменяет свои свойства: физическую природу и (или) интенсивность. Резкие, скачкообразные изменения исследуются в теории катастроф, поэтому для моделирования процесса преобразования веществом V_i поля Π_{i-1} в поле Π_i используем [1] математический аппарат теории катастроф [1]. Простейшей катастрофой, зависящей от двух параметров, (одного внутреннего и одного внешнего условий), является катастрофа типа "сборки" с потенциальной функцией

$$V_i = 0,25 p_i^4 - 0,5 a_i p_i^2 + b_i p_i, \quad (1.1)$$

где в качестве координаты p_i выбрана вероятность преобразования поля Π_{i-1} в поле Π_i , a_i и b_i - управляющие параметры катастрофы.

Считая вещество V_i градиентной системой, т.е. такой, которая стремится к минимуму потенциальной функции V_i , из условия $-\partial V_i / \partial p_i = k_i T_i dp_i / dt$ получаем дифференциальное уравнение для эволюции вероятности $p_i(t)$

$$k_i T_i dp_i / dt = -p_i(t)^3 + a_i p_i(t) - b_i, \quad (1.2)$$

где T_i - постоянная времени, характеризующая инерционные свойства вещества V_i , k_i - масштабирующий множитель, выравнивающий размерности.

При $b_i = 0$ получаем однородное дифференциальное уравнение, определяющее саморазвитие координаты $p_i(t)$ от начального условия $p_i(0) > 0$ до установившегося значения $p_{уст} = (a_i)^{1/2}$. Параметр $b_i \neq 0$ определяет влияние поля Π_{i-1} на координату $p_i(t)$, т.е. внешнее воздействие со стороны предыдущей координаты $p_{i-1}(t)$, и позволяет при моделировании структурной схемы состыковать элементарные ячейки. Для стыковки ячеек определим внешнее воздействие на i -ю ячейку

$$b_i = d_i p_{i-1}(t), \quad (1.3)$$

где d_i - коэффициент диффузии. Тогда дифференциальное уравнение любой ячейки структуры будет иметь вид

$$k_i T_i dp_i / dt = -p_i(t)^3 + a_i p_i(t) - d_i p_{i-1}(t), \quad (1.4)$$

где V_i определяется из выражения (1.1), а система дифференциальных уравнений типа (1.4) для разных i задает динамическую модель всей структуры.

1.2.2. Моделирование структурной схемы датчика давления

В качестве примера динамического моделирования рассмотрим датчик давления из раздела 1.1.3.

Для определения коэффициентов модели используем установившийся режим в уравнении (1.4). Так как энергия (информация) в конечном итоге проходит через все вещества структуры, то все вероятности преобразования в установившемся режиме равны 1, и для установившегося режима дифференциальное уравнение (1.4) превращается в алгебраическое:

$$0 = -p_i^3 + a_i p_i - d_i p_{i-1} = -1 + a_i - d_i. \quad (1.5)$$

Второе уравнение для определения параметров модели можно получить из выражений (1.1) и (1.3) для установившегося режима с учетом того, что любая потенциальная функция определяется с точностью до аддитивной константы, т.е.

$$V_i = 0,25 p_i^4 - 0,5 a_i p_i^2 + b_i p_i = 0,25 - 0,5 a_i + d_i = C_i, \quad (1.6)$$

где $C_i = \text{Const}$ - некоторое значение потенциальной функции, определяемое в результате масштабирования катастрофы, а $d_i = b_i$.

Потенциал V_0 входного поля Π_0 определим при граничном условии

$$b_0 = d_0 = 0, \quad (1.7)$$

так как предполагается, что измеряемое датчиком поле давления Π_0 не преобразуется, а генерируется некоторым веществом B_0 , отсутствующим в структуре, а поэтому и не показанном на рис.2. Таким образом, входная координата поля Π_0 собственного движения $p_0(t)$, которое определяется ненулевым начальным условием $p_0(0) > 0$ и параметром $a_0 = 1$, а потенциальная функция V_0 в установившемся режиме равна: $V_0 = C_0 = -0.25$.

Так как задача масштабирования в данной работе не рассматривается, то для численного моделирования положим, что потенциальные функции полей имеют следующие значения: $V_0 = -0.25$, $V_1 = -0.75$, $V_2 = -1.0$, $V_3 = 0.5$, $V_4 = 0.25$. Как видно, потенциальные функции полей пассивных веществ (мембраны, преобразователя, нагревателя) уменьшаются по ходу преобразования полей, а потенциальная функция выходного поля усилителя растет.

Результаты расчета выражений для потенциальных функций представлены формулой (1.8), а система дифференциальных уравнений для вероятностей приведена в (1.9)

$$V_0 = 0.25 p_0^4 - 0.50 p_0^2 - 0.0 p_0 \quad dp_0/dt = -p_0(t)^3 + p_0(t)$$

$$\begin{aligned}
V_1 &= 0.25 p_1^4 - 0.00 p_1^2 - 1.0 p_1 & dp_1/dt &= -p_1(t)^3 + (1-K)p_0(t) + Kp_3(t) \\
V_2 &= 0.25 p_2^4 + 0.25 p_2^2 - 1.5 p_2 & dp_2/dt &= -p_2(t)^3 + 1.5p_2(t) - 0.5p_1(t)
\end{aligned} \quad (1.8)$$

$$(1.9)$$

$$\begin{aligned}
V_3 &= 0.25 p_3^4 - 1.25 p_3^2 + 1.5 p_3 & dp_3/dt &= -p_3(t)^3 + 2.5p_3(t) - 1.5p_2(t) \\
V_4 &= 0.25 p_4^4 - 1.00 p_4^2 + 1.0 p_4 & dp_4/dt &= 0.5[-p_4(t)^3 + 2.0p_4(t) - 1.0p_3(t)]
\end{aligned}$$

На рис.1.7 представлены результаты моделирования структуры датчика по уравнениям (1.9) со следующими начальными условиями: $p_0(0)=0.7$, $p_1(0)=p_2(0)=p_3(0)=p_4(0)=0.6$; коэффициент обратной связи выбран $K=0.9$, $k_0T_0=k_1T_1=k_2T_2=k_3T_3=1$, $k_4T_4=2$.

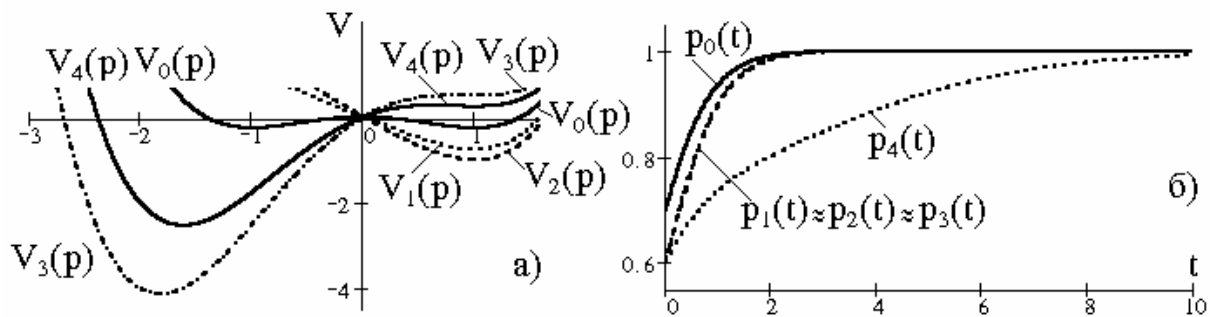


Рис. 1.7. Графические результаты моделирования датчика давления:
а) графики потенциальных функций, б) графики вероятностей

Как следует из анализа графиков вероятностей преобразования, структура при выбранных начальных условиях и значениях параметров является устойчивой. График изменения вероятности преобразования нагревателя определяет время преобразования входного поля всей структурой. Очевидно, это связано с тем, что инерционность преобразования нагревателя выбрана в два раза больше, чем инерционности остальных элементов. Коэффициент обратной связи K выбирается в пределах от 0 до 1 и отражает свойства материала с памятью формы, из которого сделана мембрана. При уменьшении K влияние эффекта памяти формы снижается.

При изменении начальных условий $p_i(0)$ и параметров k_i , T_i и K свойства структуры меняются. Существуют области начальных условий и параметров, в которых преобразования становятся неустойчивыми. Например, на рис.1.8 представлены графики вероятностей $p_i(t)$ для $p_1(0)=p_2(0)=p_3(0)=p_4(0)=0.2$ и $K=0.5$.

Неустойчивость координат, в частности, $p_4(t)$ объясняется тем, что потенциальная функция $V(p)$ в окрестности $p_4 = 1$ (рис.3а) имеет слабо выраженный минимум, и при большом начальном удалении от точки равновесия $p_4 = 1$ координата $p_4(t)$ "сваливается" в левый, более глубокий минимум потенциальной функции с значением $p_4 < 0$. Координата $p_3(t)$ хотя и движется в точку равновесия $p_3 = 1$, но также из-за большого удаления от равновесия успевает набрать скорость и "проскакивает" пологий минимум потенциальной функции, не успевая остановиться в нем с первого раза. Для других координат минимумы их потенциальных функций в точке $p=1$ более глубокие, поэтому эти координаты приходят к точке равновесия без перерегулирования.

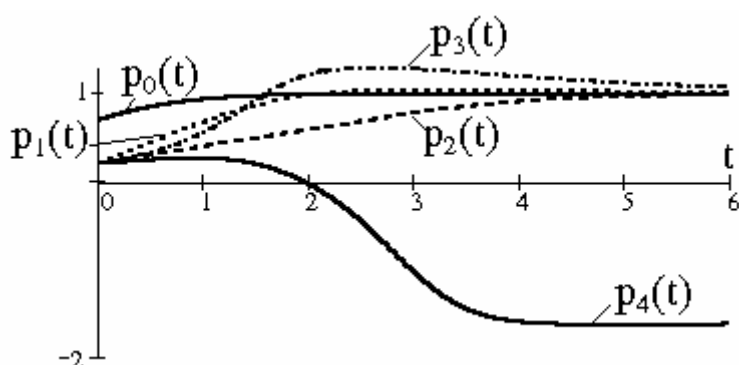


Рис. 1.8. Графики изменения вероятностей неустойчивой структуры

В аналитическом виде области устойчивости можно определить с помощью прямого метода Ляпунова и задать рациональные значения начальных условий и параметров модели.

1.3. Работа со структурными схемами в изобретательской практике

1.3.1. Минимально-необходимая структура системы. Виды ресурсов структур.

Исходя из понятия так называемого «черного ящика», используемого в кибернетике [12] и схемотехнике, минимальную структуру системы

можно представить в виде квадрата с входным и выходным воздействиями (рис.1.9).



Рис. 1.9. Структурная схема системы в виде «черного ящика»

Внутреннее содержание «черного ящика» считается неизвестным. Известной является только его функция – преобразование входного воздействия в выходное воздействие. Обычно входными и выходными воздействиями являются потоки вещества, энергии, информации. В кибернетике такие воздействия называются сигналами.

Поставим вопрос: можно ли защитить такую структурную схему как некоторую техническую систему, т.е. получить на неё патент на изобретение? Очевидно нельзя по двум возможным причинам. Первая причина – отсутствие новизны. Начиная изучать существующую систему, или проектировать, или изобретать новую систему, сначала всегда определяют или задают её функцию, её назначение, что она должна делать. Эта операция задания функции структурно и определяется «черным ящиком», который годится для любой функции. В прототипе есть функция, и в новом устройстве есть функция, следовательно, новизны нет.

Если изобретатель придумывает новую функцию, ранее не существующую ни в одном из аналогов, тогда новизна появляется. Но патент под структуру «черного ящика» не выдадут, поскольку неизвестно, как реализовать эту структуру.

В известной аризовской [10] цепочке противоречий Г.С. Альтшуллера: административное противоречие (АП) → техническое противоречие (ТП) → физическое противоречие (ФП) задание структуры в виде черного ящика соответствует формулировке АП: имеется общественно необходимая потребность в виде функции, а как её реализовать, пока не известно.

Поэтому для получения нового структурного решения схему надо конкретизировать. Единственная возможность – «залезть» в черный ящик, т.е. найти частные функции, которые позволяют преобразовать входной сигнал черного ящика в его выходной сигнал, и под частные функции подобрать соответствующие «квадратики» и связи между ними.

Существует несколько направлений конкретизации структуры. Одно из них связано с законом [10] полноты частей технической системы, сформулированным в ТРИЗ Г.С. Альтшуллером.

Закон формулируется следующим образом: необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы. Таких основных частей четыре: двигатель (Дв), трансмиссия (Тр) или передача, рабочий орган (Ро) и орган управления (Оу). Если хотя бы одна из них отсутствует, то это еще не ТС или неполная система, если функцию каких-либо частей выполняет человек. Если хотя бы одна часть неработоспособна, то ТС не "выживет".

Полную систему можно представить в виде структурной схемы, как показано на рис.1.10, где ИЭ - источник энергии, а Изд. - изделие.

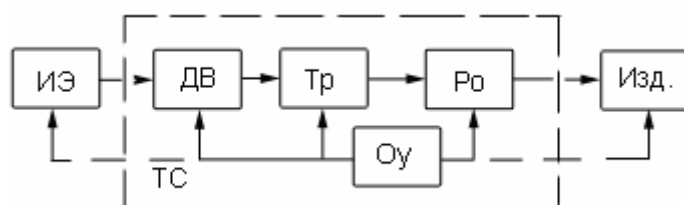


Рис. 1.10. Структурная схема полной технической системы

Ро - это то, что непосредственно взаимодействует с изделием, "обрабатывает" его, Тр подводит энергию к Ро от Дв, которых зачастую является и ИЭ или же преобразует энергию, поступающую от ИЭ. ОУ управляет работой всех или хотя бы одной частью системы.

Собственно, такого рода структура известна уже давно, например, из работ К.Маркса и Ф.Энгельса, связанных с анализом истории и развития техники. Первые ТС развились из орудия труда - Ро. Например, сначала появился острый камень, а древний человек рубил камнем по ветке-изделию, т.е. выполнял функции и ИЭ, и Дв, и Тр, и Оу. Затем появился каменный топор, приводимый в движение самим мастером, т.е. появилась трансмиссия Тр. Аналогично шло развитие мельницы для размола зерен. Человек брал один камень Ро и растирал зерно Изд., лежащее на другом камне. Затем появилась трансмиссия, когда камень был заменен жерновом (мельничным кругом), установленным на одной оси с водяным колесом. Водяное колесо было двигателем Дв, а ось трансмиссией Тр. Источником энергии была вода, падающая на лопасти водяного колеса. За человеком оставалась только функция ОУ, например, изменение расстояния между двумя жерновами, между которыми перетирается зерно, или изменение скорости вращения жернова путем изменения потока воды, падающей через плотину. С точки зрения кибернетики такая структура называется разомкнутой (рис.1.11).

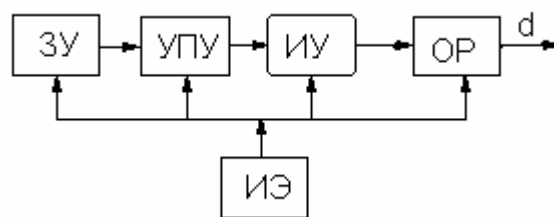


Рис. 1.11. Структурная схема разомкнутой технической системы

Разомкнутая система состоит из ЗУ – задающего устройства, которое вырабатывает информацию, сигнал о необходимом значении некоторой величины. Эта величина характеризует качество процесса или функции, выполняемой системой, например, дисперсность d как степень измельчения зерна в мельнице. Сигнал с ЗУ поступает на усилительно-преобразовательное устройство УПУ, которое играет роль трансмиссии для информации, т.е. передачи и преобразования. Далее идет исполнительное устройство ИУ, действующее на объект регулирования ОР. На все, или хотя бы на некоторые элементы структуры подается энергия от источника энергии ИЭ.

Принципиальное отличие структурных схем на рис. 1.10 и 1.11. заключается в том, что первая представляет процесс преобразования энергии в технической системе, а вторая – процесс передачи информации.

Замкнутая система в кибернетике предполагает включение обратной связи, когда информация с выхода системы снова подается на её вход. В этом случае информация циркулирует по замкнутому кольцу (рис.1.12).

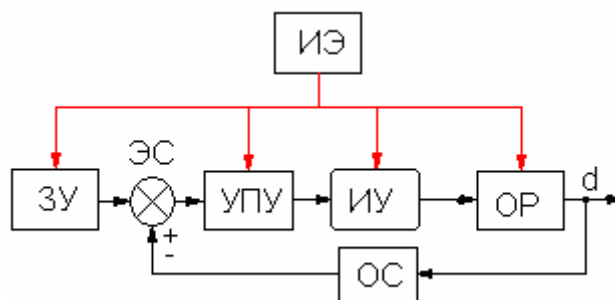


Рис. 1.12. Структурная схема замкнутой технической системы

Замыкание осуществляется с помощью обратной связи ОС и элемента сравнения ЭС, который сравнивает сигналы с выхода системы с входными сигналами от задающего устройства ЗУ. Энергетические связи на рис.1.12. показаны красными линиями.

Поставим вопрос, какими пространственно-временными и вещественно-полевыми ресурсами (в терминологии, принятой в ТРИЗ), обладает та или иная структурная схема?

К пространственным ресурсам можно отнести типы соединения блоков в общей структуре. Это

- а) последовательное соединение,
- б) параллельное соединение,
- в) соединение с обратной связью.

Типы соединений приведены на рис.1.13.

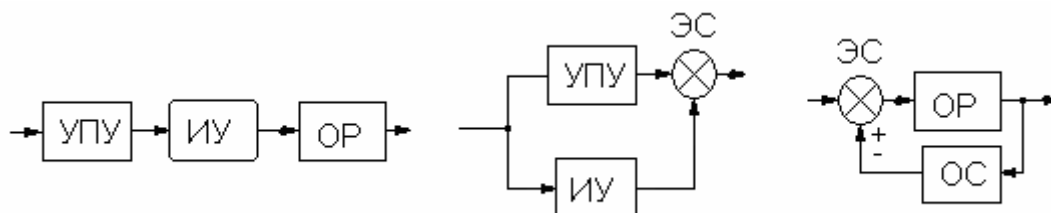


Рис. 1.13. Типы соединений: последовательное, параллельное, с обратной связью

К временным ресурсам отнесем

- а) время включения блока или связи в структурную схему,
- б) временную последовательность включения блоков или связей.

Вещественно-полевые ресурсы структурных схем содержат вещества – это отдельные блоки, элементы схем, а также связи между ними, которые отнесем к полям. Тип вещества определяется функцией, которую оно выполняет. Например, в структурной схеме на рис.1.12. разными веществами будут задающее устройство ЗУ, элемент сравнения ЭС, усилительно-преобразовательное устройство УПУ, объект регулирования ОР, обратная связь ОС, источник энергии ИЭ. Поэтому в структурных схемах в общем случае необходимо рассматривать не только вещественно-полевые ресурсы, но и функциональные.

Ресурсами вещества (рис.1.14.) в структурной схеме являются его входы и выходы, их количество и тип, являющийся функциональным ресурсом.

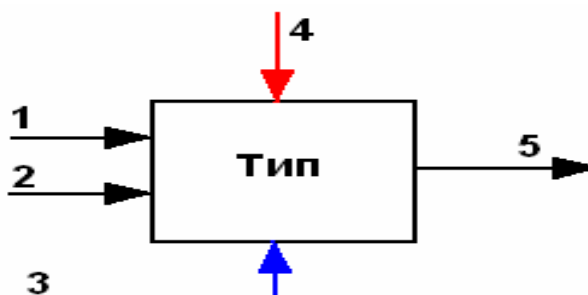


Рис. 1.14. Ресурсы вещества в структурных схемах

На рис.1.14 вещество имеет тип, и два информационных входа 1 и 2, энергетический вход 4, синхронизирующий вход 3, и информационный выход 5. В данном случае энергетический вход 4 обеспечивает работоспособность элемента, и может быть, например, электрическим питанием электронного усилителя. Тип блока – электронный усилитель, задает его функцию – усиливать электрический сигнал, и является его функциональным ресурсом. Информация, поступающая на информационные входы 1 и 2, обрабатывается элементом, и преобразуется в выходную информацию на выходе 5. Например, в электронном усилителе сигналы с входов 1 и 2 складываются и усиливаются по напряжению. Синхронизирующий вход 3 согласует работу элемента во времени с другими элементами. Такие входы характерны для дискретных, цифровых элементов, когда входная информация поступает на входы 1 и 2 импульсами. Например, по входу 3 поступает импульс, который открывает входы 1 и 2 в определенное время. Все остальное время входы 1 и 2 закрыты.

В некоторых случаях синхронизирующий вход может быть представлен и как информационный вход, а именно, когда синхронизация не регулярна. Очевидно, что выход 5 может быть и энергетический, и синхронизирующий. Это зависит от типа вещества (элемента).

Ресурсы полей или связей в структуре определяются типом связи между веществами или элементами. Следовательно, связи могут быть информационные, энергетические и синхронизирующие.

Поскольку информационные и синхронизирующие сигналы между элементами без затрат энергии не передать, то во многих изобретательских задачах связи представляются полями, используемыми в ТРИЗ. Обычно это случается, когда структурную схему начинаем рассматривать с точки зрения физики, переходя к принципиальным схемам, электрическим, механическим, гидравлическим и т.п. Тогда появляются и поля на выходе элементов, механические, термические, химические, электрические, магнитные (по известной в ТРИЗ аббревиатуре MaTXЭM [13]).

1.3.2. Синтез структур по законам развития технических систем

Исходной базой для получения нового решения является описание прототипа изобретения. Прототип может быть описан своей структурной или конструктивной схемой. В последнем случае структурную схему можно получить, используя закон полноты частей системы путем построения линии прохождения энергии (или информации) от источника до рабочего органа.

Рассмотрим в качестве примера построение структурной схемы для перестраиваемой оптической системы [14]. В описании к авторскому свидетельству представлено устройство "Перестраиваемая оптическая система", конструктивная схема которого приведена на рис. 1.15. Симметричная двояковыпуклая линза 1, выполненная из монодисперсного пористого стекла, размещена в полости 5 корпуса 2, имеющего окна 3,4. в виде плоскопараллельных пластин из оптического стекла. В полость 5 корпуса 2 введены пары жидкости (вода, бензол и др.).

При изменении концентрации паров в полости 5, например, при увеличении, пары жидкости диффундируют в поры линзы 1, изменяя ее показатель преломления. При изменении показателя преломления изменяется фокусное расстояние линзы, и фокус из точки F_1 перемещается, например, в точку F_2 . Тем самым изменяются и условия прохождения излучения через систему, и именно в том проявляется свойство перестраиваемости. При уменьшении концентрации паров в полости 5 пары выходят из пор линзы 1 и фокусное расстояние снова изменяется (увеличивается).

Для регулирования концентрации служит регулятор, включающий пластину 6 из адсорбента (поглотителя паров), установленную на электрическом нагревателе 7. Нагреватель 7 управляется блоком 8 управления, который снабжен датчиком 9 давления паров.

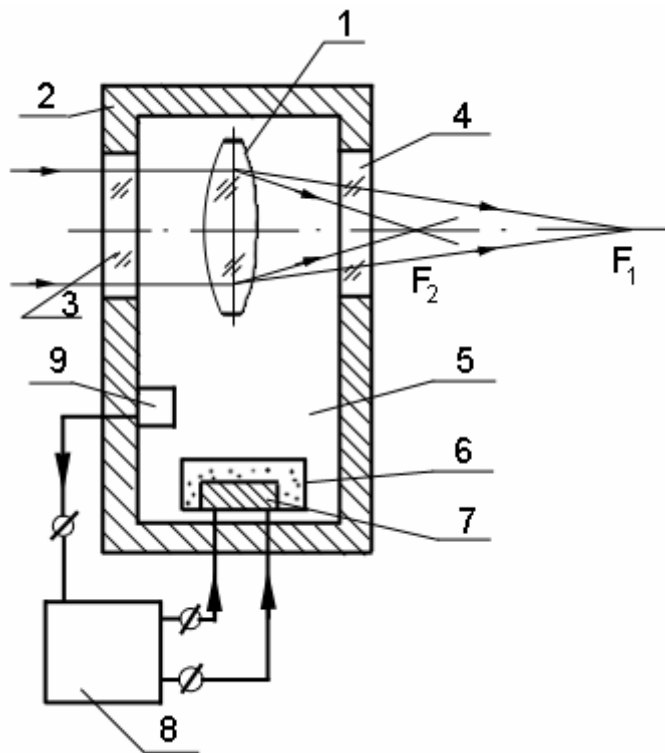


Рис. 1.15. Конструктивная схема оптической системы

При включении нагревателя 7 жидкость, поглощенная в пластине 6, из адсорбента выделяется, превращаясь в пары, концентрация их в полости 5 повышается. При выключении нагрева пластинка 6 охлаждается окружающей средой и снова поглощает пары. Величину и время нагрева пластины 6 определяет блок 8 управления на основе информации о давлении паров, полученной с датчика 9. Если давление паров превысит заданное, то нагрев прекращается. Далее процессы повторяются.

Для анализа технической системы (ТС) построим линию сквозного прохода энергии через систему. В принципе, таких линий в одной ТС может быть несколько, они могут частично совпадать, пересекаться, начинаться или заканчиваться в одном и том же месте системы. Главное - чтобы все части системы входили в ту или иную линию. Построение линии сквозного прохода энергии связано с законом полноты частей системы, поскольку энергия от источника энергии проходит через трансмиссию к рабочему органу.

Здесь явно просматриваются две линии, обозначенные на рис.1.16 красным и синим цветами.

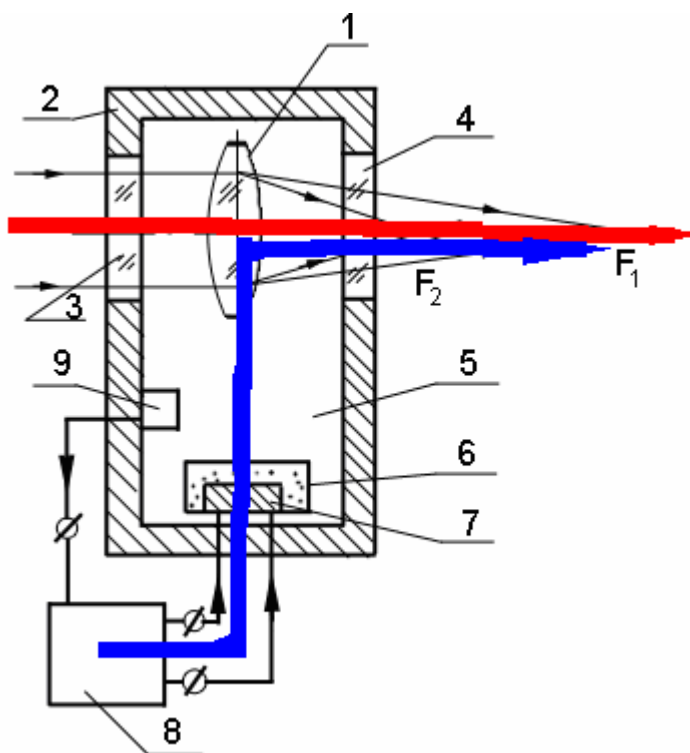


Рис. 1.16. Линии прохождения энергии/информации

Синим цветом обозначена линия медленных движений, связанных с выделением и поглощением паров. Красным цветом обозначена линия быстрых движений оптического излучения. Построение линии можно начинать с любого элемента системы. Например, на синей линии есть

электрический нагреватель 7, он выделяет тепловую энергию. Можно начать с него. Тепловое поле действует на адсорбент 6, который выделяет пары в полость 5. Информативный параметр теплового поля в данном случае - это температура нагрева адсорбента 6. По закону проводимости температура должна преобразовываться в информационный параметр выходящих паров. Очевидно, что чем больше температура нагрева, тем больше выходит паров. Количество паров можно характеризовать либо их давлением, либо их концентрацией, т.е. количеством паров линии, то к нагревателю 7 подводится электрический ток от блока 8 управления, а на него поступает информация с датчика 9 давления паров. Поэтому линия прохода задает структуру медленных движений, и может быть выстроена следующим образом (рис.1.17.).

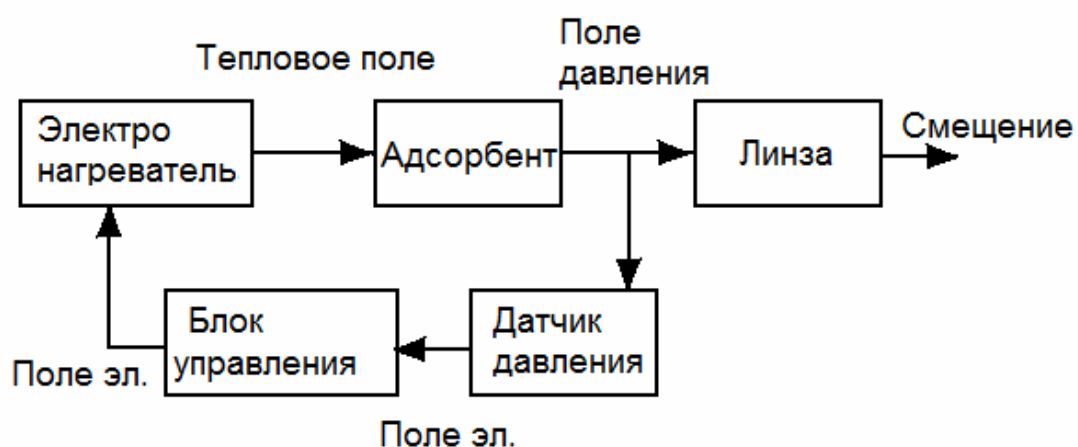


Рис. 1.17. Структурная схема прохода энергии/информации медленных движений

Вторая линия, быстрых движений, проходит через окна в корпусе 2 (рис.1.18а). Очевидно, эти две линии пересекаются на пористой линзе (рис. 1.18б).

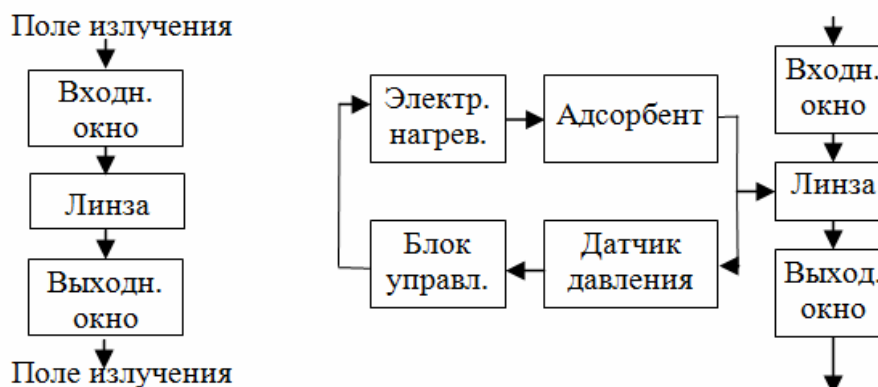


Рис. 1.18. Проход линий а) светового излучения, б) пересечения

По закону информационной и энергетической проводимости необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является сквозной проход энергии и информации по всем частям технической системы.

Новые решения будем получать, повышая информационную и энергетическую проводимость. Прежде всего, используем обратные связи, чтобы получить информационно-энергетическую циркуляцию в системе. Для этого энергия (информация) должна с одного из выходов снова поступить на вход (или на входы). Выходом структурной схемы является выходное окно (рис.18 б), из которого выходит сфокусированное излучение. Это излучение несет как энергию, так и информацию, причем в фокусе имеется максимум энергии, а информация заключается в величине фокусного расстояния.

Воспользуемся информационными свойствами выхода, а для этого измерим величину информации, т.е. фокусное расстояние. Фокусное расстояние линз могут измерять различного вида фотодатчики. Отсюда вытекает тип элемента, который необходимо ввести в структуру, т.е. фотодатчик. Его и устанавливаем на пути выходного излучения. Обычно фотодатчик преобразует длину фокусного расстояния в электрический сигнал. Для получения замыкания необходимо этот электрический сигнал подать на один из элементов исходной структуры, которые расположены впереди по линии прохождения энергии/информации.

Куда подать этот сигнал, определяется существующими вещественно-полевыми ресурсами. Обратимся к рис.1.17. Два элемента структуры имеют информационными входами электрические поля. Это блок управления и электронагреватель, причем на блок управления уже подается один электрический сигнал от датчика давления. Фотодатчик и датчик давления по исполняемой функции относятся к одному классу: преобразователей входной, неэлектрической величины, в электрический сигнал. Поэтому блок управления наиболее приспособлен к приему информации с фотодатчика. При замыкании получаем структурную схему, представленную на рис. 1.19. Такой подход использования ресурсов, без преобразования полей, является наиболее рациональным, так как при любом преобразовании энергия и информация частично теряются и решение получается дальше от идеального.

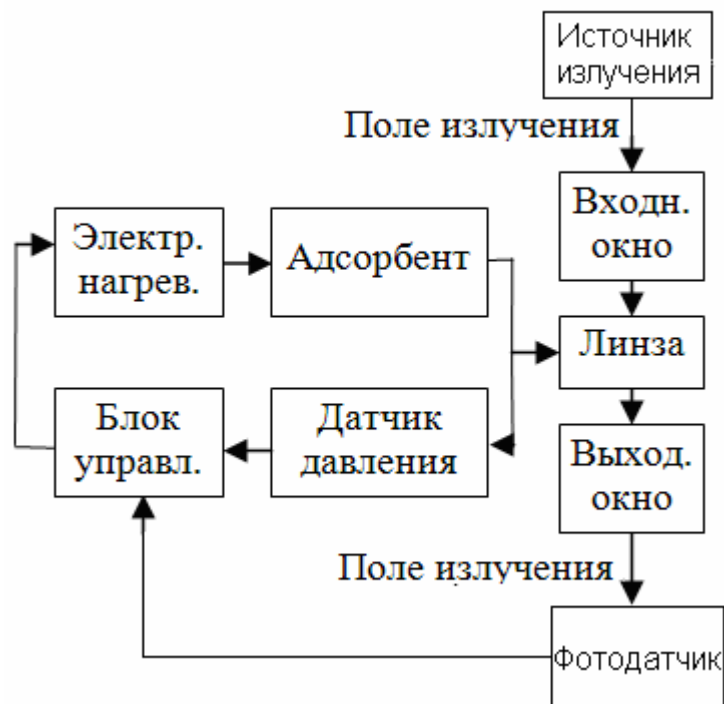


Рис. 1.19. Структурная схема системы, замкнутой по фокусному расстоянию

В конструктивной схеме фотодатчик 10 смещения фокуса ставится на выходную оптическую ось и сигнал с него подаётся на блок управления 8 (рис 1.20.)

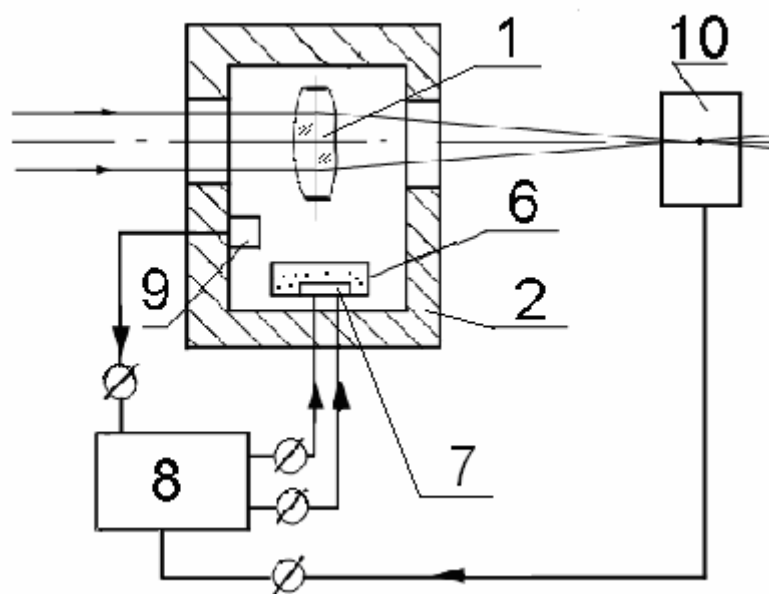


Рис. 1.20. Конструктивная схема системы, замкнутой по фокусному расстоянию

Проанализируем полученную структурную схему с точки зрения её работоспособности. Для этого построим потоково-информационную структурную схему (рис.1.21).

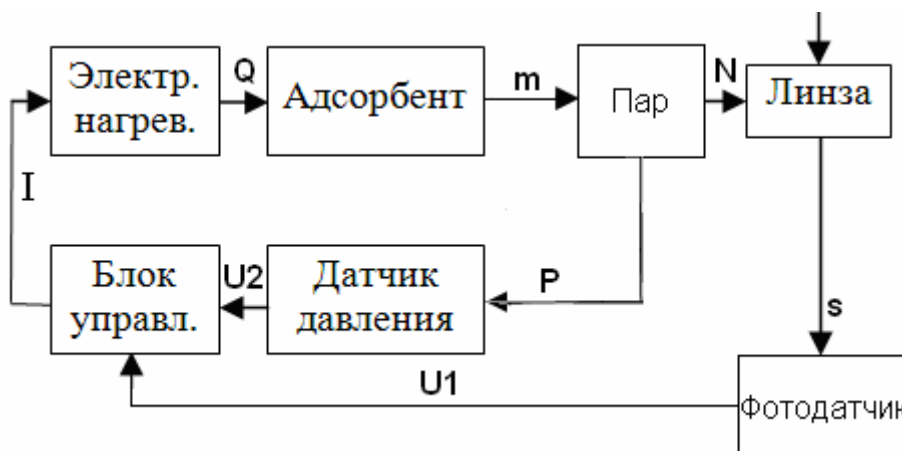


Рис. 1.21. Потоково-информационная схема системы

Потоково-информационная структура имеет только функциональные ресурсы - типы блоков, задающие их функции, и связи между ними. Связи будут полевыми ресурсами, в данном случае, только информационными. Видно, что схема имеет два кольца преобразования информации. По внешнему кольцу фокусное расстояние s последовательно преобразуется в электрическое напряжение $U1$, ток I , тепловой поток Q , массу пара m , концентрацию пара N , и снова в фокусное расстояние s . По внутреннему кольцу давление пара P последовательно преобразуется в электрическое напряжение $U2$, в ток I , тепловой поток Q , массу пара m , и снова в давление пара P . В состоянии равновесия фокусное расстояние s устанавливается постоянным, и все остальные переменные на выходах блоков тоже устанавливаются постоянными. Это постоянное значение s задается в блоке управления. Его структура, в простейшем виде, приведена на рис.1.22.

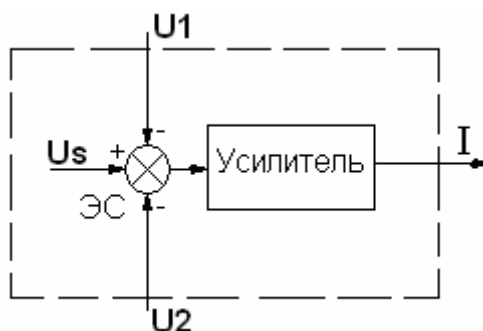


Рис. 1.22. Простейшая структурная схема блока управления

Усилитель на рис.1.22 усиливает сигнал ошибки $\Delta U = U_s - (U_1 + U_2)$ по току I , $I = k \cdot \Delta U$. Здесь U_s – напряжение, установленное в блоке

управления 8 извне, и определяющее необходимую величину фокусного расстояния s , I – ток, необходимый для работы электронагревателя 7, k – коэффициент усиления усилителя, U_1 – электрическое напряжение с выхода фотодатчика 10, U_2 – электрическое напряжение с выхода датчика давления 9.

Обратим внимание, что прототип – перестраиваемая оптическая система, предназначен для фокусировки излучения в определенной точке пространства за линзой. Фотодатчик 10, устанавливаемый в этой точке, не позволяет выполнять эту функцию. Следовательно, старая функция прототипа, строго говоря, пропадает. Зато в новой структуре благодаря замыканию появляются новые функции. Это функции регулирования любой физической величины, входящей в замкнутую структуру технической системы. Можно регулировать все величины на выходах блоков. Самым интересным в этой системе является регулирование паров, а именно, регулирование их массы m , давления P , и концентрации N .

Для примера рассмотрим регулирование концентрации паров N . Если установить в блоке управления 8 некоторую величину задающего сигнала U_s , то после окончания переходного процесса в системе устанавливается некоторое постоянное фокусное расстояние s , соответствующее этому напряжению. Также постоянными устанавливаются и все другие величины в замкнутых контурах структуры, в том числе, и некоторая постоянная концентрация пара N .

Допустим, что концентрация пара изменилась. Отчего это может произойти? От того, что в корпусе 2 идет некоторый процесс с выделением или поглощением паров, например, химико-технологический процесс осаждения покрытия на какую-либо подложку 11 (рис.1.23). При осаждении концентрация паров N в корпусе 2 снижается, коэффициент преломления линзы 1 уменьшается, фокусное расстояние s увеличивается. Фотодатчик 10 измеряет смещение фокуса и выдает сигнал на блок управления 8, который вырабатывает управляющий сигнал увеличения тока I через нагреватель 7. Адсорбент 6 нагревается и восстанавливает необходимую концентрацию N паров, задаваемую напряжением U_s .

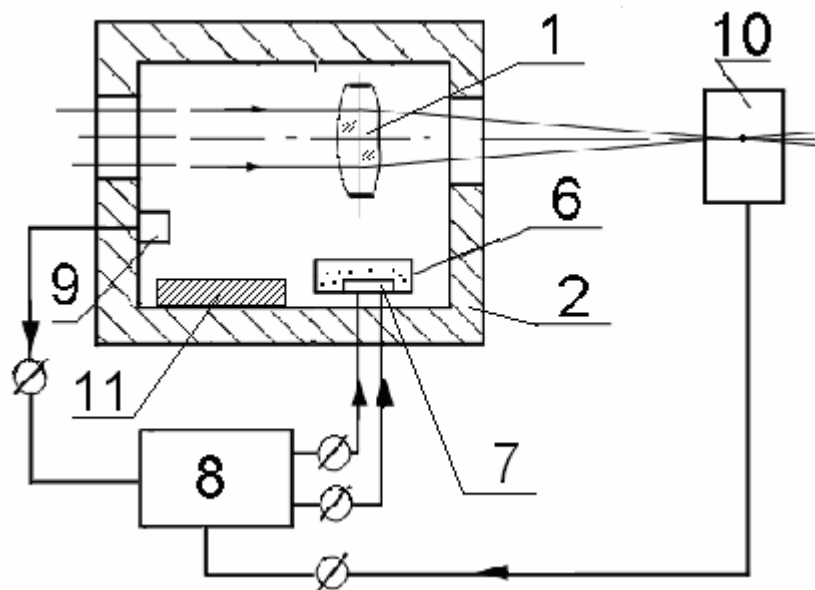


Рис. 1.23. Конструктивная схема системы регулирования концентрации пара

Аналогично можно регулировать давление пара, массу пара в замкнутом объеме (дозирование пара), температуру нагрева адсорбента и другие величины.

В рассмотренном примере обратная связь включается на информационный вход блока управления. Возможна подача обратной связи и на любые другие элементы структурной схемы. Рассмотрим пример включения обратной связи на другой элемент структуры, приведенной на рис.1.15, в частности, на пористую линзу. Функция, которую выполняет линза, это фокусирование излучения в определенной точке пространства, задаваемой фокусным расстоянием s . Следовательно, функциональный ресурс линзы, как блока, - фокусировать излучение. Теперь определим пространственно-временные и вещественно-полевые ресурсы линзы. В существующей схеме линза имеет один информационный вход, на который подаются пары в поры линзы, и который изменяет коэффициент преломления линзы. Имеется также один энергетический вход – излучение, а также один информационно-энергетический выход – излучение, которое и фокусируется в точке фокуса. Информацию несет фокусное расстояние (рис. 1.24). К пространственным ресурсам можно отнести расположение линзы на оптической оси, а также её размеры, в частности, радиусы кривизны. Вещественные ресурсы линзы – её материал, пористое стекло. Синхронизирующего входа и выхода линза не имеет.

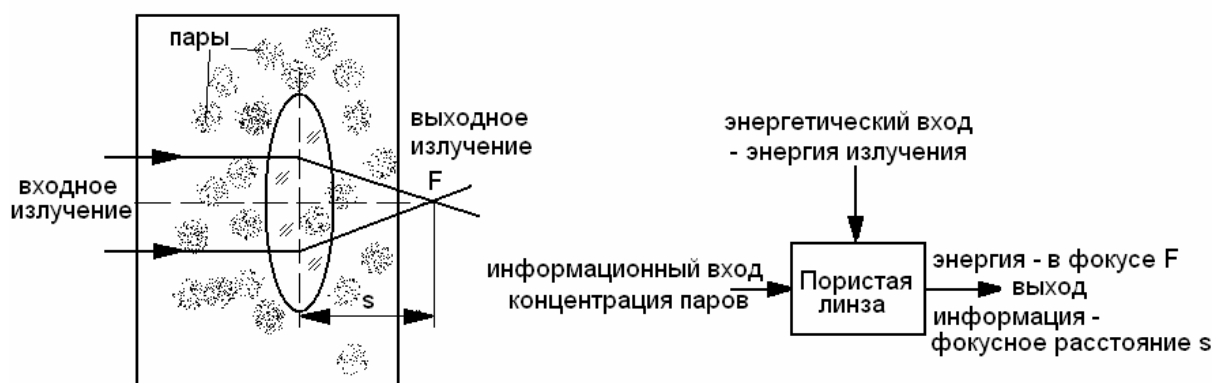


Рис. 1.24. Пористая линза как элемент структуры

Попробуем включить обратную связь с выхода линзы или всей структуры в целом, снова на линзу. Выходным информационным параметром является фокусное расстояние или перемещение фокуса при изменении концентрации паров. Измеряется эта величина в единицах длины. Отыскиваем ресурсы линзы, измеряемые в тех же единицах. Очевидно, это пространственный ресурс линзы – координата точки, задающая размещение линзы на оптической оси системы. Следовательно, действие обратной связи по фокусному расстоянию должно заключаться в перемещении линзы вдоль оптической оси системы. Для устойчивой работы системы связь должна быть отрицательной. На сколько переместится фокус из-за изменения коэффициента преломления линзы, на столько и необходимо подвинуть линзу на оси, только в другую сторону. Такое решение представлено на рис. 1.25.

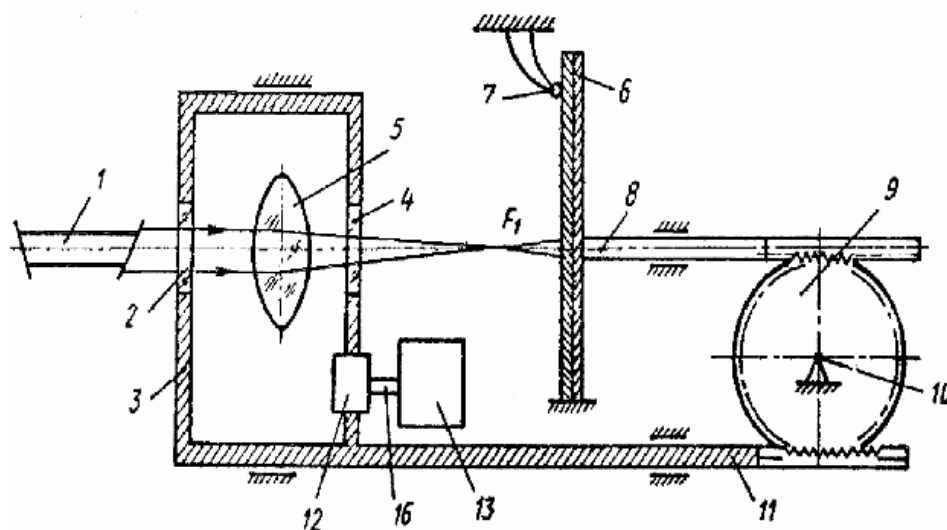


Рис. 1.25. Конструктивно-функциональная схема устройства для регулирования концентрации паров

Решение реализовано в изобретении [15], предназначенном для регулирования концентрации паров. Устройство работает следующим образом. При изменении концентрации паров внутри корпуса 3, изменяется коэффициент преломления пористой линзы 5 и перемещается фокус $F1$. Изменяется температура нагрева биметаллической мембраны 6 под действием излучения от источника 1. Мембрана 6 прогибается, и через механическую передачу 9,10, перемещает корпус 3 вместе с линзой 5. Одновременно регулятор паров 12 изменяет поступление пара в корпус 3 от источника паров 13. В простейшем случае регулятор 12 может быть сделан в виде заслонки в трубопроводе 16, которая, поворачиваясь от механического движения передачи 9, 10, увеличивает или уменьшает поступление паров.

С некоторыми решениями по использованию пористой линзы для регулирования концентрации и давления паров, а также их дозированию, можно познакомиться в [16-19].

1.3.3. Пример синтеза обратной связи в структурной схеме

Рассмотрим пример синтеза обратной связи в структурной схеме, заданной только функциональными блоками и связями между ним. На рис. 1.26 представлена типовая потоково-информационная структурная схема пьезопривода. Пьезопривод предназначен для линейного микро перемещения с некоторого объекта, к которому прикладывается усилие, развиваемое пьезодвигателем. Например, можно перемещать с высокой точностью зеркало оптической системы или клапан впрыска топлива в двигателе внутреннего сгорания.

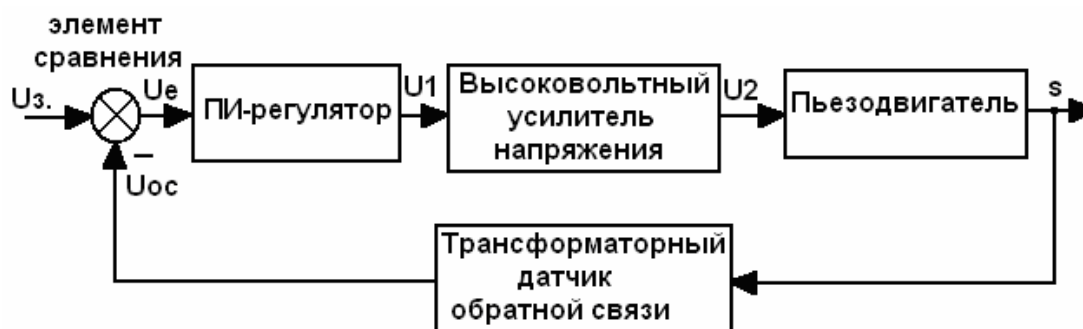


Рис. 1.26. Потоково-информационная структурная схема пьезопривода

Пьезодвигатель основан на явлении обратного пьезоэлектрического эффекта, заключающего в линейной деформации пьезоэлектрика под

действием электрического поля. При подаче на вход пьезодвигателя высокого электрического напряжения U_2 с усилителя напряжения, шток пьезодвигателя перемещается, и толкает перемещаемый объект. Линейное перемещение s измеряется трансформаторным индуктивным датчиком обратной связи и преобразуется в электрическое напряжение $U_{ос}$. Напряжение обратной связи $U_{ос}$ в элементе сравнения сравнивается с задающим напряжением U_3 , и сигнал ошибки $U_e = U_3 - U_{ос}$ поступает на ПИ-регулятор (пропорционально-интегральный регулятор). ПИ-регулятор вырабатывает управляющее напряжение U_1 на высоковольтный усилитель.

Как видно, конструктивных элементов схема не имеет. С точки зрения полноты частей системы, она является полной и замкнутой системой (как на рис.1.12). По закону повышения информационно-энергетической проводимости включим обратную связь с выхода системы на один из блоков, стоящих впереди по линии прохода информации через систему. Выходом системы является пьезодвигатель. Следовательно, выход пьезодвигателя можно подключить или к входу ПИ-регулятора, или к входу высоковольтного усилителя напряжения, или к другому входу того же пьезодвигателя. Для этого необходимо определить ресурсы структуры, т.е. входы и выходы блоков, между которыми можно включить обратную связь.

Существующие входы ПИ-регулятора, усилителя напряжения и пьезодвигателя по физической природе поля являются электрическими. Выход пьезодвигателя является механическим полем давления. Для определения неизвестных ресурсов структуры в виде входов и выходов блоков необходимо спуститься на один структурный уровень ниже, т.е. рассмотреть структурные схемы самих блоков, потоково-информационные или конструктивно-функциональные.

Принципиальная электрическая схема ПИ-регулятора представлена на рис.1.27.

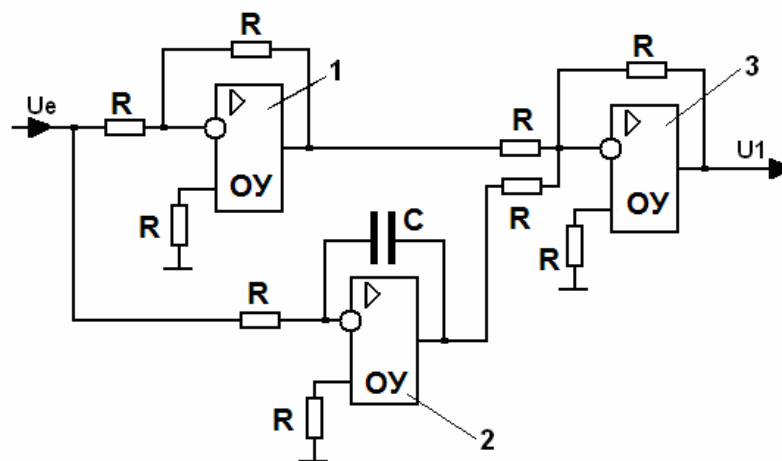


Рис. 1.27. Принципиальная электрическая схема ПИ-регулятора

ПИ-регулятор реализует пропорционально-интегральный закон регулирования, т.е. выходное напряжение U_1 равняется сумме пропорциональной и интегральной частей входного напряжения U_e ,

$$U_1 = k_1 \cdot U_e + k_2 \cdot \int U_e \cdot dt,$$

где k_1 – коэффициент передачи пропорциональной части регулятора, k_2 – коэффициент передачи интегральной части регулятора. Пропорциональная часть реализована на операционном усилителе ОУ 1, а интегральная часть – на операционном усилителе ОУ 2. Суммирование осуществляет операционный усилитель ОУ 3.

Определим ресурсы входов элементов ПИ-регулятора. Любой операционный усилитель ОУ имеет три входа, различающихся по типу: информационный, энергетический и параметрический, которые влияют на его выход (рис. 1.28).

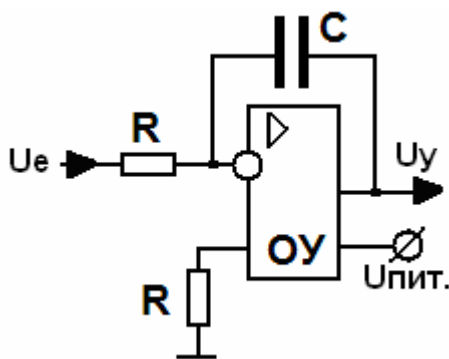


Рис. 1.28. Ресурсные входы интегрирующего операционного усилителя

Выход U_y зависит от информационного входа U_e , энергетического входа $U_{пит.}$, куда подается напряжения питания, и параметрического входа, который определяет его коэффициент передачи. Величина этого коэффициента зависит от значений емкости конденсатора C в обратной связи усилителя, и входного сопротивления резистора R . Следовательно, обратную связь можно завести на один из этих входов, т.е. в соответствии с изменением сигнала обратной связи изменять либо входное напряжение U_e , либо менять напряжение питания $U_{пит.}$, либо изменять емкость C или сопротивление R . Напряжение питания микросхем стандартизовано, и его обычно не меняют. Поэтому ресурс изменения $U_{пит.}$ рассматривать не будем, хотя надо помнить, что ресурс стабилизации питания различных электронных устройств имеет большое значение и используется, например, в стабилизаторах напряжения.

Примеры применения двух других типов входов приведены на рис. 1.29.

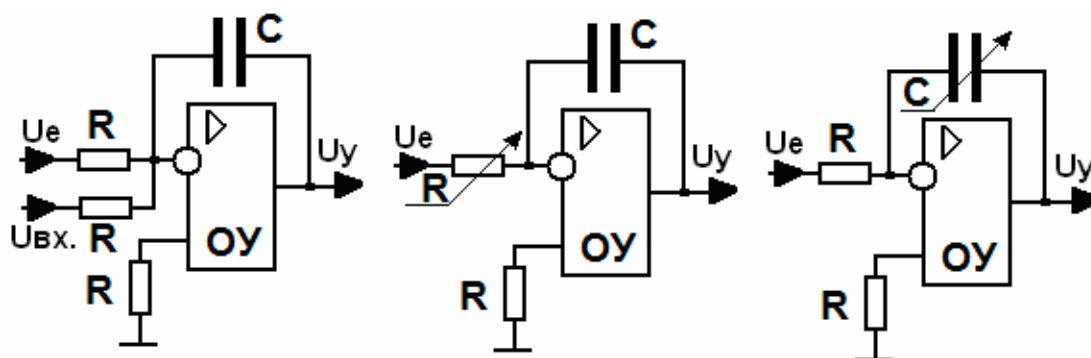


Рис. 1.29. Ресурсные входы интегрирующего операционного усилителя

Наиболее просто реализуется второй информационный вход $U_{вх.}$, куда можно подать обратную связь в виде электрического напряжения. Параметрические входы тоже электрического типа, но реализуются сложнее, поскольку в зависимости от сигнала обратной связи необходимо менять сопротивление R резистора или емкость C конденсатора.

Конструктивно-функциональная схема пьезодвигателя с индуктивным трансформаторным датчиком обратной связи приведена на рис. 1.30.

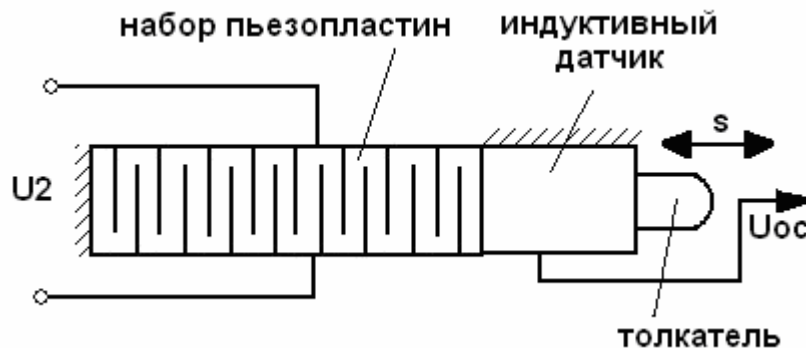


Рис. 1.30. Структурная схема пьезодвигателя с датчиком обратной связи

Пьезодвигатель представляет собой набор пластин из пьезокерамики, соединенный с толкателем. При подаче на вход пьезодвигателя высокого напряжения U_2 пластины расширяются и перемещают толкатель на расстояние s . Механически пластины соединены последовательно, в столбик, а электрически – параллельно. Для анализа ресурсов входов и выходов для упрощения можно рассмотреть одну пьезопластину (рис.1.31).

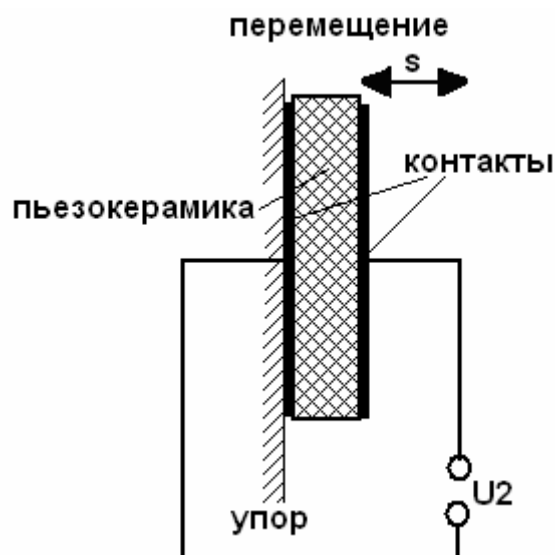


Рис. 1.31. Пьезопластина линейного двигателя

Пьезопластина представляет собой таблетку из пьезокерамики, торцы которой металлизируются, для создания электрического контакта. Пластины собираются в столбик, который устанавливается в корпусе двигателя и поджимается в осевом направлении пружиной. При подаче напряжения на пластину столбик увеличивается по длине, толкает шток и сжимает пружину. При снятии напряжения пружина распрямляется и возвращает столбик в исходное состояние. Для прохождения штока в корпусе двигателя имеется отверстие.

Информационным и энергетическим входом является электрическое напряжение U_2 , подаваемое на контакты. Информационным выходом является перемещение s , а энергетическим выходом можно считать силу, которая возникает при подключении нагрузки к толкателю.

Для включения обратной связи с двигателя на ПИ-регулятор попробуем найти электрический выход пьезопластины, поскольку в решении, близком к идеальному, желательно исключить преобразования полей. С электрической точки зрения пьезокерамика представляет собой диэлектрик, а металлические покрытия, нанесенные на торцы, являются обкладками конденсатора. Пьезопластина в электрических схемах выполняет функцию емкости C . Следовательно, её можно включить в обратную связь операционного усилителя 7 (рис. 1.32).

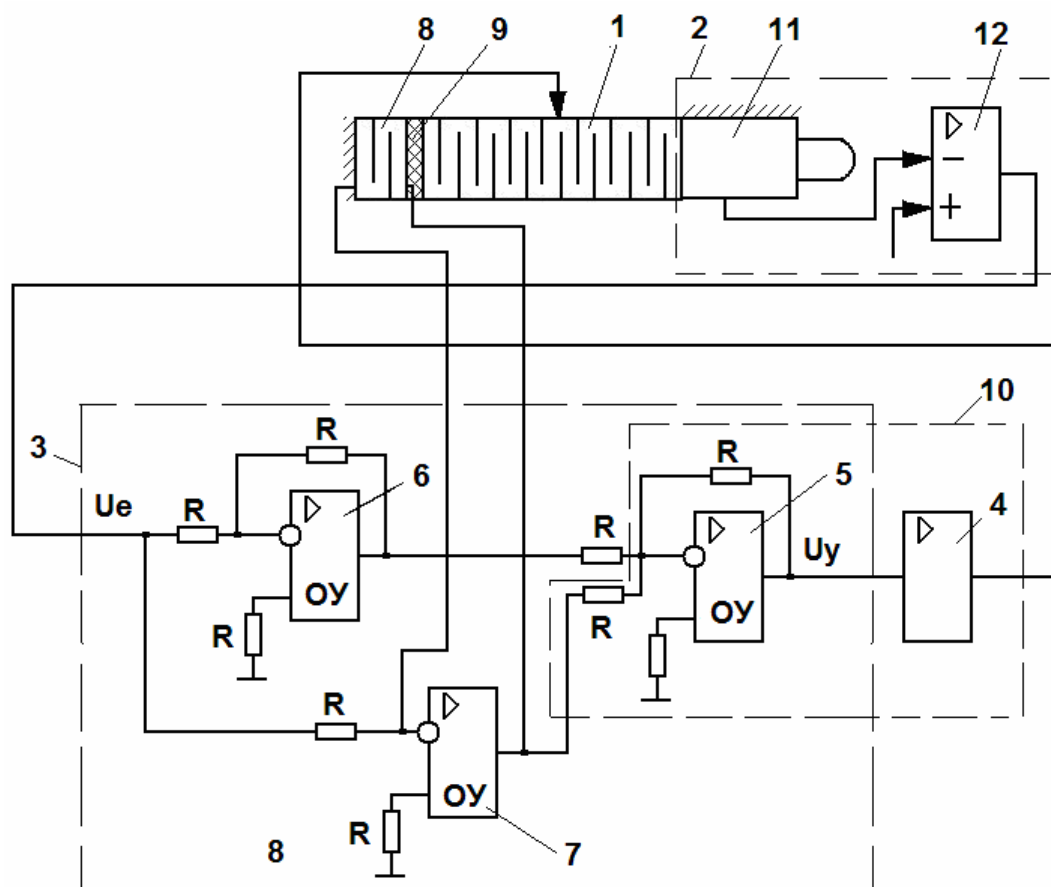


Рис. 1.32. Линейный пьезопривод с параметрической обратной связью

Но её емкость должна изменяться в процессе работы двигателя, передавая сигнал параметрической обратной связи на ПИ-регулятор (рис. 1.29, справа). Если эта пластина будет находиться в пьезостолбе, то она будет испытывать механическое давление остальных пластин. Необходимо это давление преобразовать в изменение емкости. Наиболее подходящим вариантом физического преобразования поля давления в электрический сигнал является прямой пьезоэффект.

Таким образом, одну или несколько пластин в пьезодвигателе изолируем от других пластин столбца, и полученный конденсатор включаем в обратную связь интегрирующего усилителя ПИ-регулятора. Решение защищено патентом на полезную модель [20].

Сделаем некоторые выводы по синтезу структурных схем:

1. Новая структура получается в результате включения в систему обратных и прямых связей;

2. Для включения связей используются ресурсы элементов структуры: их информационные, энергетические, синхронизирующие входы и выходы;
3. Для поиска новых входов и выходов элемента, заданного в структурной схеме условным обозначением (например, квадратом с названием элемента), необходимо рассмотреть внутреннюю структуру этого элемента.
4. Для реализации обратной связи выгодно использовать существующие ресурсы схемы, исключив промежуточные преобразования полей.

1.3.4. Структурные схемы формул изобретений

В патентном праве, защищающем новшества в области техники, в результате многолетней практики сложилось словесное описание устройства как объекта изобретения. К устройствам относятся конструкции и изделия. Наиболее формализованным описанием устройства как технической системы является **формула изобретения**, которая выражает его сущность и служит для определения объема правовой охраны, предоставляемой патентом. Формула изобретения составляется по определенным правилам и может считаться патентной моделью технического новшества.

Формула изобретения содержит **признаки изобретения**. Для характеристики устройств используются следующие признаки:

- наличие конструктивных элементов;
- наличие связи между элементами;
- взаимное расположение элементов;
- форма выполнения элемента или устройства в целом, в частности, геометрическая форма;
- форма выполнения связи между элементами;
- параметры и другие характеристики элементов и устройства в целом;
- материал, из которого выполнен элемент или устройство в целом; среда, выполняющая функцию элемента.

Множество признаков, образующих формулу изобретения, обозначим через Π [21]. Пусть Π_i – один признак устройства, а Π_j – другой признак. Для перехода к структурной схеме введем следующее бинарное

отношение R между признаками устройства: $R \sim$ "не существует без". Запись $P_j R P_i$ означает, что признак P_j не существует без признака P_i . Следовательно, можно сказать, что признак P_j находится в некотором подчинении у признака P_i . На структурной схеме будем обозначать признаки изобретения вершинами графа, а отношения R между признаками - ребрами графа.

Введем ориентацию в графе, обозначив отношения подчиненности стрелками на ребрах. Например, на рис. 1.33 представлена граф-схема формулы изобретения, состоящая из двух признаков P_1 и P_2 , причем признак P_2 не существует без P_1 или кратко $P_2 R P_1$.

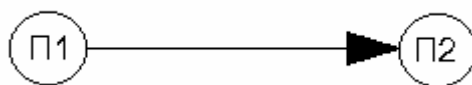


Рис. 1.33. Граф-схема бинарного отношения

Таким образом, устанавливая наличие или отсутствие бинарных отношений между всеми признаками устройства, можно построить его структурную схему в виде некоторого иерархического графа.

Рассмотрим пример составления структурной схемы по формуле изобретения для датчика давления, рассмотренного в разделе 1.1.3. В описании к изобретению представлена следующая формула изобретения:

Формула изобретения

Датчик давления, содержащий корпус, в котором закреплена мембрана, связанная с преобразователем перемещений, к выходу которого подключен усилитель, отличающийся тем, что, с целью расширения диапазона измерений, он снабжен нагревательным элементом, установленным на мембране и подключенным к выходу усилителя, а мембрана выполнена из металла с деформационной памятью.

Введем обозначения для признаков, характеризующих наличие конструктивного элемента: P_1 - наличие корпуса, P_2 - наличие мембраны, P_3 - наличие преобразователя перемещений, P_4 - наличие усилителя, P_5 - наличие нагревательного элемента. Обозначим признаки, характеризующие связи между элементами: P_6 - связь мембраны с преобразователем перемещения, P_7 - связь выхода преобразователя перемещений с усилителем, P_8 - связь нагревательного элемента с выходом усилителя. Обозначим признаки, характеризующие взаимное расположение элементов: P_9 - мембрана закреплена в корпусе, P_{10} - нагревательный элемент установлен на мембране. Наконец, через P_{11}

обозначим признак, характеризующий материал элемента, а именно, выполнение мембраны из металла с памятью формы.

Составим матрицу (табл.2) бинарных отношений признаков изобретения.

Таблица 2. Матрица бинарных отношений

	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11
П1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
П2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
П3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
П4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
П5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
П6	0	R	R	0	0	0	0	0	0	0	0
П7	0	0	R	R	0	0	0	0	0	0	0
П8	0	0	0	R	R	0	0	0	0	0	0
П9	R	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0
П10	0	R	0	0	R	0	0	0	0	0	0
П11	0	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0

По строкам и столбцам матрицы откладываются признаки изобретения. На пересечении i-ой строки и j-го столбца указывается бинарное отношение между i-м и j-м признаками. Например, П8 R П4 означает, что признак П8 в этом изобретении не существует без признака П4. Действительно, если не будет признака П4, т.е. не будет усилителя, то и не будет признака П8, т.е. связи усилителя с нагревательным элементом.

На основании табл.2 составим граф-схему формулы изобретения (рис. 1.34).

Граф-схема формулы изобретения может быть использована для оценки силы формулы изобретения. Под силой формулы понимается объем прав, защищаемых формулой. Чем сильнее формула, тем больший объем она защищает.

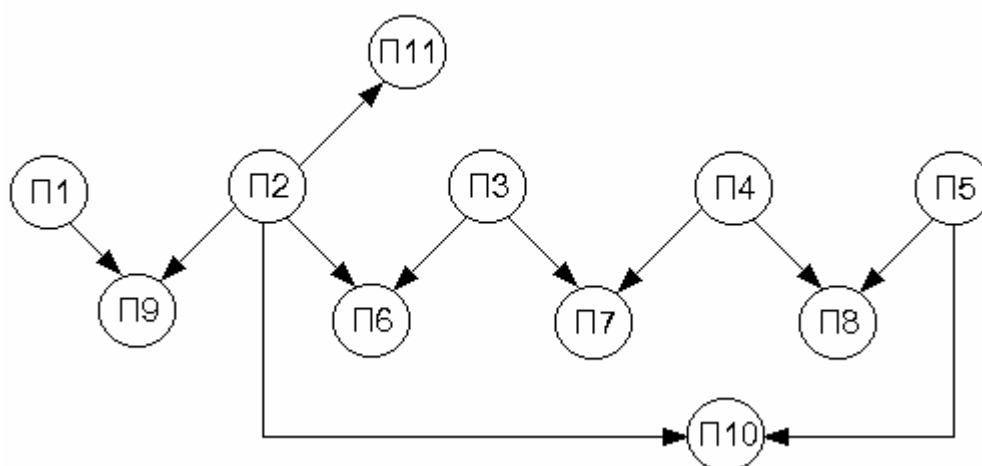


Рис. 1.34. Граф-схема формулы изобретения

Грубая оценка F1 силы формулы представляется выражением

$$F1 = \frac{1}{n}, \quad (1.10)$$

где n- число признаков формулы изобретения.

Чем больше признаков в формуле изобретения, тем подробнее она описывает изобретение, и тем меньше объем прав, защищаемых формулой. Если бы можно было запатентовать устройство с формулой только из одного признака, (например, "датчик давления"), то эта формула бы имела максимально возможную силу $F1 = 1$ и препятствовала защите новых технических решений. Все другие датчики давления не являлись бы новыми, так как прототип - датчик давления как таковой уже есть.

Поэтому получить патент на такое изобретение нельзя. По сути, его формула защищает только функцию, выполняемую устройством, и не описывает его конструкцию, а функция измерения и преобразования давления известна давным-давно и не является новой. Заявка на такое устройство получила бы отказ из-за отсутствия новизны, так как датчик давления (любой) уже есть.

Важно отметить, что сравнивать формулы по силе желательно для изобретений, относящихся к одной группе международной классификации изобретений (МКИ), т.е. имеющих одинаковый или близкий индекс МКИ.

Были формулы изобретений, содержащие несколько страниц текста и имеющие несколько сотен признаков, например, защищающие принципиальную электрическую схему какого-нибудь вычислительного

устройства. В то же время рассматриваемый датчик давления имеет всего 11 признаков. Поэтому сравнивать их по силе формулы изобретения было бы неправомерно.

При грубой оценке силы $F1$ формулы изобретения предполагается, что все признаки вносят одинаковый вклад в образование структуры. Однако из рис.1.33 видно, что вершина графа П2 имеет 4 ребра, вершины П1 и П11 - одно ребро, а остальные вершины - по два ребра. При выпадении из структуры признака П2 структура формулы разрушается сильнее, чем, например, при выпадении признака П11. Поэтому признак П2 является более структурообразующим, чем остальные признаки, а поэтому и более сильным.

Введем определение силы f_i i -го признака как число ребер, принадлежащих вершине P_i графа. Тогда уточненная оценка $F2$ силы формулы может быть записана в виде

$$F2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i}}. \quad (1.11)$$

По выражениям (1.10) и (1.11) для датчика давления получаем следующие значения силы формулы изобретения

$$F1 = \frac{1}{n} = \frac{1}{11} = 0.091, F2 = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{8}{2} + \frac{2}{1}} = 0.16.$$

1.3.5. Вепольные треугольные структуры

Треугольную структуру образует граф из трех элементов со связями или отношениями между ними. В различных областях естествознания и техники структура из трех элементов, или триадная, является основой понятийного аппарата, простейшей моделью, минимальным описанием системы. Мы существуем в трехмерном пространстве, исчисление треугольников лежит в основании геометрии, марковский случайный процесс определяет триаду "прошлое-настоящее-будущее", в электротехнике важнейшим разделом является трехфазный ток, в строительстве треугольные конструкции образуют наиболее прочные сооружения, плоская решетка с треугольными ячейками в теории протекания [22] обладает минимальным порогом протекания, в биологии структура "отец-мать-ребенок" передает генетическую информацию человечества.

В динамической структуре связь между элементами зависит от времени, поэтому треугольная динамическая структура (динамический треугольник) может быть задана системой трех дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши. Например, математическая модель сообщества "производители-продукт-управленцы" на качественном уровне описывается системой уравнений [23]

$$\dot{x} = f_1(x, y, z), \quad \dot{y} = f_2(y, z), \quad \dot{z} = f_3(x, y, z),$$

где x - число производителей, y - число управленцев, z - количество продукта, f_i - в общем случае, нелинейные функции, $i=1,2,3$. Граф-схема этой структуры приведена на рис. 1.35а. Каждая стрелка на схеме отвечает воздействию переменной, от которой она идет, на изменение той переменной, к которой она ведет.

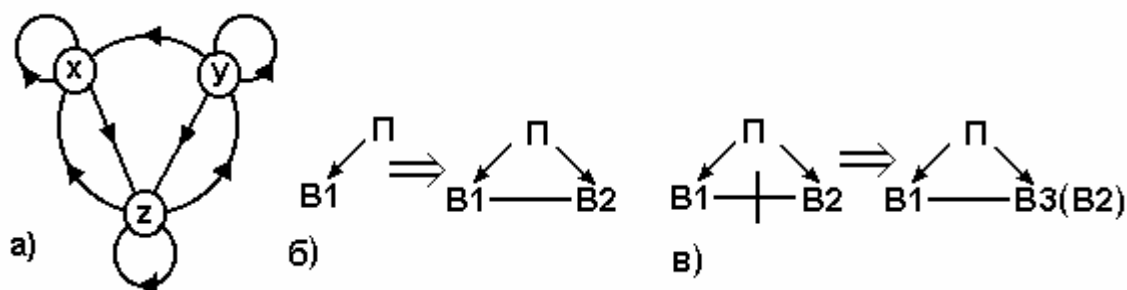


Рис.1.35. Примеры графов треугольных структур

В теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) широко используется метод структурного анализа и синтеза по статическим треугольным структурам. По первым буквам слов "вещество" и "поле", образующим вершины графа-треугольника, этот метод называется вепольным анализом.

Единицей структурного анализа является веполь, который представляет триаду из двух веществ и поля или двух полей и вещества. В отличие от обычного представления, в ТРИЗ под веществами понимаются любые элементы устройства или технической системы, ее функциональные части, или даже целые системы. Поля отражают любое взаимодействие между веществами. Решение изобретательской задачи представляется как некоторое преобразование вепольной структуры.

В ТРИЗ существуют два основных метода синтеза треугольных структур: достройка неполной триады до полного треугольника (рис.1.35б) и разрушение старой треугольной структуры и постройка новой (рис.1.35в). Такой метод синтеза может быть назван дискретным, так как осуществляется по шагам. Например, в задаче на разрушение (рис.1.35в)

первым шагом является разрушение связи между веществами B1 и B2, вторым шагом - поиск нового вещества B3, третьим шагом является замыкание веполя до полного треугольника. В некоторых задачах может быть еще один шаг между первым и вторым - поиск нового поля П.

2. Математическая модель передачи наследственной информации в изобретательской задаче

2.1. Методы эволюционной кибернетики в техническом творчестве

В 70-80-х годах прошлого века получило начало новое направление в теории техники, связанное с использованием достижений биологических наук, в частности, в области биологической эволюции. В технике были введены понятия технической эволюции: вид, популяция, техногенетика, генотип и др. [24]. Собственно, это направление проявилось уже давно, о чем говорит термин «поколение техники». Этот термин предполагает сменяемость техники в терминах биологических поколений. В ТРИЗ известная S-кривая развития технических систем задает три этапа эволюции технических систем. Она также впервые была получена в биосистемах для описания развития популяций микроорганизмов.

Основной вывод, который можно сделать в этом направлении, такой: эволюция в технике осуществляется под действием закона информационного отбора, аналогичного закону естественного отбора Ч.Дарвина, и ряда закономерностей развития техники. Основным носителем информации, которая передается по наследству от поколения к поколению в технике, является проектно-конструкторская документация. В изобретательстве таким носителем являются патенты на изобретения.

Изобретение описывается формулой изобретения, которая составляется по определенным правилам. В частности, формула изобретения содержит признаки прототипа, которые передаются новому решению. Это признаки ограничительной части формулы. Например, для датчика давления, рассмотренного в разделе 1.4., ограничительные признаки следующие:

«Датчик давления, содержащий корпус, в котором закреплена мембрана, связанная с преобразователем перемещений, к выходу которого подключен усилитель».

После слов «отличающийся тем, что», приводятся отличительные признаки: «...он снабжен нагревательным элементом, установленным на мембране и подключенным к выходу усилителя, а мембрана выполнена из металла с деформационной памятью».

Таким образом, можно сказать, что новому решению передаются по наследству от прототипа, во-первых, название «датчик давления», определяющее функцию устройства, а во-вторых, часть конструкции.

Поставим вопрос, каким образом передаются наследственные свойства от предыдущего поколения техники последующему поколению, или от прототипа к новому решению? Очевидно, что техника или проектная документация и патенты сами себя не воспроизводят. В этом отличие технических систем от биологических. Наследственные свойства в технике передает человек, проектируя или изобретая новую техническую систему, т.е. производя информацию усилиями своего мышления. Следовательно, в техническом творчестве недостаточно рассматривать только эволюцию техники, но необходимо также рассматривать и процесс мышления изобретателя, работу его психики, его мозга.

Мозг человека также прошел стадии биологической эволюции, пока не превратился в совершенный биологический управляющий компьютер. Причем его эволюции предшествовала эволюция нервной деятельности животных, а до этого эволюция реакции на внешние раздражения вообще живых существ. Очевидно, что мозг человека развивался параллельно с созданием техники. Следовательно, процессы мышления формировались как эволюционные механизмы. Особенность мышления человека заключается в том, что его мозг как биологический компьютер одновременно является и объектом управления, и управляющим устройством, и в процессе решения изобретательской задачи, в быстрое время, повторяет длительный процесс эволюции мышления. Можно сказать, что при поиске нового решения мысли зарождаются и умирают в процессе гомеостаза, выражающего закон единства и борьбы противоположностей, а наше мышление управляет этим процессом. Изучению специфики процесса вызвали появление нового направления - эволюционной кибернетики [6,25]. Эволюционная кибернетика изучает процессы возникновения естественного интеллекта, эволюцию биологических систем обработки информации и выработки управлений. Важнейшей целью эволюционной кибернетики является создание искусственного интеллекта.

Применительно к техническому творчеству искусственный интеллект должен решать изобретательские задачи, т.е. генерировать новые идеи на основе наследственной информации прототипа, забывать старые идеи, преодолевая психологическую инерцию мышления,

осуществлять естественный отбор наилучших решений, используя генетические алгоритмы.

Моделирование мышления изобретателя в ходе решения изобретательской задачи по АРИЗу рассмотрено в [1] (раздел 3.2.3 – Динамический вепольный анализ в АРИЗ). Модель представляла гомеостаз противоположных свойств технического противоречия. В рамках биологических моделей развития популяций рассмотрены две стадии: а) эмбриональный рост решения или Х-элемента, в мышлении, б) рождение и существование Х-элемента.

2.2. Система мысленного слежения

Г.С. Альтшуллер неоднократно указывал [10], что алгоритм решения изобретательских задач, в отличие от метода проб и ошибок, является методом направленного поиска. В учебном пособии [1] процесс решения задачи по АРИЗу рассматривается как зарождение и выращивание нового знания в рамках саморазвивающегося веполя. Общим для поиска и саморазвития является процесс движения или эволюции в мышлении изобретателя. В первом подходе по шагам движется алгоритм, отыскивая "спрятавшееся" решение, во втором случае движется, развивается само решение как результат борьбы или гомеостаза противоположных свойств противоречия. Используя аналогию с системами пространственного слежения, рассмотрим процесс решения изобретательской задачи как задачу поиска, обнаружения, распознавания, захвата и слежения за подвижной целью, а систему, реализующую этот процесс, назовем системой мысленного слежения (СМС) [26].

Исходя из логических и психологических свойств мышления, определим оперативную зону или пространство поиска в СМС как сознание и подсознание изобретателя. АРИЗ, являясь инструментом, по мере решения задачи «загружается» в сознание и начинает формировать изделие в оперативной зоне, т.е. цель поиска в подсознании. При формировании увеличивается плотность конфликта по мере развития и обострения противоречий (по цепочке: административное – техническое – физическое) и локализации конфликта в пространстве, времени и ресурсах. Закономерен вопрос: к чему приводит глобальное сжатие оперативной зоны, или какой характер имеет процесс движения цели в подсознании?

В работе [27] высказано предположение, что в режиме поиска в подсознании возникают случайные колебания мышления. Колебательный характер объясняется двумя причинами:

гомеостаз противоположных свойств противоречий в АРИЗ представляет непрерывный взаимообмен энергией и информацией;

в теории управления режим автоколебаний осуществляет вибрационную линеаризацию "мертвых" зон, преодолевая трение застоя, а АРИЗ, как способ управления мышлением, содержит психологические операторы "раскачки", снижающие инерцию мышления.

Случайность колебаний объясняется тем, что АРИЗ в определенной степени вытесняет метод проб и ошибок из сознания в подсознание, а в методе проб и ошибок поисковые движения часто имеют случайный, интуитивный характер. Другими словами, логические операторы АРИЗ управляют магистралью развития сознания, а интуитивная часть управления заставляет мышление "рыскать" в подсознании относительно магистрали.

В результате поиска в подсознании цель обнаруживается, происходит ее захват или "озарение", т.е. появление нового решения в сознании. При захвате СМС замыкается отрицательной обратной связью по положению цели, поисковые колебания срываются, и система следит за движением цели.

Таким образом, принципиально можно выделить 3 режима работы СМС:

поиск цели в сознании;

поиск цели в подсознании, включающий обнаружение, опознавание и захват цели;

слежение за целью в сознании.

Каждому из режимов работы СМС соответствует своя структура и ее математическая модель. Определим направление исследований - нахождение математической модели системы мысленного слежения и выбор критерия захвата ("озарения").

2.2.1. Режимы поиска и слежения в сознании

Объектом поиска или целью будем считать X-элемент, так как его нахождение разрешает противоречие и дает решение задачи. Средством поиска будут два противоположных полезных свойства технического противоречия, развивающиеся в сознании по положительной и отрицательной S-кривым (рис.2.1а). При увеличении во времени разницы между двумя противоположными состояниями инструмента конфликтной пары, S-кривые симметрично расходятся относительно уровня прототипа и

определяют пространство поиска. В точке максимального расхождения (т.е. при крайних состояниях инструмента) получаем идеальный конечный результат (ИКР) как объединение экстремальных значений координат x и y .

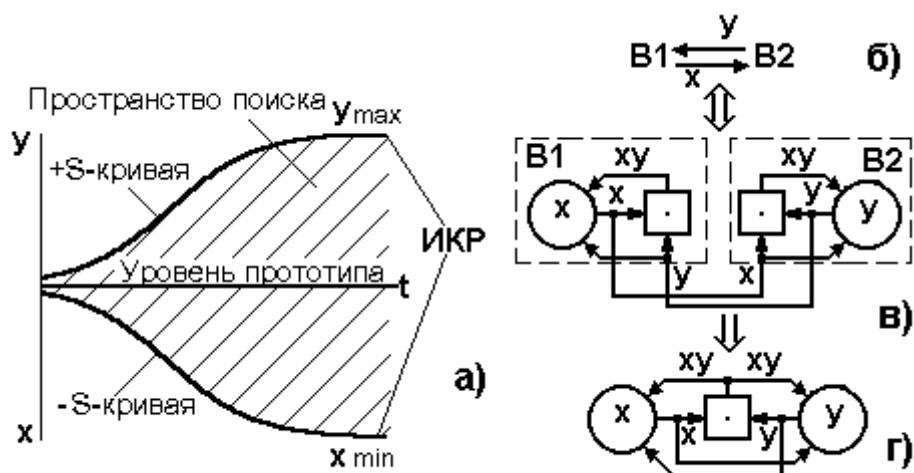


Рис. 2.1. а) пространство поиска, б) неполный векполь генератора S-кривых, в) структура генератора, г) структура бисвертки

Дифференциальные уравнения генератора S-кривых получены в [28]

$$Kdx/dt = -3xy - ay, \quad (2.1)$$

$$Kdy/dt = 3xy - ax, \quad (2.2)$$

где t - время, x и y - координаты, определяющие эволюцию противоположных свойств технического противоречия во времени с начальными условиями $y(0) = -x(0) > 0$, K и a - параметры, определяющие свойства мышления: $3/a$ - коэффициент генерации новых идей, $K/a = T$ - постоянная времени психологической инерции, a - коэффициент остроты мышления.

Векпольная структура уравнений (2.1) и (2.2) приведена на рис.2.1б. Как видно, векполь неполный, так как состоит всего из двух веществ B1 и B2, являющихся противоположными свойствами технического противоречия (ТП). Принцип получения векпольной модели уравнений (2.1) и (2.2) следующий. Производные, т.е. скорости изменения координат dx/dt и dy/dt , обозначаются кругами с соответствующей координатой внутри. На выходе кругов получают координаты x или y . Произведение xy обозначается квадратом с точкой внутри. Слагаемые в правых частях уравнений (2.1) и (2.2) обозначаются стрелками, входящими в соответствующие круги x или y . Коэффициенты в уравнениях и знаки слагаемых можно предварительно не учитывать, так как наиболее общий

веполь отражает лишь информацию о наличии веществ и полей и связях между ними.

В работе [1] такая вепольная структура определена как эмбриональный этап саморазвивающегося веполя, где вещества В1 и В2 являются "родителями" нового знания. "Родители" образуют компенсационный гомеостат, в котором идет обмен энергией, информацией, веществом (т.е. гомеостаз) по нижним стрелкам x и y на входах В2 и В1 соответственно (рис.2.1в). Философски гомеостаз представляет единство и борьбу противоположностей. Борьба осуществляется по стрелкам x и y , подходящих к кругам, а единство - по стрелкам x и y , подходящих к квадратам извне, со стороны другой противоположности. Внешне, т.е. в сознании, этот гомеостаз не проявляется, так как положительная и отрицательная S-кривые на рис.2.1а являются плавными, не пересекающимися и монотонными линиями.

Второй этап эволюции саморазвивающегося веполя определен как этап рождения X-элемента. На этом этапе неполный веполь генератора S-кривых (рис.2.1б) достраивается до полного веполя путем введения информационного поля X-элемента, т.е. $\Pi_{\text{инф}}$ (рис.2.2в).

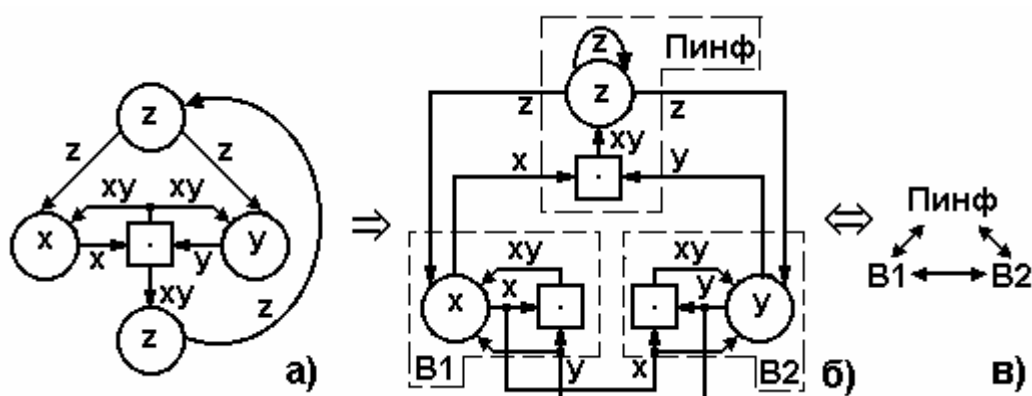


Рис. 2.2. а) структура СМС в режиме захвата X-элемента; б) структура развертки саморазвивающегося веполя; в) полный саморазвивающийся веполь

С точки зрения работы СМС рождение X-элемента эквивалентно режиму захвата цели. Дифференциальные уравнения для этого режима следующие:

$$Kdx/dt = - 3xy + az, \quad (2.3)$$

$$Kdy/dt = 3xy - az, \quad (2.4)$$

$$Kdz/dt = 3xy - az, \quad (2.5)$$

где переменная z задает эволюцию X-элемента или, точнее, его информационного поля во времени. Структура уравнений (2.3) - (2.5) приведена на рис. 2.2а.

При захвате цели имеющийся в подсознании прообраз X-элемента (нижний кружок z на рис.2.2а) "пробивается" в сознание (верхний кружок z) по петле обратной связи (стрелка z от нижнего кружка z к верхнему кружку z). Структура СМС включается в режим слежения, замыкаясь по стрелкам z от прообраза X-элемента в сознании через "родителей" (кружки x и y) и блок умножения xu на прообраз X-элемента в подсознании. Если система уравнений (2.3) - (2.5) устойчива, то СМС "втягивается" в слежение. Графики изменения координат x , y и z в режиме слежения приведены на рис.2.3 и 2.4 и представляют собой плавные, монотонно спадающие до нуля кривые в случае полного разрешения противоречия, или до некоторой постоянной величины - в случае частичного разрешения противоречия.

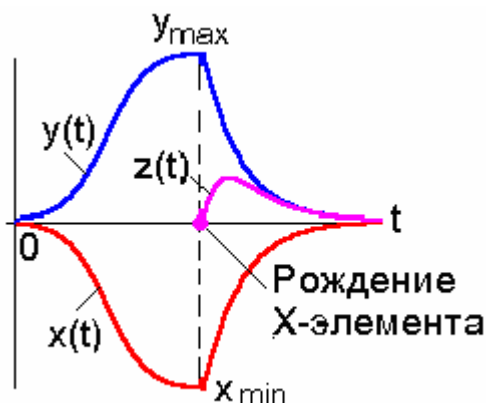


Рис. 2.3. Полное разрешение противоречия

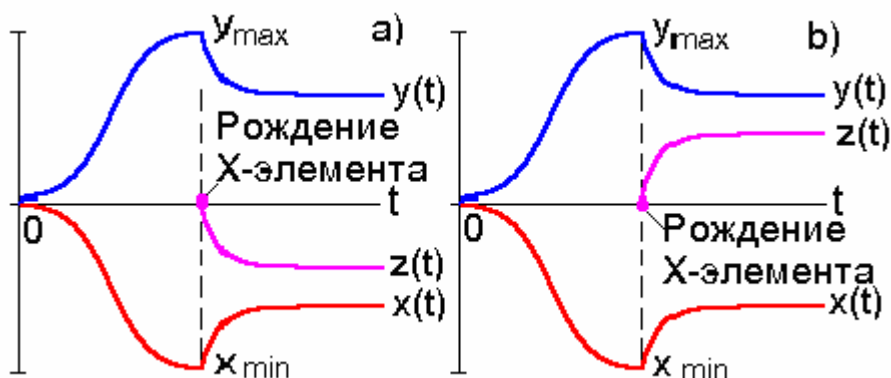


Рис. 2.4. Частичное разрешение противоречия а) отрицательный X-элемент; б) положительный X-элемент

Таким образом, можно заключить, что математическая модель поиска цели в сознании может быть записана системой уравнений (2.1)-(2.2), а вепольная структура СМС в этом режиме представляется рис.2.1б, 2.1в. Режим слежения за целью после захвата описывается системой уравнений (2.3)-(2.5), а структура СМС представлена на рис. 2.2а.

2.2.2. Режимы поиска цели в подсознании

Для нахождения веполя в режиме поиска в подсознании (назовем его поисковым веполем или ПВ) сначала определим расположение этого режима на оси времени относительно сознательных режимов. С большой долей уверенности можно утверждать, что поиск в подсознании начинается позже, чем поиск в сознании. Например, при решении задачи по АРИЗу сначала изобретательской ситуацией загружается сознание. Поэтому будем считать, что исходной моделью для задачи достройки поискового веполя является неполный веполь (рис.2.1в). Окончание поиска прекращается в момент захвата цели, когда X-элемент из подсознания пробивается в сознание (веполь захвата на рис. 2.2а). Следовательно, поисковый веполь должен располагаться между неполным веполем и веполем захвата.

Предположим, что переход поиска из сознания в подсознание является некоторым пограничным режимом, имеющим черты как сознательного, так и подсознательного. Тогда этот пограничный режим должен иметь соответствующее вепольно-математическое представление. Пусть общей чертой с сознательным режимом будет математическое описание, т.е. система уравнений (2.1)-(2.2), а различием будет их структурное представление. Другая структура получается путем свертывания неполного веполя (рис.2.1в) по линии би-моно, т.е. от двух блоков умножения - к одному (рис.2.1г). Назовем вновь полученную структуру бисверткой. Возможность свертывания определяется избыточностью системы уравнений (2.1)-(2.2). Действительно, для задания положительной и отрицательной S-кривых достаточно дифференциального уравнения для одной координаты, а другая получается как зеркальное отображение первой. Избыточность гомеостаза является необходимым условием саморазвития.

В теории популяций блок умножения отвечает за передачу наследственной информации, за способность к воспроизводству, так как произведение xu характеризует рождаемость и равно числу попарных встреч особей мужского и женского полов популяции. Таким образом, в структуре бисвертки объединяется наследственный аппарат

противоположных свойств технического противоречия, поэтому структурно бисвертка может быть названа веполем зачатия Х-элемента (или информационного поля нового решения). Закономерен вопрос: что именно является носителем наследственной информации ТП? Наиболее подходящим кандидатом на эту роль является физическое противоречие, т.е. можно предположить, что наследственными признаками ТП, передаваемыми Х-элементу, являются противоположные свойства физического противоречия. Поскольку ТП формулируется обычно на шагах 1.2 и 1.3 АРИЗ 85В, а физическое противоречие гораздо позднее, бисвертка передает наследственные признаки скрытно, т.е. в подсознании. После этого собственно и начинается поиск Х-элемента в подсознании.

Для получения структуры и математической модели поискового веполя используем единую форму записи систем дифференциальных уравнений (2.1)-(2.2) и (2.3)-(2.5). Любое из уравнений, например, для координаты x , можно записать в виде

$$dx/dt = c_1xy + c_2x + c_3y + c_4z. \quad (2.7)$$

Действительно, назначая $c_1=-3/K$, $c_3=-a/K$, $c_2=c_4=0$, получаем уравнение (2.1). Назначая $c_1=-3/K$, $c_4=a/K$, $c_2=c_3=0$, получаем уравнение (2.3).

Рассмотрим влияние слагаемых в правой части уравнения (2.7) на координату x . Как уже отмечалось выше, слагаемое c_1xy отвечает за передачу наследственной информации, за способность к воспроизводству координаты x . Слагаемые с "чужими" координатами, т.е. c_3y и c_4z , определяют некоторое принуждение для движения координаты x , напротив, слагаемое c_2x со "своей" координатой задает свободное развитие x .

Разглядывая структуру бисвертки (рис.2.1г), замечаем, что она полностью симметрична относительно продольной оси. Однако, с точки зрения математики [29], необходимым условием самоорганизации является снижение степени симметрии, ее потеря. Например, в физике жидкость считается симметричной, т.е. однородной и изотропной по всем направлениям. После замерзания в ней появляются выделенные направления, определяемые кристаллической решеткой, следовательно, степень симметричности снижается. Поэтому будем нарушать симметрию бисвертки, используя биологическую аналогию, тем более, что мышление относится к биологическим процессам.

Выше противоположные свойства ТП были определены как "родители" Х-элемента. Поэтому условно назовем кружок x "папой",

кружок y - "мамой", а X -элемент - "бэби". Какова же предпосылка разделения ранее равнозначных свойств ТП? Это - шаг 1.4 АРИЗа, на котором выбирается одна из схем конфликта: ТП-1 или ТП-2, обеспечивающая главную производственную функцию. Выбор позволяет:

нарушить симметрию бисвертки и поставить полезные свойства ТП в неравнозначное положение при дальнейшем поиске решения, обнаружить цель - прообраз X -элемента.

Обнаружение в системах слежения за подвижной целью есть определение некоторого признака цели. В данном случае этим признаком является знак X -элемента, так как знак задает место X -элемента относительно того или иного свойства технического противоречия, а, если проще, то место, где он «спрятался» или куда мы его прячем в нашем подсознании. Это место далее, на шаге 1.6, задает движение X -элемента относительно "родителей": кому он должен не мешать выполняться и вредное действие кого он должен устранять. Но пока он еще не вступил во взаимодействия с "родителями", то обладает только собственным свободным движением, что отражается стрелкой z с самого на себя (рис.2.5а).

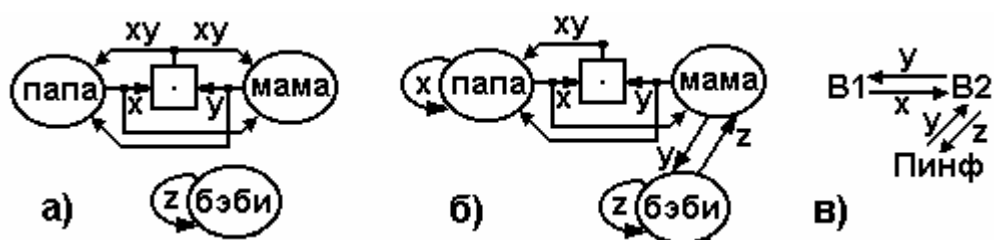


Рис. 2.5. а) Структура СМС в режиме обнаружения X -элемента; б) Структура СМС в режиме распознавания цели; в) поисковый вектор (ВП)

Пусть главную производственную функцию обеспечивает то полезное свойство ТП, которое определяется координатой x . Поэтому на шаге 1.4 делается выбор в пользу "папы". Тогда можно считать (с учетом следующего шага 1.5 по усилению x), что одна сторона конфликта, связанная с "папой", разрешена. "Папа" сделал свое дело, "папа" может пока свободно гулять. Для такой возможности предоставляем "папе" некоторую свободу в виде добавки собственного движения по полукруглой стрелке x (рис. 2.5б).

Теперь становится ясно, кому не должно мешать "бэби", а кого устранять. "Бэби" не должно мешать "папе", а должно вступить в борьбу (гомеостаз) с "мамой", поэтому проводим стрелку z от "бэби" к "маме". "Мама" временно теряет способность к воспроизводству, так как начинает выращивать "бэби", поэтому разрываем связь $ху$ от общего блока

умножения к "маме" и проводим стрелку y от "мамы" к "бэби". Получаем структуру СМС в режиме распознавания цели (рис.2.5б) и поисковый веполь - ВП (рис.2.5в). Основываясь на полученной структуре, запишем систему дифференциальных уравнений, описывающих ПВ,

$$dx/dt = c_1xy + c_2x + c_3y, \quad (2.7)$$

$$dy/dt = c_4x + c_5z, \quad (2.8)$$

$$dz/dt = c_6y + c_7z. \quad (2.9)$$

Выбирая следующие значения коэффициентов: $c_1 = c_6 = -c_4 = -c_5 = 1$, $c_2 = -4.5$, $c_3 = 0.3$, $c_7 = 0.38$, получаем уравнения странного аттрактора Рёсслера[30], демонстрирующего винтовой хаос (рис. 2.6а).

Траектории изображающей точки аттрактора в трехмерном пространстве координат x, y, z начинаются по обе стороны от стационарной неустойчивой точки $x=0, y=0, z=0$ типа "седло-фокус". Движения в аттракторе Рёсслера приближенно можно разделить на два типа, переходящих друг в друга: раскручивающиеся спирали на "лепестке" $y \leftrightarrow z$ и уход и возврат на "лепесток" по координате x , причем точки ухода и возврата на спирали являются хаотичными. Приближенность заключается в том, что "лепесток" $y \leftrightarrow z$ не лежит в плоскости $x=0$, так как траектория иногда проскакивает ниже плоскости $x=0$, хотя подавляющая часть движений по координате x положительная. Очевидно, что эти два типа движений определяются двумя гомеостатами: спирали на "лепестке" $y \leftrightarrow z$ - это гомеостат "мама" - "бэби", а уход и возврат - гомеостат "папа" - "мама" ($x \leftrightarrow y$).

Обратим внимание, что аттрактор Рёсслера несимметричен как по вепольной структуре (рис.2.5в), так и траекторно (рис.2.6а). Центром "притяжения" и "отталкивания" в аттракторе является так называемая гомоклиническая орбита (рис.2.6б), замкнутая трехмерная кривая, проходящая через точку "седло-фокус" в начале координат. Так как гомоклиническая орбита замкнута, то движение изображающей точки по ней будет не хаотическим, а регулярным колебанием. Однако такое движение неустойчиво, как например, движение шарика вдоль верхушки хребта. Физически попасть на хребет можно (сверху), но двигаться вдоль него нельзя, так как _ иному склонам. Математически эта ситуация выражается в том, что для гомоклинической орбиты коэффициенты c_i уравнений (2.7)-(2.9) являются числами в виде бесконечной непериодической дроби, реализовать которые при компьютерном моделировании невозможно. Следовательно, гомоклиническое колебание представляет собой идеальный конечный результат (ИКР), который может быть назван динамическим ИКР. Динамический ИКР представляет собой попытку подсознания одновременно реализовать два устойчивых состояния равновесия, соответствующие двум противоположным

максимально полезным свойствам ТП $y_{\max}$ и $x_{\min}$ (рис.2.1а). Однако в пространстве они разнесены по разным сторонам прототипа, поэтому попытка осуществляется во времени.

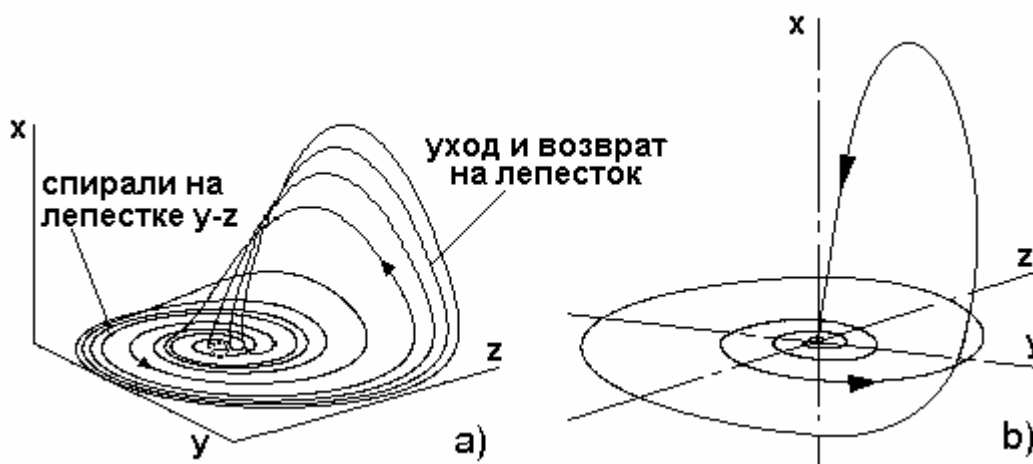


Рис. 2.6. а) Трехмерный аттрактор Рёсслера; б) гомоклиническая орбита

Можно заключить, что динамический ИКР обладает противоречиями: физическим - попасть на ИКР возможно, но удержаться на нем нельзя; математическим - уравнение ИКР существуют, но его решение в рациональных числах не представимо; психологическим - мышление притягивается к ИКР из-за его идеальности, но отталкивается от него из-за невозможности реализации.

Графики решения уравнений (2.7)-(2.9) с начальными условиями $y(0)=-x(0)=2$ и $z(0)=0$ приведены на рис. 2.7а. Кривые $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ представляют собой хаотические колебания, на первый взгляд, не имеющие никакой связи друг с другом. Однако это не так. Кривая $z(t)$ ("бэби") старается, по мере возможности, следить за кривой $y(t)$ ("мамой"), т.е. повторять ее колебания. Конечно, амплитуды и фазовые сдвиги той и другой кривых меняются, однако сохраняется равномерность чередования максимумов и минимумов во времени: сначала идет максимум $y(t)$, затем максимум $z(t)$, потом двойка минимумов $y(t)$ и $z(t)$, затем снова двойка максимумов $y(t)$ и $z(t)$ и т.д. Согласованность подтверждается также тем, что на «лепестке» аттрактора координаты $y(t)$ и $z(t)$ образуют плавную спираль, по крайней мере, от одного возврата на «лепесток» до следующего ухода. Такое явление можно называть стохастическим резонансом или синхронизацией хаоса [31].

В то же время задача распознавания может рассматриваться и как задача формирования образа, в данном случае, выращивания образа Х-элемента. Из имеющихся в подсознании стереотипов разрешения

конфликтов в прошлом, координата $y(t)$, как параметр порядка в терминологии Г.Хакена [32], "втягивает" в слежение за собой наиболее подходящий стереотип движения $z(t)$. Если он не совпадает с необходимым движением, то по цепи обратной связи происходит коррекция системы мысленного слежения, чтобы движения в СМС приближались к ИКР. Происходит это следующим образом.

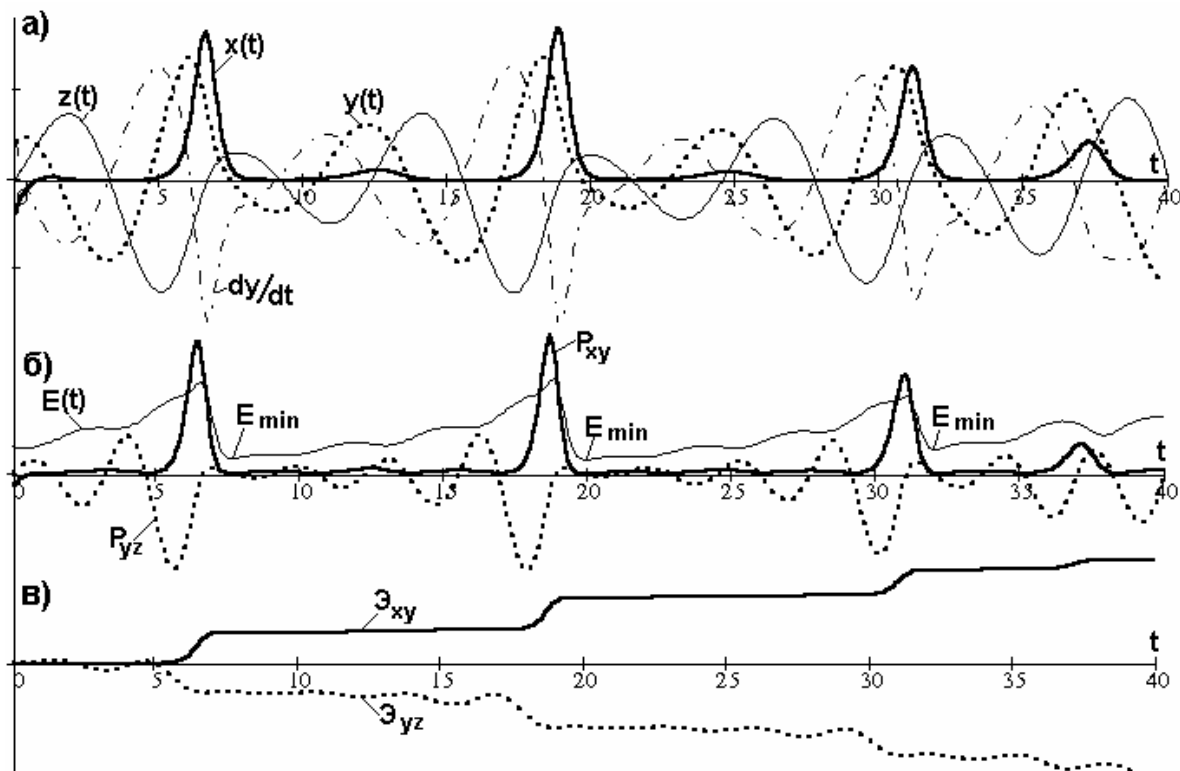


Рис. 2.7. а) координатные колебания; б) графики мощностей гомеостазов и ошибки СМС; в) энергетическая передача наследственной информации

Как видно из рисунка 2.7а, координата $x(t)$ ("папа"- жирная сплошная линия) практически все время положительная, хотя при поиске в сознании (рис. 2.1а) она отрицательная. В этом инвертировании проявляется хорошо известное свойство отражения образов в мышлении. Каждый из импульсов $x(t)$ представляет собой уход и возврат на "лепесток", а между импульсами $x(t)$ происходит движение на "лепестке", характерное тем, что колебание координаты $z(t)$ ("бэби"- тонкая сплошная линия) происходит примерно в противофазе с изменением скорости dy/dt (штрих-пунктирная линия) движения координаты $y(t)$ (пунктирная линия). Следовательно, для движения на "лепестке" можно записать

$$dy/dt = -z(t) \text{ или } y(t) = -\int z(t)dt. \quad (2.10)$$

Формула (2.9) означает, что за время распознавания или интегрирования "бэби" вырастает таким, чтобы к моменту захвата интегральное значение "бэби" устраняло бы вредное действие "мамы". Как только колебание "бэби" отклоняется от предписанного уравнением (2.10), происходит коррекция всех движений в СМС путем подачи импульса $x(t)$. По окончании коррекции СМС приходит в состояние с наибольшей вероятностью захвата цели или "озарения". На рис.2.7б эти состояния обозначены через $E_{\min}$, а график $E(t)$ (тонкая сплошная линия) представляет изменение ошибки СМС. Ошибка определяется как евклидова норма координат, т.е.

$$E = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (2.11)$$

Равенство нулю ошибки (2.11) означает, что СМС попадает в начало гомоклинической орбиты аттрактора Рёсслера, т.е. в точку статического ИКР, когда противоречие полностью разрешено ($x=y=0$) без участия X-элемента ($z=0$). Так как ИКР не может быть реализован, то захват происходит в точке $E_{\min}$ локального (или глобального) минимума ошибки. Надежность захвата обеспечивается также нулевыми значениями мощности P_{xy} как управляющего гомеостата, так и мощности P_{yz} управляемого гомеостата в точках минимумов ошибки (рис.2.7б). Мощность гомеостатизации переменных оценивается как величина их произведения, т.е. $P_{xy}=xy$ и $P_{yz}=yz$ и по сути является мощностью сигнала наследственной информации. Психологическая энергия сигналов наследственной информации для управляющего ($\mathcal{E}_{xy}$) и управляемого ($\mathcal{E}_{yz}$) гомеостатов вычисляется по формулам $\mathcal{E}_{xy} = \int P_{xy} dt$, $\mathcal{E}_{yz} = \int P_{yz} dt$, а графики их изменения приведены на рис.2.7в. Как видно, управляемая энергия зеркально отражает управляющую энергию с небольшими искажениями.

Режим захвата демонстрирует рис. 2.8. При захвате структура СМС переходит в режим слежения со структурой, изображенной на рис.2.2 и уравнениями (2.3)-(2.5). Устойчивость СМС гарантирует сходящиеся процессы.

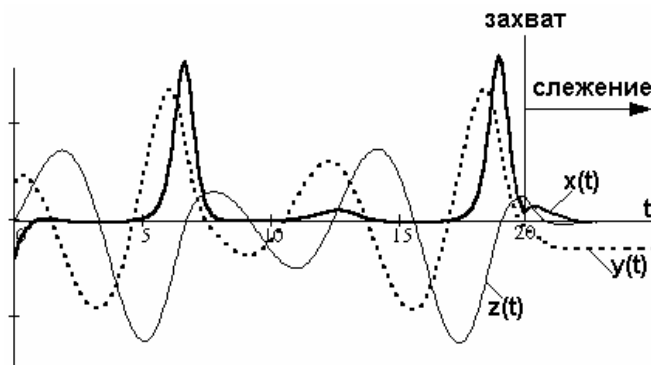


Рис. 2.8. Режим захвата и слежения

В результате анализа установлена вепольная структура и математическая модель системы слежения за новой идеей в мышлении изобретателя, включающая поиск, обнаружение, распознавание и захват образа Х-элемента.

Синтезирована математическая модель поисковых колебаний в виде хаотического аттрактора Ресслера, обладающая высоким поисковым потенциалом.

Определены понятия динамического и статического ИКР, а также получен математический критерий захвата Х-элемента (или "озарения") по минимуму отклонения системы слежения от ИКР.

Установлен скрытый механизм передачи Х-элементу наследственной информации (физического противоречия) от противоположных свойств технического противоречия. Механизм представляет сцепленные управляющий и управляемый гомеостаты, причем психологическая энергия управляемого гомеостата является зеркальным отражением психологической энергии управления.

2.3. Динамические треугольные структуры

2.3.1. Динамические вещественно-полевые ресурсы

С точки зрения вепольного анализа, рассмотренная в разделе 2.2.2 система уравнений (2.7) – (2.9) представляет собой математическую модель поискового веполя (рис.2.5в). Действительно, в вепольном анализе простейшая модель работоспособной системы должна содержать 3 элемента, образующих полный веполь, т.е. два вещества и поле. В классическом вепольном анализе, который может быть назван статическим (см. раздел 1.3.5), под веществами понимаются не только вещества в их химическом смысле, но и технические системы, и их части, а иногда и внешняя среда. Поля рассматриваются как действия над веществами. Преобразование веполей представляет собой дискретную задачу: 1 шаг – исходный, плохо работающий веполь (или неполный веполь), 2 шаг – полный веполь нового решения, без нежелательного эффекта.

При дискретном синтезе вещества и поля появляются или исчезают, но не меняются по своим свойствам. Однако при поиске веществ или полей, разрушении или достройке треугольника необходимо учитывать инерционные свойства мышления, развитие мыслей изобретателя. Для этого введем понятие динамического вещества или поля, отличающегося

от статического тем, что его некоторое свойство изменяется во времени по S-образной кривой. Собственно понятие динамического вещества не является существенно новым. Три этапа развития технической системы происходят по S-кривой, и если под веществом в вепольном анализе понимать техническую систему, тогда можно утверждать, что и вещество в вепольном анализе проходит три этапа развития. Отличие можно усмотреть в масштабе времени: если реальная техническая система развивается в "медленном" времени, то техническая система как элемент веполя развивается в "быстром" времени в мышлении изобретателя, решающего задачу структурным методом. Очевидно, что в этом случае и полный веполь будет динамическим веществом со своей S-кривой. Учитывая триадную форму структуры веполя, назовем его динамическим треугольником.

Таким образом, будем считать динамическим веществом или полем такое вещество или поле, свойство или характерный параметр $u_1(t)$ которого развивается во времени по S-кривой развития. Кривую развития аппроксимируем логистической кривой Ферхюльста-Перла [33]

$$\dot{u}_1 = a_1 u_1^2 + b_1 u_1, \quad (2.12)$$

где a_1 и b_1 - коэффициенты генерации новых идей и забывания старых идей. Графическое сравнение статических и динамических вещественно-полевых ресурсов представлено на рис. 2.9.

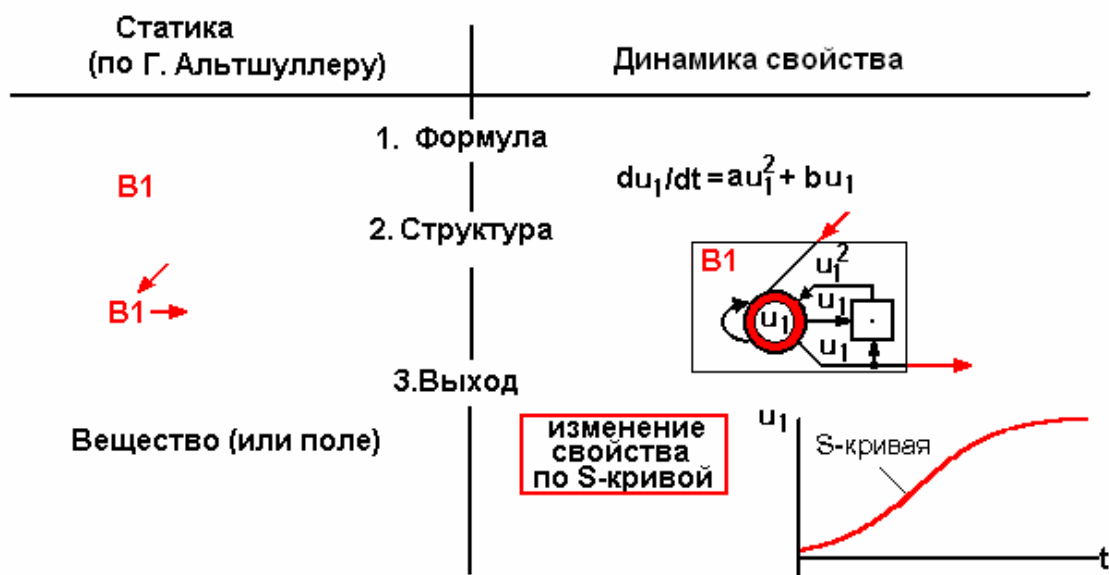


Рис. 2.9. Статические и динамические вещественно-полевые ресурсы

Треугольная вепольная структура содержит 3 элемента, следовательно, для остальных двух элементов получаем еще два аналогичных уравнения

$$\begin{aligned}\dot{u}_2 &= a_2 u_2^2 + b_2 u_2, \\ \dot{u}_3 &= a_3 u_3^2 + b_3 u_3.\end{aligned}\tag{2.13}$$

Таким образом, система уравнений (2.12)-(2.13) задает эволюцию координат u_1, u_2, u_3 треугольника во времени.

При синтезе треугольника элементы структуры приносят в нее свои свойства. В общем случае возникающее системное свойство не сводится к сумме свойств элементов. Рассмотрим механизм преобразования свойств элементов в свойство структуры, т.е. появление системного эффекта. Для этого необходимо уравнения (2.12) и (2.13) объединить.

Элементы в одной структуре могут действовать как согласованно друг с другом, так и антагонистично. Действительно, процесс разрушения веполя связан с вредными связями между веществами и полями, а процесс дополнения структуры до полного веполя осуществляется полезными связями. Встает вопрос, как эту ситуацию отразить математически? Ответ может подсказать дискретный вепольный анализ. Например, самое сильное изобретательское решение получается при достройке неполного веполя (рис. 1.35б), когда в качестве второго вещества В2 выбирается уже имеющееся в структуре вещество В1, т.е. принимается решение выбрать В2=В1. Связано это с тем, что для решения задачи не привлекаются внесистемные ресурсы, решение получается близким к идеальному. Так как элементы выбираются одинаковыми, следовательно, они будут иметь и одинаковые свойства. Поэтому при объединении элементов в треугольник первоначально будем считать, что в уравнениях (2.12) и (2.13) можно принять условие

$$u_1 = u_2 = u_3.\tag{2.14}$$

Аналогично, при распаде структуры наибольшая борьба между элементами получается тогда, когда их свойства строго противоположны. Следовательно, для этой ситуации можно принять условия, что

$$u_1 = -u_2, \quad u_2 = -u_3, \quad u_3 = -u_1.\tag{2.15}$$

Так как эти условия противоречат друг другу, то для их выполнения необходимо нарушение одного из условий, т.е. использование уравнения (2.14). Например, считать, что

$$u_1 = -u_2, \quad u_2 = -u_3, \quad u_3 = u_1,$$

или

$$u_1 = u_2, \quad u_2 = -u_3, \quad u_3 = -u_1, \quad (2.16)$$

или

$$u_1 = -u_2, \quad u_2 = u_3, \quad u_3 = -u_1.$$

Чтобы выполнялось (2.14)-(2.16), для коэффициентов уравнений (2.12)-(2.13) должно соблюдаться условие

$$|a_1| = |a_2| = |a_3| \quad \text{и} \quad |b_1| = |b_2| = |b_3|,$$

и коэффициенты должны иметь соответствующие математические знаки. В зависимости от набора знаков элементы структуры демонстрируют различные стереотипы поведения, например, согласие, компромисс, конкуренцию и т.п.[1].

Для структурного синтеза дифференциальных уравнений и получения инварианта динамического треугольника будем считать, что знаки и величины коэффициентов a_i, b_i могут любыми. При этом структура уравнений (2.12),(2.13) сохраняется, а структурный синтез заключается в обмене координатам u_1, u_2, u_3 между уравнениями (2.12) и (2.13). Обмениваться координатами можно по-разному. Так как динамический треугольник должен отражать соединение и распад, единство и борьбу элементов структуры, то для "склеивания" элементов используем механизм компенсационного гомеостата Ю.М. Горского [7].

В разделе 2.2.2 уже указывалось, что компенсационный гомеостат образуют два противоположных динамических свойства x и y технического противоречия. Результатом разрешения противоречия является новое решение задачи, определяемое координатой z . Гомеостат является двухуровневым: на первом уровне находятся две координаты x и y , на втором уровне находится одна координата z . За единство координат x и y и передачу наследственной информации координате z отвечает произведение xy . Борьбу координат отражают слагаемые типа b_1x и b_2y , входящие в правую часть дифференциальных уравнений, задающих эволюцию координат y и x соответственно, поскольку задают вынужденное движение одной координаты от другой.

Используем этот же подход для динамического треугольника. Однако необходимо учитывать то, что в динамическом треугольнике все три координаты считаются равнозначными: единство координат $u_1 \cdot u_2$ производит координату u_3 , единство координат $u_1 \cdot u_3$ производит координату u_2 , а единство координат $u_2 \cdot u_3$ производит координату u_1 .

Для получения единства в правой части уравнений (2.12)-(2.13) с учетом (2.14)-(2.16) произведем замену координат в слагаемом в квадрате. Тогда получим

$$\begin{aligned} \bullet \\ u_1 &= a_1 u_2 u_3 + b_1 u_1, \\ \bullet \\ u_2 &= a_2 u_1 u_3 + b_2 u_2, \\ \bullet \\ u_3 &= a_3 u_1 u_2 + b_3 u_3. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Для получения борьбы между координатами треугольника введем вынужденное движение. Например, первое уравнение системы (2.17) можно записать в виде

$$\bullet \\ u_1 = a_1 u_2 u_3 + \frac{b_1}{3} u_1 + \frac{b_1}{3} u_1 + \frac{b_1}{3} u_1,$$

или, с учетом произвольности коэффициентов и условий (2.14)-(2.16), записываем следующим образом:

$$\bullet \\ u_1 = a_1 u_2 u_3 + b_1 u_1 + c_1 u_2 + d_1 u_3.$$

Аналогично можно записать уравнение для любой координаты треугольника, или систему уравнений всего треугольника

$$\bullet \\ u_i = \sum_{j=1}^3 q_{i,j} \cdot u_i + a_i \cdot N_i, \quad i=1,2,3, \quad (2.18)$$

где $q_{i,j}$ - элементы матрицы

$$Q = (q_{i,j}) = \begin{bmatrix} b_1 & c_1 & d_1 \\ b_2 & c_2 & d_2 \\ b_3 & c_3 & d_3 \end{bmatrix}, \quad (2.19)$$

$$\text{а } N_1 = u_2 \cdot u_3, \quad N_2 = u_1 \cdot u_3, \quad N_3 = u_1 \cdot u_2.$$

2.3.2. Хаотические гомеостаты

Рассмотрим примеры анализа динамического треугольника с точки зрения проявляемых им стереотипов поведения при включении или отключении тех или иных связей. Такой подход характерен для гомеостатики [7].

В первом примере исследуется симметричный динамический треугольник, имеющий только собственные движения и нелинейные связи в виде произведения координат. В этом случае матрица Q (2.19) будет равна

$$Q = (q_{i,j}) = \begin{bmatrix} b & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & b \end{bmatrix}, \quad \text{а все коэффициенты} \quad a_i = a. \quad \text{Структура}$$

треугольника для этой ситуации приведена на рис.2.10а.

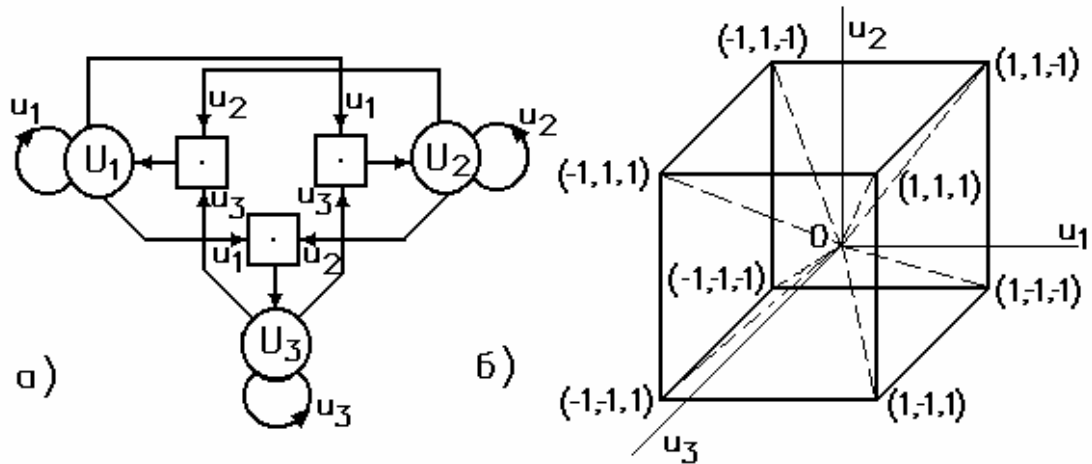


Рис.2.10. Пример анализа структуры динамического треугольника

Приравнявая нулю правые части уравнений (2.18) и разрешая полученную систему уравнений относительно неизвестных координат, находим матрицу стационарных решений

$$S = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-b}{a} & \frac{b}{a} & \frac{b}{a} & \frac{-b}{a} \\ 0 & \frac{b}{a} & \frac{b}{a} & \frac{-b}{a} & \frac{-b}{a} \\ 0 & \frac{b}{a} & \frac{-b}{a} & \frac{b}{a} & \frac{-b}{a} \end{bmatrix}, \quad \text{по столбцам которой находятся 5}$$

векторов координат стационарных точек. Для определения характера

стационарных точек находим якобиан системы (2.18) $J = \begin{bmatrix} b & au_3 & au_2 \\ au_3 & b & au_1 \\ au_2 & au_1 & b \end{bmatrix}$

, а также его собственные числа. Для первого, нулевого вектора стационарных точек, имеем один корень третьей кратности, равный $p_1 = b$. Выбирая $b < 0$, получаем в начале координат устойчивый стереотип поведения.

Для остальных стационарных точек собственные числа $p_i^T = [-b \ 2b \ 2b]$, $i=2..5$ матрицы устойчивости имеют разные знаки. Следовательно, остальные стационарные точки неустойчивы. Обратим внимание, что стереотипы устойчивого и неустойчивого поведения не зависят от знака параметра a , т.е. этот параметр может быть как положительным, так и отрицательным. Тогда матрица стационарных решений S будет иметь 8 неустойчивых стационарных точек, которые в трехмерном пространстве координат u_1, u_2, u_3 образуют вершины куба, центр которого расположен в устойчивом начале координат. Структура стационарных точек для случая $b = -1$ и $a = \pm 1$ приведена на рис.2.10б. По своей сути этот куб подобен бифуркационной диаграмме, используемой в теории катастроф для исследования эволюции стационарных точек в зависимости от управляющих параметров.

Нетрудно найти расстояние D от каждой неустойчивой точки равновесия до начала координат: $D = \left| \frac{b}{a} \right| \sqrt{3}$. При уменьшении абсолютного значения параметра b снижается запас устойчивости стационарной точки в начале координат, а неустойчивые точки равновесия в вершинах куба начинают передвигаться к началу координат по соответствующим штриховым линиям на рис. 2.10б. При $b=D=0$ происходит потеря устойчивости структуры, и треугольник распадается, демонстрируя стереотип поведения, называемый в гомеостатике коллапсом.

В техническом творчестве коллапс моделирует процесс распада вепольной структуры прототипа, находящегося в потенциальной яме ($u_1 = u_2 = u_3 = 0$) психологической инерции мышления.

Рассмотрим пример несимметричной треугольной структуры. Если в уравнении (2.17) выбрать матрицу

$$Q = \begin{bmatrix} -b & 0 & 0 \\ 0 & -1 & r \\ 0 & \lambda & -\lambda \end{bmatrix}, \text{ где } \lambda=10, \ r \geq 27.74, \ b=8/3, \text{ а коэффициенты}$$

$a_1 = 0, a_2 = -1, a_3 = 1$, то получим систему уравнений хаотического аттрактора Лоренца [34]

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -bx + y \cdot z, \\ \dot{y} &= rz - y - x \cdot z, \\ \dot{z} &= -\lambda z + \lambda y. \end{aligned} \tag{2.20}$$

Аттрактор Лоренца, в отличие от аттрактора Рёсслера, имеет в трехмерном пространстве два лепестка переключений (рис. 2.11).

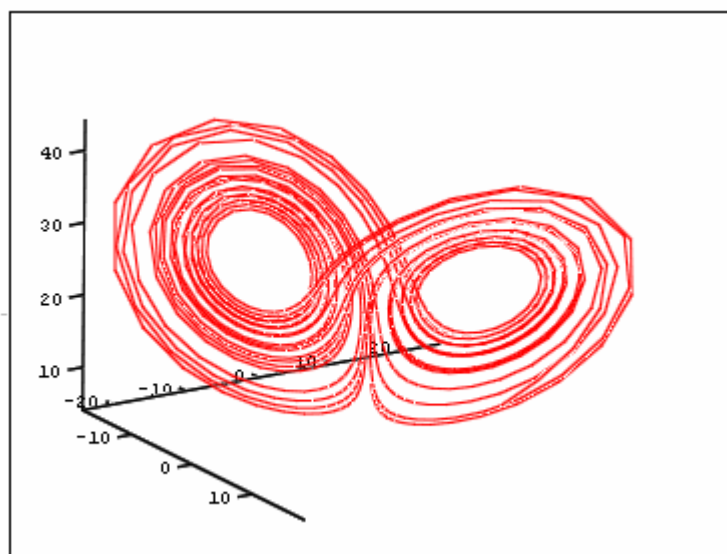


Рис.2.11. Аттрактор Лоренца в трехмерном пространстве

Аттрактор Лоренца может служить моделью [35] передачи наследственной информации не половым путем, а путем деления, подобно тому, как размножаются одноклеточные организмы. В этом смысле аттрактор Лоренца является как бы обратным к аттрактору Рёсслера. Действительно, при синтезе гомеостата Рёсслера исходным задан уровень, на котором находятся два объекта-антагониста, а один, новый объект появляется на следующем уровне гомеостата. При другой постановке задачи на исходном уровне имеется один объект, который распадается на два новых объекта на следующем уровне гомеостата.

Представим систему уравнений (2.20) в структурной форме (рис.2.12а)

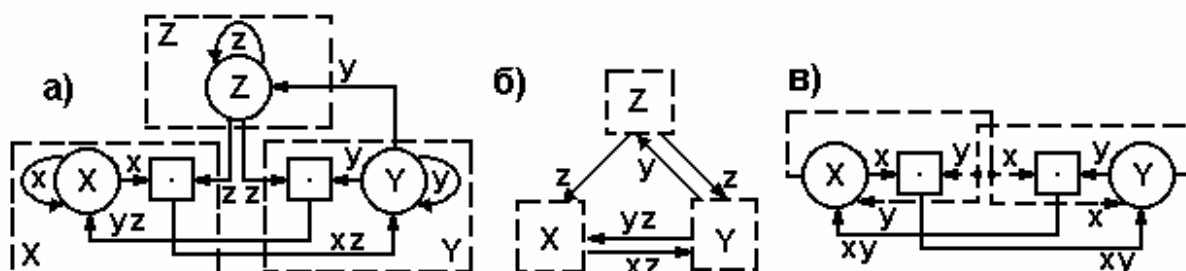


Рис.2.12. Структурное представление системы уравнений аттрактор Лоренца

В алгоритме решения изобретательских задач такой процесс моделирует распад прототипа изобретения на два противоположных свойства технического противоречия. Прототип Z имеет нежелательное свойство z . Противоположные свойства X и Y технического противоречия с координатами x и y соответственно необходимо найти в результате поисковых движений в аттракторе.

Как видно из свернутой структуры (рис.2.12б), между антагонистами X и Y существует гомеостаз мощностей $P_{yz}=yz$ и $P_{xz}=xz$, в результате которого антагонистам передается наследственная информация от координаты z . Кроме того, существует также и гомеостаз $y \leftrightarrow z$, который задает так называемое административное противоречие: когда известно нежелательное свойство прототипа, а как его устранить - неизвестно.

В результате поиска прототип разрушается, его связи исчезают, а сигналы неизвестных до этого свободных движений антагонистов X и Y (полукруглые скобки x и y на рис. 2.12а), поступают на Y и X соответственно (по штриховым стрелкам на рис. 2.12в), одновременно заменяя собой исчезающую координату z в блоках умножения. Таким образом, получаем структуру, описываемую системой уравнений (2.1), (2.2) или рис.2.1в.

Приведенный анализ показывает, что хаотические аттракторы Рёсслера и Лоренца являются моделями трехмерных гомеостатов передачи наследственной информации при решении изобретательской задачи. Они описывают хаотические поисковые колебания мышления: аттрактор Лоренца – при распаде представлений о прототипе изобретения и поиске технического противоречия, аттрактор Рёсслера – при поиске X -элемента при заданном техническом (или физическом) противоречии. Поэтому они могут быть названы хаотическими гомеостатами. Характерной особенностью хаотических гомеостатов являются нелинейности в правых частях дифференциальных уравнений в виде произведения координат. Как раз произведение координат и отвечает за передачу наследственной информации. Структурно хаотические гомеостаты являются несимметричными динамическими треугольниками.

Динамический треугольник может быть основной моделирующей единицей развития в техническом творчестве, причем для эволюции его вершин (элементов) используется логистическое уравнение Ферхюльста-Перла. Входя в треугольную структуру, элемент теряет свое исходное свойство, а структура, благодаря включению или отключению тех или иных связей между элементами, приобретает различные стереотипы поведения.

Симметричный динамический треугольник может служить основой для построения треугольных динамических решеток (фрактальных множеств).

3. Поиск физического решения изобретательской задачи

В результате решения изобретательской задачи по первой части АРИЗ формируется модель технической системы в виде технического противоречия с двумя конфликтными свойствами и неизвестного пока X-элемента, который и должен разрешить противоречие. Во второй части анализируются пространственно-временные, а также вещественно-полевые ресурсы, из которых в дальнейшем и выбирается X-элемент. Таким образом, в сознании формируется некоторый образ X-элемента.

Обратим внимание, что этот анализ похож на розыск преступника. Действительно, сначала при розыске определяется, чем отличается преступник от остальных людей. Определяется это по действиям, которые он совершает или не совершает (преступная халатность). Аналогично конфликтная пара задается действиями: что хорошее или плохое делает инструмент изделию, т.е. поисковая характеристика в мышлении задается действием, движением. Тогда и соответствующая математическая модель поиска может быть задана системой дифференциальных уравнений, которые и описывают динамику, движение, развитие мыслей.

После того, как установлено, что преступник это лицо, которое совершает противозаконные действия, начинается поиск по его приметам, внешнему виду. Применительно к АРИЗ это означает поиск физических свойств, которыми должен обладать X-элемент в определенном пространстве и времени. Эта задача решается в третьей части АРИЗ при формулировке физического противоречия. Например, X-элемент должен быть горячим и холодным, или легким и тяжелым и т.п. Но понятия свойств в нашем сознании дискретны. Конечно, X-элемент может быть больше или меньше нагретым, но само физическое свойство тепла или холодности характеризуется именно температурой, а не весом, не длиной, не давлением и т.п.

Переход в АРИЗ от анализа пространственно-временных и вещественно-полевых ресурсов к ресурсам физических свойств представлен на рис.3.1.

Исходные ресурсы

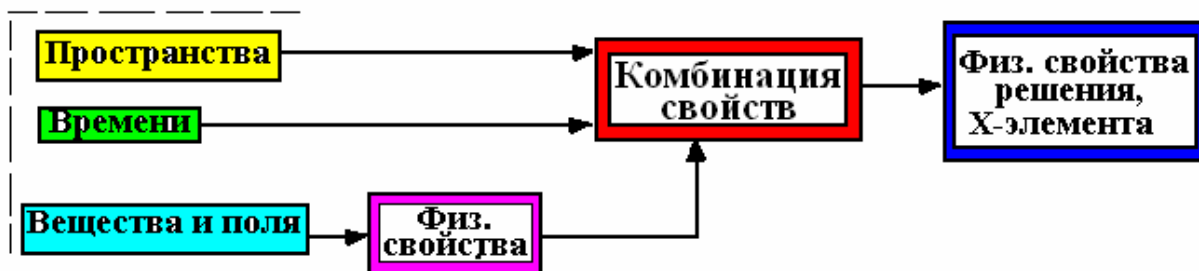


Рис.3.1. Структурная модель преобразования ресурсов физических свойств

Ресурсная модель преобразования физических свойств показывает механизм передачи наследственной информации на физическом уровне. Имеющиеся в задаче физические ресурсы пространства и времени, а также физические свойства веществ и полей в результате некоторой комбинации этих свойств преобразуются в физическое свойство X-элемента.

Для математического представления операции комбинирования физических свойств рассмотрим систему кинематических величин Р.О.Бартини.

3.1. Математический базис изобретательской физики. Система кинематических величин Р.О. Бартини

Роберто Орос ди Бартини (1897-1974) был выдающимся советским авиаконструктором и изобретателем. Создал более 60 проектов летательных аппаратов, в том числе, на новых принципах, таких, как экраноплан. В аэродинамике известен эффект Бартини - явление уменьшения лобового сопротивления и прироста тяги винтов самолёта на 25—30 % за счёт компоновки двух моторов тандемом (когда они развёрнуты носами друг к другу). Это был первый случай применения гомеостаза в аэродинамике.

Два пропеллера, соосно посаженные на один вал, вращаются в разные стороны. Кроме того, они помещены в кольцевой обтекатель, нижняя часть которого образовывается корпусом самолета и частично центропланом, а верхняя самим крылом, которое охватывает силовую установку (эта схема названа «винт в кольце»).

С.П. Королев называл Р.О. Бартини своим учителем. Помимо авиации и физики Р.О. Бартини занимался космогонией и философией. Им была создана уникальная теория шестимерного мира, где время, как и

пространство, имеет три измерения, по каждой из пространственных координат свое.

В теории науки Р.О. Бартини занимался прикладной теоретической логикой, которая фактически является прототипом ТРИЗ. Однако об этих исследованиях практически ничего неизвестно из-за секретности работ Р.О. Бартини, связанных с военной тематикой. Известно только, что разработанный Р.О. Бартини метод назывался «И — И» от принципа соединения взаимоисключающих требований: «И то, И другое». Р.О. Бартини утверждал, «... что возможна математизация рождения идей». Он не оставлял места озарению, случайности в таких заведомо неустойчивых системах, как самолеты; только строгий расчёт. Впервые об этом своём логико-математическом исследовании Р.О. Бартини доложил на совещании в ЦК ВКП(б) в 1935 году, т.е. примерно на 20 лет раньше, чем первая публикация по ТРИЗ [36]. Содержание доклада неизвестно до сих пор. Поэтому можно утверждать, что Г.С. Альтшуллер открыл свой метод независимо от Р.О.Бартини.

Всего у Р.О. Бартини опубликовано три статьи. С точки зрения изобретательства наиболее важным в них является анализ размерностей физических величин. В 1965 году Р.О. Бартини опубликовал небольшую статью, в которой рассмотрена кинематическая система физических величин, построенная на основе их размерностей[37]. Эта работа, а также статья «Множественность геометрий и множественность физик»[8] в книге «Моделирование динамических систем», написанная в соавторстве с П.Г. Кузнецовым, позволяют «перекинуть мост» к ТРИЗ. Для этого проведем анализ размерностей в изобретательской задаче, используя математический аппарат теории катастроф.

3.1.1. Анализ размерностей в конфликтной модели изобретательской задачи

Теория размерностей в АРИЗ уже была использована в статической модели [1] технического противоречия. В этой модели используется элементарная математическая катастрофа типа «сборки», потенциальная функция $E(x)$ которой имеет вид

$$E(x) = 0,25 x^4 + 0,5 a x^2 + b x, \quad (3.1)$$

где x - координата состояния катастрофы, a и b - некоторые коэффициенты.

Элементарная катастрофа (3.1) моделирует конфликтную пару – инструмент+изделие, а также Х-элемент, который и разрешает конфликт.

Потенциальной функцией $E(x)$ характеризуется нежелательный эффект, остальная тройка - x, a, b - задает изделие, инструмент и икс-элемент соответственно.

Пусть x - свойство изделия, которое может быть измерено какой-нибудь подходящей физической величиной, $y=a/d$ - свойство инструмента, которое тоже может быть измерено какой-нибудь подходящей физической величиной, $z=c/e$ - свойство X-элемента, которое тоже может быть измерено какой-нибудь подходящей физической величиной, d и e - коэффициенты, выравнивающие физические размерности величин x, a, b . Тогда формулу (3.1) можно записать в виде

$$E(x) = (0,25 x^4 + 0,5 d y x^2 + e z x)f, \quad (3.2)$$

где f - коэффициент, выравнивающий физическую размерность величины $E(x)$. Приведение формулы (3.1) к виду (3.2) называется масштабированием катастрофы.

Чтобы было более понятно, как использовать формулу (3.2), получим физико-математическую модель для известной в ТРИЗ задачи о запайке ампул с лекарством (рис. 3.2).

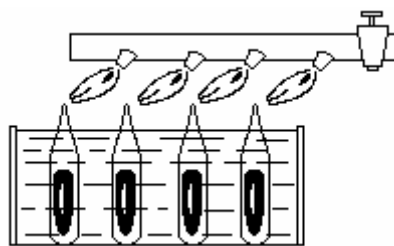


Рис.3.2. Задача о запайке ампул с лекарством

Стеклянная ампула с налитым жидким лекарством устанавливается вертикально и капилляром вверх. Сверху подводится газовая горелка с горящим пламенем. Нежелательным эффектом является плохая запайка. Изделием является ампула с лекарством, а инструментом - пламя. Техническое противоречие формулируется следующим образом. Если язычок пламени окажется слабым, то ампула плохо запаивается, но лекарство не перегревается. Если пламя горит сильно, то капилляр ампулы оплавляется хорошо, но перегревается лекарство. Решение задачи следующее. Пламя усиливается максимально, чтобы его язычок охватывал всю ампулу. Тогда даже при возможных колебаниях пламени капилляр все-таки надежно запаивается. Для устранения перегрева лекарства ампула помещается в сосуд с водой, над поверхностью которой остается лишь капилляр. Таким образом, вода является X-элементом и дешевым вещественно-полевым ресурсом [38].

Выберем за свойство изделия x высоту ампулы, начиная от кончика капилляра до основания ампулы (рис.3.3)

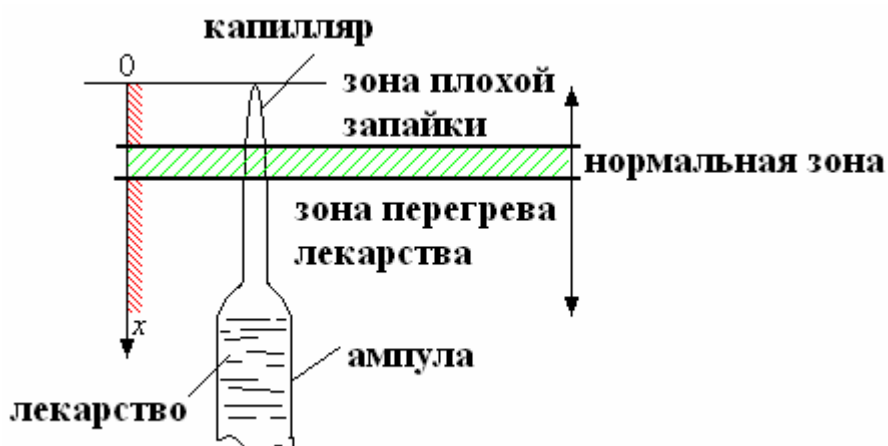


Рис.3.3. Выбор координаты состояния изделия

Тогда первое слагаемое $0,25 x^4$ в (3.2) будет иметь размерность длины в четвертой степени L^4 (L - длина, измеряемая в метрах, [м]). За свойство инструмента u выберем поверхность пламени, контактирующую с поверхностью изделия, т.е. ампулы. Тогда свойство u должно иметь физическую размерность поверхности или квадрата длины $S=L^2$, а коэффициент d должен быть безразмерным. В противном случае невозможно было бы складывать первое и второе слагаемые в (3.2).

Можно было бы выбрать и другие свойства инструмента и изделия. Например, за свойство инструмента выбрать температуру пламени, измеряемую в градусах Кельвина, [K]. Тогда коэффициент d должен иметь физическую размерность $[м^2/K]$. В этой задаче выбор длины L мы обоснуем тем, что качество запайки или обработки изделия оценивается именно длиной оплавленного капилляра, а для инструмента выбор поверхности S обоснуем тем, что оперативной зоной конфликта является поверхность ампулы.

Далее выберем коэффициент e также безразмерным, тогда свойство z X-элемента должно иметь физическую размерность куба длины или объема $V=L \cdot S = L^3$. А если выберем безразмерным и коэффициент f в (3.2), то и нежелательный эффект или потенциальная функция $E(x)$ будут иметь в размерности длину в четвертой степени, а именно $E=L^4$.

Обратим внимание, что в формуле (3.2) знаки перед слагаемыми не учитываются, как и не учитываются численные значения коэффициентов c , d и т.д. Это связано с тем, что модель работает на уровне физических размерностей переменных x, y, z и коэффициентов, т.е. описания их физических свойств. Поэтому и в левой части, у нежелательного эффекта можно выбрать другой знак. Тогда нежелательный эффект (с точки зрения физической размерности) превращается в желательный (положительный) эффект или просто решение.

Теперь можно выстроить цепочку объектов модели с их физическими размерностями: изделие (L^1) $\rightarrow$ инструмент (L^2) $\rightarrow$ элемент (L^3) $\rightarrow$ решение (L^4). Наконец-то стало ясно, почему за свойство изделия выбрана высота ампулы, а за свойство инструмента - поверхность контакта и т.д., так как получена полная аналогия с широко известным в ТРИЗ трендом "точка – линия – поверхность – объем". Это тренд или линия развития является частным случаем пространственного тренда в кинематической системе физических величин Р. О.Бартини.

3.1.2. LT-таблица физических величин

Обычно кинематическая система физических величин Р.Бартини представляется в виде таблицы 3.

Собственно таблица содержит только фрагмент системы, и может быть продолжена в любую сторону путем изменения степеней m и n у L^m и T^n . В этой таблице представлены размерности физических величин в базисе длины L [м] и времени T [с]. Ось длины располагается горизонтально, а ось времени вертикально. В системе Р.О. Бартини сила, например, имеет размерность L^4T^{-4} [$\text{м}^4/\text{с}^4$], давление - L^2T^{-4} [$\text{м}^2/\text{с}^4$], энергия и статистическая температура – L^5T^{-4} [$\text{м}^5/\text{с}^4$] и т.д. Числа m и n - любые целые, и для реального трехмерного пространства $|m+n| \leq 3$.

О возможности создания системы единиц измерений на базе только длины и времени писал Максвелл еще в 1873 году. Он же определил и размерность массы, приравняв силу инерции, равную произведению массы на ускорение, силе гравитации двух равных масс, равной квадрату массы, деленному на квадрат расстояния между тяготеющими массами.

Таблица 3. Система физических величин Р.Бартини

D.	L^{-1}	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5
T^{-5}	$L^{-1}T^{-5}$	L^0T^{-5}	L^1T^{-5}	L^2T^{-5}	Поверхн. мощность	L^4T^{-5}	Мощность
T^{-4}	$L^{-1}T^{-4}$	L^0T^{-4}	Удельный вес Градиент давления	Давление Напряжение	Поверхн. натяжение Жесткость	Сила	Энергия Темпера- тура
T^{-3}	$L^{-1}T^{-3}$	L^0T^{-3}	Плотность потока	Напряженность эл.-магн. поля Вязкость	Ток Массовый расход	Импульс	L^5T^{-3}
T^{-2}	Изменение электр. объемной плотности	Угловое ускорение Массовая плотность	Линейное ускорение	Разность потенциалов	Масса Кол-во электри- чества	Магнитный момент	Момент инерции
T^{-1}	Электр. объемная плотность	Частота Угловая скорость	Линейная скорость	Обильность двумерная	Расход объемный	Скорость смещения объема	L^5T^{-1}
T^0	Кривизна Изменение проводимости	Безраз- мерная величина Константа Угол	Длина Емкость Само- индукция	Поверхность (площадь)	Объем	Момент инерции плоской фигуры	L^5T^0
T^1	Проводи- мость	Период	Длитель- ность расстояния	L^2T^1	L^3T^1	L^4T^1	L^5T^1

Важность LT-таблицы заключается в том, что она выражает физические законы сохранения. Например, приравнявая размерность ячейки L^1T^0 константе, получаем закон сохранения длины твердого тела: $L=Const$. Равенство $L^{+5}T^{-4} = Const$ дает закон сохранения энергии. Равенство $L^{+2}T^{-4} = Const$ отражает закон Гука. Равенство $L^{+3}T^{-2}=Const$ является записью закона Кеплера (отношение куба планетарного радиуса к квадрату периода вращения есть величина постоянная).

Очень важное и полезное свойство имеет таблица Р.О. Бартини: каждая ячейка или соответствующий закон сохранения определяет объем объектов, объединенных в класс. Действительно, многие клетки содержат не одну физическую величину, а несколько. Например, в ячейке $L^{+3}T^{-2}$ размещены две физические величины: масса и количество электричества, в ячейке $L^{+1}T^0$ размещены три величины: длина, емкость, самоиндукция и т.д. Более того, во многие ячейки можно дописать не указанные в таблице физические величины. Например, в системе СИ теплопроводность измеряется в [Вт/м·К]. Если вместо ватта поставить размерность мощности $L^{+5}T^{-5}$, а вместо кельвина - размерность температуры $L^{+5}T^{-4}$, то теплопроводность необходимо добавить в ячейку $L^{-1}T^{-1}$.

Текущесть расплава измеряется в [кг/с]. Подставляя вместо килограмма размерность силы $L^{+4}T^{-4}$, получаем размерность текущесть

расплава $L^{+4}T^{-5}$. Как видно, в исходной таблице эта величина также не приведена. Если в размерности [кг/с] приведена не килограмм-сила, а килограмм-масса, тогда получим $L^{+3}T^{-3}$.

Сила классификации в том, что каждый класс содержит так называемый "инвариант" - свойство, которое присуще всем элементам этого класса. П.Г. Кузнецов называет это свойство сущностью.

- В чем инвариантность или сущность длины, емкости, самоиндукции для нас, в наших изобретательских задачах?-

- В том, что все они имеют одну и ту же физическую размерность $L^{+1}T^0$.

Поэтому, когда в изобретательской задаче встречаются свойства длины, емкости или самоиндукции, то с этими свойствами можно оперировать одинаковыми приемами. То же самое касается и так называемых "критериев подобия", когда законы сохранения в разных отделах физики имеют одну и ту же математическую структуру. Например, если в механике в какую-нибудь формулу длина входит в квадрате, то в подобной формуле для электричества емкость тоже будет в квадратной степени.

Интуитивно ясно, что таблица Бартини может быть использована для решения изобретательских задач на физическом уровне, т.е. на стадии формулировки и разрешения физического противоречия, если говорить о решении задачи по АРИЗ. Таблица содержит физические величины, которые характеризуют пространственно-временные и вещественно-полевые ресурсы задачи. Однако Р.О. Бартини не оставил никаких сведений, как практически пользоваться таблицей.

3.1.3. Тренды свойств ресурсов

Сравним LT-таблицу с инструментальными средствами ТРИЗ. Наиболее похожей является таблица основных приемов устранения типовых технических противоречий (ТП)[13], фрагмент которой приведен в табл.4.

Таблица 4. Фрагмент таблицы приемов устранения типовых ТП

	1	2	3	4	5	6	7
Что ухудшается при изменении	Вес подвижного объекта	Вес неподвижного объекта	Длина подвижного объекта	Длина неподвижного объекта	Площадь подвижного объекта	Площадь неподвижного объекта	Объем подвижного объекта
Что нужно изменить по условиям задачи							
1.Вес подвижного объекта			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28
2.Вес неподвижного объекта				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2	
3.Длина подвижного объекта	8,15,29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35
4.Длина неподвижного объекта		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40	
5.Площадь подвижного объекта			14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4
6.Площадь неподвижного объекта	2, 17, 29, 4	30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39			
7.Объем подвижного объекта	2, 26, 29, 40		1, 7, 35, 4		1, 7, 4, 17		

Таблица содержит 39 физических величин и свойств, таких например, как длина, объем, время, скорость, давление, сила,

температура, которые образуют два альтернативных свойства технического противоречия. Эти величины размещаются как заголовки горизонтальных и вертикальных строк и столбцов таблицы. По вертикали откладываются свойства, которые нужно изменить по условиям задачи, а по горизонтали - какие свойства ухудшаются по условиям задачи. На пересечении столбцов и строк указываются номера приемов, которые разрешают типовое противоречие. Список приемов можно посмотреть здесь [39]. Всего имеется 40 приемов. Схема работы с таблицей представлена на рис. 3.4.



Рис.3.4. Процесс решения изобретательской задачи по таблице типовых приемов разрешения ТП

Если при решении задачи, например, по АРИЗ, сформулировано техническое противоречие, то в таблицу типовых приемов входим по горизонтали с хорошим свойством, а по вертикали – с плохим свойством. В ячейке на пересечении отыскиваем один или несколько типовых приемов, которые и используем в своей конкретной задаче.

Теперь рассмотрим ситуацию, как можно войти в таблицу Р.О. Бартини с техническим противоречием. Продолжим разбор задачи о запайке ампул. ТП содержит изделие, инструмент, и два альтернативных свойства, зависящие от противоположных состояний инструмента. Модель ТП с решением задачи задается линией "изделие (L^1) → инструмент (L^2) → X-элемент(L^3) → решение (L^4)". Эта линия похожа на тренд "точка – линия – поверхность - объем" (развитие форм контакта между инструментом и изделием). Найдем размерности для этого тренда в ЛТ-таблице. Очевидно, они находятся в строке T^0 , где геометрическая размерность точки есть безразмерная величина L^0 , размерность линии - длина L^1 и т.д.

Умножение на T^0 последовательности «точка – линия – поверхность -объем» дает фрагмент размерностей $L^0T^0, L^1T^0, L^2T^0, L^3T^0$, а фрагмент $L^1T^0, L^2T^0, L^3T^0, L^4T^0$ отражает размерность последовательности «изделие - инструмент - X-элемент - положительный эффект» в примере о запайке ампулы. Положительный эффект может быть идентифицирован как нежелательный эффект $E(x)$, который имеет размерность $L^4T^0=L^4$, разница

только в знаке (+ или -). Тогда ячейка L^4T^0 задает распределение объема X-элемента вдоль высоты изделия.

Таким образом, при известных физических размерностях свойств изделия и инструмента, ячейки L^1T^0 и L^2T^0 являются входами в LT-таблицу, а ячейки L^3T^0 и L^4T^0 являются выходами LT-таблицы. Ячейка L^3T^0 задает физическое свойство пространственного ресурса X-элемента, т.е. объем, ячейка L^4T^0 устанавливает определенное размещение этого объема по высоте изделия.

Продвижение по тренду определяет механизм преобразования входа в выход. Видно, что размерность свойства X-элемента равна произведению размерностей свойств изделия и инструмента, т.е. $L^1T^0 \cdot L^2T^0 = L^3T^0 = L^3$. Размерность свойства желательного эффекта равна произведению размерностей X-элемента и изделия, т.е. $L^3T^0 \cdot L^1T^0 = L^4T^0 = L^4$. Тренд развития свойств пространственного ресурса представлен графически на рис. 3.5.

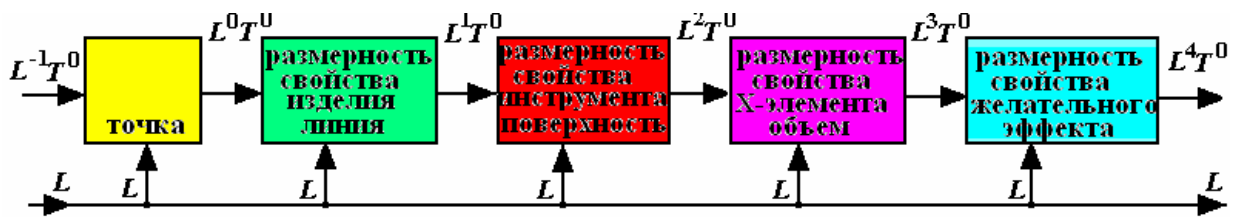


Рис.3.5. Тренд развития свойств пространственного ресурса

Другие строки LT-таблицы задают пространственные тренды развития других свойств. Например, пространственный тренд развития давления: ячейка L^1T^4 задает градиент давления, а ячейка L^2T^4 задает давление в точке, ячейка L^3T^4 задает распределение силы вдоль линии или поверхностное натяжение, ячейка L^4T^4 задает силу. Конечно, этот же тренд можно рассматривать и как развитие силы в пространстве. Аналогично столбцы LT-таблицы задают временные тренды развития физических свойств. Размерность в каждой ячейке временного тренда отличается от соседней множителем T .

3.1.3. Передача наследственной информации в пространственном тренде

Рассмотрим механизм передачи наследственных физических свойств при движении по пространственному тренду T^0 . Тренд можно

рассматривать на уровне бесконечно малых величин. Действительно, интеграл от дифференциала dl (точка) есть l (длина), а интеграл от ldl есть $l^2=S$ (поверхность) и т.д. (с точностью до безразмерных коэффициентов, которые договоримся не учитывать).

Таким образом, по мере продвижения по тренду T^0 от клетки к клетке слева направо геометрическая мерность пространства увеличивается на единицу путем умножения предыдущей мерности на L^{+1} : $L^{n+1}T^0 = L^nT^0 \cdot L^{+1}$. Размерности свойств всех элементов тренда имеют в своем составе множитель L^{+1} , который передается по наследству от свойства к свойству, и который может быть назван геном длины. Ген длины передает всем элементам (поколениям) тренда физическое свойство: быть совокупностью (ансамблем) линий. Действительно, линия - это совокупность линий (из одной линии), поверхность - это совокупность линий, объем - это тоже совокупность линий и т.д.

Но тренд T^0 в таблице неограничен как слева, так и справа, и может начинаться с любой клетки. Если он начинается с безразмерной величины L^0T^0 , тогда все последующие поколения будут обладать свойством "быть совокупностью точек". Выясним, как же физически передается наследственное свойство.

Представим мысленно наше изделие, т.е. ампулу, стоящую вертикально (в деревянной кассете) и характеризующую свойством высоты, измеряемым единицами длины. Допустим, что в начале никакого изделия и тем более, его свойства высоты, нет. Тогда наша ампула вырождается в безразмерную точку, расположенную, например, на дне кассеты. Это будет начало отсчета (рис.3.6).

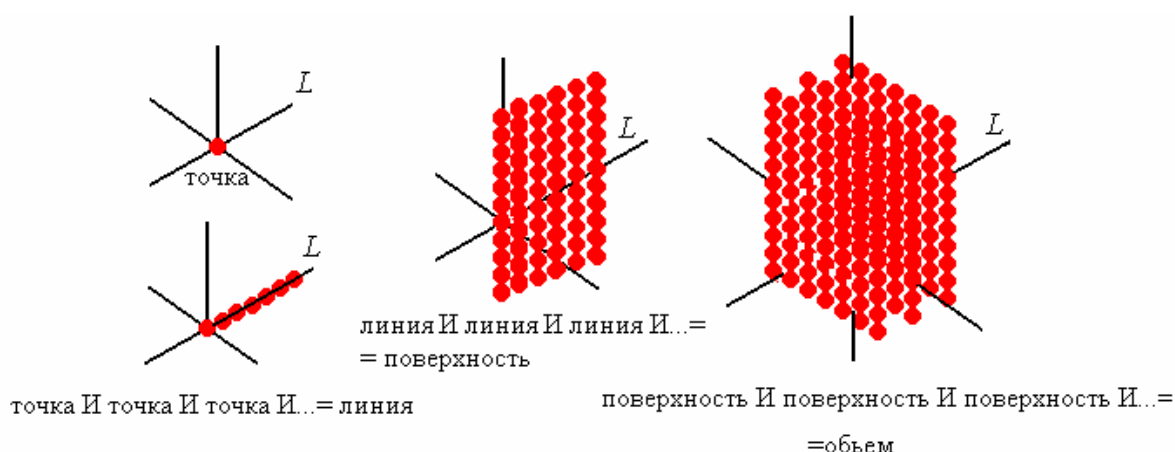


Рис.3.6. Логическое преобразование тренда пространственных ресурсов

Возьмем другую точку, например, бусинку (нулевого радиуса) или пятнышко, кружок нулевой толщины (строго говоря, dl) и нулевого радиуса, и наложим его (или ее - бусинку) на первую точку, затем положим третью точку и т.д. Можно даже эти точки-кружки-бусинки накалывать на вертикальную ось как на спицу.

Наконец, накололи на спицу столько точек, что добрались до верхней точки ампулы. Получили прямую вертикальную линию нулевой толщины, но определенной длины. Именно эта линия и обладает абстрактным свойством высоты. Можно также сказать, что линия есть некоторое распределение точек вдоль высоты ампулы. Тогда можно записать логическую формулу линии: линия = "И" точка "И" точка "И" точка... "И" точка... Формула эта выражает математическую операцию логического умножения "И" - "И" или соединения, сложения элементов в некоторую совокупность.

В этих логических формулах проявляется метод "И" - "И" логики Р. Бартини, причем в геометрии. Недаром статья [8] Р.О. Бартини и П.Г. Кузнецова, где напечатана ЛТ-таблица, называется "Множественность геометрий и множественность физик". Именно в ней строится логический мостик нашего мышления при переходе от геометрии (математики) к физике свойств.

Важно отметить, что свойство линии - ее высота, выражаемая в единицах длины, появляется уже при двух точках, расположенных в любых местах этой линии, например, в начале отсчета и на конце капилляра. Тогда минимальная логическая формула для линии будет такая: линия = "И" точка "И" точка.

Аналогично поступаем дальше и определяем свойство инструмента u , которое определено как поверхность пламени, контактирующая с ампулой. Так как свойство линии, измеряемое длиной, уже выяснено, то берем эту самую линию и сворачиваем ее в кружок вполне определенного радиуса, равного диаметру ампулы и пропорционального длине с некоторым безразмерным коэффициентом. Толщину кружка выбираем нулевой (строго, dl), это наследственное свойство точки.

Далее такие кружки начинаем накалывать на нашу спицу, формируя из них поверхность контакта. В районе капилляра кружки, конечно, должны быть существенно меньшего радиуса.

Ясно, что поверхность или свойство инструмента есть определенное распределение линий вдоль (ген L^{+1}) высоты ампулы. Минимальная логическая формула поверхности: $S = \text{"И" линия "И" линия}$.

Теперь будем формировать объем или свойство u X-элемента путем наращивания на dl того измерения, которое на предыдущей итерации было

нулевым, безразмерным. Нулевой толщиной обладает цилиндр, образующий поверхность контакта или оперативную зону в терминологии АРИЗ. Нарастиваем толщину, цилиндр распухает и образует объем - свойство X-элемента. В данном случае объем является определенным распределением поверхностей вдоль другого направления, перпендикулярного высоте. Иначе и объем не образовать. Но, с другой стороны, объем распределен определенным образом и по высоте ампулы: в районе лекарства - это толстый цилиндр, в районе капилляра - тонкий, да еще есть переход от толстого к тонкому цилиндру. Минимальная логика объема: $V = \text{"И"} \text{ поверхность "И" поверхность}$.

Наконец, последняя итерация - образование геометрического образа решения. Мысленно берем кубики объема и начинаем накалывать на вертикальную спицу. Получаем, что решение в пространстве, есть, по крайней мере, определенное распределение объема по высоте ампулы. Мы-то знаем, что этот объем должна занимать вода, но геометрия подсказывает, что вода по высоте ампулы должна быть распределена по-разному. Снизу много - "толстый" объем, сверху мало - "тонкий" объем. Кстати, эта клетка нашего решения в LT-таблице заполнена размерностью момента инерции плоской фигуры.

Пространственный анализ задачи по таблице Р.О. Бартини в некотором смысле аналогичен шагу 2.1 АРИЗ. Там тоже определяются ресурсы пространства, в котором находится конфликт, и куда надо вводить X-элемент.

В чем отличие? В АРИЗ X-элемент надо помещать в оперативную зону, т.е. в данном решении - на поверхность ампулы. Не сразу доходит до сознания, что это может быть вода: как же она удержится на поверхности? Только потом, после преодоления психологической инерции доходит до сознания, что если наливать воду, и она будет скатываться вниз по ампуле, то необходимо ампулу поставить в какой-то объем, чтобы вода не утекала. Здесь же, по LT-таблице, получается сразу, что X-элемент должен иметь объем. Это реальная геометрия решения, т.е. не вода, а строго говоря, некоторый сосуд с водой. Вода как таковая объема не имеет. Ценной информацией является установление места размещения X-элемента в геометрии задачи. Действительно, сначала идет изделие со своей спицей-высотой, потом, как граница разделения, инструмент со своей поверхностью, затем, по другую сторону границы, X-элемент в своем объеме.

Анализ на временном тренде ничем не отличается от анализа на тренде пространственных ресурсов, только дифференциал длины dl заменяется на дифференциал времени dt . Правда, появляются такие непривычные термины как поверхность времени L^0T^2 или объем времени

L^0T^3 . Но мы их использовать не будем. Более подробно этот вопрос рассмотрен в работе [40] по устойчивому развитию, написанной последователями П.Г.Кузнецова.

3.1.5. Тренды свойств вещественно-полевых ресурсов

Как известно, в АРИЗ, кроме оперативного пространства и времени, анализируются также и вещественно-полевые ресурсы. Поэтому по аналогии определим тренды свойств вещественно-полевых ресурсов как диагонали LT-таблицы, проходящие слева снизу направо вверх (тренды СВПР) (рис. 3.7).

Dim	L^{-2}	L^{-1}	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5
T^{-6}	$L^{-2}T^{-6}$	$L^{-1}T^{-6}$	L^0T^{-6}	L^1T^{-6}	L^2T^{-6}	L^3T^{-6}	L^4T^{-6}	L^5T^{-6}
T^{-5}	$L^{-2}T^{-5}$	$L^{-1}T^{-5}$	L^0T^{-5}	L^1T^{-5}	L^2T^{-5}	L^3T^{-5}	L^4T^{-5}	L^5T^{-5}
T^{-4}	$L^{-2}T^{-4}$	$L^{-1}T^{-4}$	L^0T^{-4}	L^1T^{-4}	L^2T^{-4}	L^3T^{-4}	L^4T^{-4}	L^5T^{-4}
T^{-3}	$L^{-2}T^{-3}$	$L^{-1}T^{-3}$	L^0T^{-3}	L^1T^{-3}	L^2T^{-3}	L^3T^{-3}	L^4T^{-3}	L^5T^{-3}
T^{-2}	$L^{-2}T^{-2}$	$L^{-1}T^{-2}$	L^0T^{-2}	L^1T^{-2}	L^2T^{-2}	L^3T^{-2}	L^4T^{-2}	L^5T^{-2}
T^{-1}	$L^{-2}T^{-1}$	$L^{-1}T^{-1}$	L^0T^{-1}	L^1T^{-1}	L^2T^{-1}	L^3T^{-1}	L^4T^{-1}	L^5T^{-1}
T^0	$L^{-2}T^0$	$L^{-1}T^0$	L^0T^0	L^1T^0	L^2T^0	L^3T^0	L^4T^0	L^5T^0
T^1	$L^{-2}T^1$	$L^{-1}T^1$	L^0T^1	L^1T^1	L^2T^1	L^3T^1	L^4T^1	L^5T^1
T^2	$L^{-2}T^2$	$L^{-1}T^2$	L^0T^2	L^1T^2	L^2T^2	L^3T^2	L^4T^2	L^5T^2
T^3	$L^{-2}T^3$	$L^{-1}T^3$	L^0T^3	L^1T^3	L^2T^3	L^3T^3	L^4T^3	L^5T^3

Рис.3.7. Тренды свойств вещественно-полевых ресурсов

Тренды СВПР образуют 7 диагоналей, содержащих физические свойства с размерностями L^mT^n , при $|m+n| \leq 3$ реализуемые в трехмерном пространстве. Легко заметить, что все тренды СВПР от поколения к поколению передают ген скорости $V=L^1T^{-1}$. В этом - их общность. Однако есть и различие между трендами, а именно, в сумме $S_{n+m} = n+m$ показателей степени n и m для размерностей L^nT^m . Желтый тренд имеет сумму $S_{n+m}=0$ и передает по наследству вдоль тренда ген L^nT^{-n} . Серые тренды имеют сумму $S_{n+m}=\pm 1$ и передают гены $L^nT^{-n\pm 1}$. Голубые тренды имеют сумму $S_{n+m}=\pm 2$ и гены $L^nT^{-n\pm 2}$. Наконец, зеленые тренды имеют сумму $S_{n+m}=\pm 3$ и передают гены $L^nT^{-n\pm 3}$. Здесь можно использовать социально-биологическую аналогию. Тренд формирует семейство нескольких поколений. Совокупность трендов или семейств образует человечество. Каждая сущность (физическое свойство) LT-таблицы имеет атрибут тренда S_{n+m} так же, как каждый человек имеет атрибут семейства.

С другой стороны, каждая сущность имеет атрибут L^1T^1 (т.е. гены длины и времени) совокупности трендов, так же, как любой элемент человечества имеет атрибут человека. Следовательно, имеется возможность соединения сущностей для получения новой сущности, так же, как люди могут продолжать развитие своей семьи, так и всего человечества.

Линии развития формируют треугольники ресурсов. Катеты треугольника образуют тренды свойств пространственных и временных ресурсов, а гипотенузы задают тренды свойств веществ и полей. Ресурсный треугольник позволяет как бы «перекачивать» имеющиеся в задаче ресурсы пространства и времени в ресурсы свойств веществ и полей. Обратная трансформация возможна, если мы сможем декомпозировать тренд свойств ВПР по ортогональным осям LT-таблицы.

Еще раз отметим, что передача наследственной информации по тренду СВПР осуществляется путем операции умножения. Например, на рис. 3.6 сущности суммируются, но математическая операция над ними есть логическое умножение или конъюнкция (И-И). Эквивалентная электрическая цепь, моделирующая тренд, приведена рис. 3.8, где ключи S1, S2, S3, S4 реализуют операцию логического умножения. Наследственная информация проходит по тренду, когда S1" И "S2" И "S3" И "S4 замкнуты.

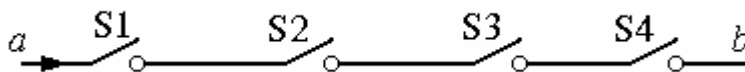


Рис.3.8. Эквивалентная электрическая схема тренда

3.1.6. Синтез свойства вещественно-полевого ресурса

В задаче о запайке ампул был найден только пространственный образ X-элемента, т.е. по сути, только одна координата - по оси L , равная L^3 . И был он найден путем продвижения по клеткам LT-таблицы (рис. 3.9) в направлении голубой стрелки от исходной клетки L^1T^0 , задающей свойство изделия. Значит, мы находимся в клетке L^3T^0 и ни вправо, и ни влево уходить с нее не можем. Иначе получим L в другой степени. Поэтому для поиска временного свойства X-элемента необходимо либо передвигаться по временному тренду L^3T^m вверх или вниз до нужной клетки (по вертикальной штриховой стрелке), либо остаться в исходной клетке L^3T^0 , считая, что объем есть не только свойство пространственного ресурса, но и свойство вещественно-полевого ресурса.

	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4
T^{-2}	Угловое ускорение	Линейное ускорение	Разность потенциалов	Масса	Магнитный момент
T^{-1}	Частота Угловая скорость	Линейная скорость	Обильность двумерная	Расход объемный	Скорость смещения объема
T^0	Безразмерная величина	Длина Изделие	Поверхность Инструмент	Объем Х-элемент	Положительный эффект Решение задачи
T^1	Угловое ускорение	Линейное ускорение	$L^2 T^1$	$L^3 T^1$	$L^4 T^1$

Рис.3.9. Нахождение пространственного образа Х-элемента

Попутно также заметим, что положительный эффект или решение задачи в пространственном смысле дает следующая клетка тренда $L^4 T^0$, которая напоминает, что геометрическим решением является не просто объем, а его какое-то возможное распределение по длине (высоте) ампулы.

Неизвестно, на сколько клеток надо передвигаться по временному тренду. Вторая координата, по оси времени, свойства Х-элемента не определена. Очевидно, что такая ситуация сложилась из-за того, что мы учли только один фактор, одно свойство, определяющее хорошую запайку, а именно, длину оплавленного капилляра. Поэтому и получили только одну координату свойства Х-элемента. Второй фактор – температуру нагрева, от которой может испортиться лекарство, пока не учли. Сделаем это следующим образом.

В разделе 2.2. получено дифференциальное уравнение (2.5), описывающее эволюцию свойства Х-элемента после момента "озарения" или захвата Х-элемента системой мысленного поиска и слежения в сознании изобретателя

$$Kdz/dt = 3xy - az,$$

где x и y - координаты, описывающие эволюцию конкурирующих свойств технического противоречия, z - координата, определяющая эволюцию Х-элемента в режиме слежения, K - некоторый коэффициент, зависящий от психологической инерции, a - коэффициент, зависящий от остроты мышления.

Когда инерция преодолена, свойство z X-элемента четко фиксируется сознанием, т.е. z уже не изменяется. Наступает установившийся режим, когда скорость изменения координаты равна нулю $dz/dt=0$. Тогда для установившегося режима получаем алгебраическое уравнение

$$z=3xy/a=Cxy, \quad (3.3)$$

в котором, как уже указывалось неоднократно, произведение xy передает наследственную информацию о свойствах x и y "родителей", свойству z их "ребенка", т.е. X-элементу.

Переходим в физический базис описания свойств X-элемента, заменяя координаты x, y, z на их размерности в LT-базисе

$$L^{m3}T^{n3}=C \cdot L^{m1}T^{n1} \cdot L^{m2}T^{n2}. \quad (3.4)$$

Постоянная C является размерной константой, т.е. $C=L^{m4}T^{n4}$, и где все m_i и n_j - целые числа, положительные и отрицательные.

В уравнении (3.4) произведение $L^{m1}T^{n1} \cdot L^{m2}T^{n2}$ определяет тот элемент тренда СВПР, в котором заложены свойства того и другого "родителей" (при размерности коэффициента $C=L^0T^0$). Сам же тренд СВПР, проходящий через этот элемент с размерностью $L^{m1}T^{n1} \cdot L^{m2}T^{n2}$, назовем родительским.

Определим родительский тренд СВПР для задачи о запайке ампул. Для этого найдем факторы, разнородно влияющие на важную потребительскую характеристику нашей запайки. Ясно, что этой характеристикой является качество запайки. Будем считать, что на качество запайки влияют всего два разнородных фактора: длина оплавленного капилляра и температура лекарства.

Теперь эти два фактора мы должны сложить, соединить, и передать нашему X-элементу. Решение должно иметь И "хорошую" длину оплавленного капилляра, И "хорошую" температуру лекарства. Для этого используем логическое умножение "И-И": размерность длины умножаем на размерность температуры в соответствии с (3.4) и получаем размерность элемента на родительском тренде

$$L^6T^4 = L^{+1}T^0 \cdot L^5T^4$$

Обратим внимание, что свойства длины и температуры численно заложены в показателях степени при L и T , и при умножении размерностей

эти показатели складываются. Таково второе проявление метода "И-И" Бартини.

Находим сумму $S_{n+m} = 6-4=2$. По величине S_{n+m} находим, что это нижний голубой тренд на рис. 3.7.

Каковы могут быть дальнейшие движения в поиске ответа? Имеются только две альтернативы: либо остаться в этой точке L^6T^4 и считать это свойство искомым ресурсом X-элемента, либо продвигаться по родительскому тренду (по диагонали) в поисках нового решения.

Почему именно по диагонали? Потому что мы ищем свойство вещественно-полевого ресурса, а не пространственное и не временное свойство. Для нашей же задачи о запайке мы непременно должны продвигаться по диагонали родительского тренда, так как нам необходимо пересечение с временным трендом L^3T^m . По голубому тренду идем вниз налево и, наконец, находим ячейку "Объемный расход" с размерностью L^3T^1 (рис. 3.10).

D.	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5	L^6
T^5	L^0T^5	L^1T^5	L^2T^5	Поверхн. мощности	L^4T^5	Мощность	L^6T^5
T^4	L^0T^4	Удельный вес Градиент давления	Давление	Поверхн. натяжение Жесткость	Сила	Энергия Температура	L^6T^4
T^3	L^0T^3	Плотность потока	Вязкость	Ток Массовый расход	Импульс	L^5T^3	L^6T^3
T^2	Угловое ускорение	Линейное ускорение	Разность потенциалов	Масса	Магнит- ный момент	Момент инерции	L^6T^2
T^1	Частота Угловая скорость	Линейная скорость	Обильность двумерная	Расход объемный	Скорость смещения объема	L^5T^1	L^6T^1
T^0	Безраз- мерная величина	Длина Емкость	Поверхность (площадь)	Объем	Момент инерции плоской фигуры	L^5T^0	L^6T^0

Рис.3.10. Поиск свойства на родительском тренде

Попробуем эту задачу решить через физическое противоречие (ФП), формулируемое в АРИЗ, когда задаются два строго противоположных физических свойства. ФП можно записать так: Х-элемент должен быть горячим, чтобы не мешать сильному пламени оплавливать капилляр, и должен быть холодным, чтобы не перегревалось лекарство.

Свойство "горячий" и свойство "холодный" должны передаваться Х-элементу, а измеряются они оба в градусах температуры. Поэтому размерность температуры возводим в квадрат и находим элемент родительского тренда

$$(L^5 T^{-4})^2 = L^{10} T^{-8}.$$

Определяем сумму показателей $S_{n+m} = 10 - 8 = 2$. Мы попали на тот же самый нижний голубой тренд, а, следовательно, получим то же самое решение.

Сформулируем другое ФП: длина пламени должна быть большой, чтобы хорошо запаять, и должна быть маленькой, чтобы не перегреть. По образцу и подобию предыдущего варианта возводим длину в квадрат

$$(L^1 T^0)^2 = L^2 T^0.$$

Определяем сумму показателей $S_{n+m} = 2 + 0 = 2$. Мы снова на том же тренде ВПР.

Разбирая задачу о запайке ампулы, Г.С. Альтшуллер и А.Б.Селюцкий указывали вариант, при котором качество запайки определялось временем нагрева ампулы: большое время - хорошая запайка, но порча лекарства, малое время - плохая запайка, но не портится лекарство. Отсюда ФП - "И" большое, "И" малое время нагрева (т.е. "хорошее" время - которое и надо!).

Возводим в квадрат

$$(L^0 T^1)^2 = L^0 T^2.$$

Определяем сумму показателей

$$S_{n+m} = 0 + 2 = 2.$$

Вариант без подробностей и без ФП, учет только главных факторов: "И" время пайки, "И" длина капилляра:

$$L^0 T^1 \cdot L^1 T^0 = L^1 T^1.$$

$$S_{n+m} = 1 + 1 = 2.$$

"И" время, "И" температура:

$$L^0 T^1 \cdot L^5 T^{-4} = L^5 T^{-3}.$$

$$S_{n+m} = 5 - 3 = 2.$$

Как видно, результаты полностью совпадают. Во всех случаях мы попадаем на родительский тренд.

Следовательно, X-элемент как ВПР должен обладать физическим свойством "Объемный расход", измеряемым в [м³/с]. Обычно в таких единицах измеряется расход тепло- или хладоносителя. Из решения задачи по АРИЗ, мы знаем, что X-элементом является вода. Здесь такого ответа нет. Однако можно сказать, что ответ получается более геометричный и физический. В задаче о запайке ампул пока еще не найденная вода, а всего лишь тепло/хладоноситель, уже получается расходуемой и распределенной по высоте, что соответствует физике и геометрии процесса.

Г.С. Альтшуллер и А.Б. Селюцкий, решая задачу по АРИЗ на противопоставлении огню при тушении пожаров, сначала находят, что X-элемент - это вода, А потом говорят, что воду **можно** сделать проточной. В LT-базисе X-элемент сразу получается проточным, проходящим, поскольку в размерность его входят секунды.

Хорошее определение геометрических, временных и физических свойств X-элемента является компенсацией за то, что не называется сам X-элемент. Мы должны опознать его по найденным свойствам.

Составим матрицу баланса ресурсов по формуле (3.3):

$$z = C \cdot x \cdot y$$

Таблица 5. Матрица баланса ресурсов для задачи о запайке ампул

Входной фактор, x	Входной фактор, y	$C=V^k=(L^1T^1)^k$	Выход – объемный расход, z
Длина, L^1T^0	Длина, L^1T^0	V^1	L^3T^1
Длина, L^1T^0	Время, L^0T^1	V^2	L^3T^1
Время, L^0T^1	Время, L^0T^1	V^3	L^3T^1
Время, L^0T^1	Температура, L^5T^4	V^2	L^3T^1
Длина, L^1T^0	Температура, L^5T^4	V^3	L^3T^1
Температура, L^5T^4	Температура, L^5T^4	V^7	L^3T^1

В этой матрице правый столбец определяет выход модели задачи, т.е. свойство X-элемента, которое получается перемножением свойств входных факторов x и y и коэффициента C . На родительском тренде коэффициент C равен гену скорости в некоторой степени k , где k - целое число, как положительное, так и отрицательное.

Как видно, в результате анализа ресурсов получилось 6 разных значений коэффициента k , т.е. 1,2,3,-2,-3,-7. Возникает вопрос, а не могут ли быть другие значения k , например, 0, и что же заключается в величине k ?

Рассмотрим подробнее первую строку матрицы баланса ресурсов. В случае использования булевой алгебры можно записать:

большая длина пламени AND малая длина пламени AND линейная скорость =объемный расход,

где AND - операция логического "И" (конъюнкция). Операнды конъюнкции образуют те внешние факторы, которые влияют на конечный результат, потребительскую функцию (качество запайки). Естественно, длина пламени может быть заменена эквивалентной длиной оплаваемого капилляра.

Первые два операнда образуют физическое противоречие, а третий операнд - линейную скорость - мы отбрасываем, решая задачу по АРИЗ. Ясно, что это приводит к трудностям поиска решения.

Но что это за линейная скорость? Вспомним задачу о запайке ампул. 25 ампул в клетках деревянной кассеты едут по конвейеру к месту запайки. В месте запайки конвейер останавливается, и 25 горящих газовых горелок смещаются вниз к капиллярам ампул. Теперь ясно, что линейная скорость - это вертикальная скорость подачи горелок, или скорость надвижения пламени на ампулу. Очевидно, этот фактор должен быть учтен наравне с физическим противоречием. Собственно, поиск этого третьего фактора в некотором смысле аналогичен поиску фактора разрешения ФП в АРИЗ. Отличие только в том, что здесь известна физическая размерность этого фактора, это размерность скорости в целой степени, и для данного ФП эта степень равна единице.

Для второй строки матрицы баланса ВПР строгого ФП не получается, и формально об этом свидетельствует четная степень гена скорости, т.е. $k=2$. Действительно, для второй строки имеем следующее логическое уравнение:

большая длина пламени AND малое время запайки AND линейная скорость AND линейная скорость = объемный расход.

Чисто формально этот случай сводится к предыдущему, если один операнд скорости мы логически умножим на время, тогда получим длину и строгое физическое противоречие.

Если этого не делать, то можно предположить, что вторая линейная скорость относится к скорости подачи газа в горелку или его истечения из нее (имеется в виду вертикальная составляющая скорости). Получается, что конечный результат зависит от четырех входных факторов: длины пламени, времени запайки, скорости подачи горелки и скорости протекания газа в трубе.

Баланс по третьей строке матрицы также может быть сведен к первым двум случаям, либо третья скорость будет учитывать какую-то более "тонкую" структуру, например, скорость движения на молекулярном уровне в реакции горения.

Для отрицательных значений k , которые связаны с появлением температуры среди операндов логической формулы баланса СВПР, можно предполагать, что гены скорости определяют процессы оплавления стекла, движения молекул жидкого лекарства, химические реакции порчи лекарства и т.п.

В принципе, от отрицательных значений k можно уйти, поскольку при $k < 0$ выходим на понятия длительности расстояния, поверхности времени и т.п. Чтобы эту ситуацию исключить, можно логическую формулу баланса СВПР помножить на ген скорости в какой-то положительной степени.

Например, возьмем четвертую строку матрицы баланса и помножим в ее логической формуле левую правую части на V^3 . Тогда получим

время AND температура AND линейная скорость =
= распределение температуры по длине,

т.е. результат (выход) будет оцениваться не по объемному расходу L^3T^1 , а по другому фактору родительского тренда - L^6T^4 .

Осталось только показать, как получается $k=0$. Это следует из формулы

расход нагретого газа AND V^0 = расход холодной воды.

Баланс свойств ресурсов показывает, что в LT-базисе можно работать с несколькими входными факторами, а не с двумя, как АРИЗ. Именно в этом заключается важное отличие LT-метода от АРИЗ.

3.2. Векторный метод оценки ресурсоемкости физических величин

3.2.1. Анализ ресурсов в вещественном базисе

Система кинематических величин Р.О. Бартини построена с применением теории размерностей. В изобретательской практике теория размерностей используется для построения математических моделей технических систем [41]. Главное отличие подхода Р.О. Бартини заключается в выборе основных единиц системы измерений: длины L и времени T . Формально такой базис позволяет избежать дробных степеней в размерностях физических величин, а на содержательном уровне - анализировать свойства пространства и времени (СПВ) и свойства вещественно-полевых ресурсов (СВПР) в изобретательских задачах. Действительно, в АРИЗ при анализе ресурсов введено их разделение на 3 типа: пространственный ресурс – оперативная зона, временной ресурс – оперативное время, и третий тип – вещественно-полевые ресурсы. Поэтому базис Р.О. Бартини хорошо стыкуется с физикой изобретательской задачи.

Важной характерной особенностью LT-таблицы, которая формализует систему Р.О. Бартини, является ее периодичность, подобная периодичности таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. Покажем это следующим образом.

В разделе 3.1.5. введено понятие трендов СВПР, каждый из которых представляют совокупность свойств на диагоналях LT-таблицы. Каждая совокупность или семейство имеет одинаковый показатель $S_{n+m} = n+m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$, где n и m задают показатели степени в размерности физической величины $L^n T^m$. Всего имеется 7 трендов или семейств, физически реализуемых в трехмерном пространстве величин, для которых выполняется условие $|n+m| \leq 3$.

Объединяя тренды в вертикальные столбцы, систему Р.О. Бартини получаем в форме табл. 6. Из нее следует, что размерность любой физической величины имеет вид $L^i T^{-i+s}$, где i - ряд целых чисел от $-\infty$ до $+\infty$. Тогда размерность i -го элемента получается из размерности $(i-1)$ -го элемента умножением на размерность линейной скорости $V^1 = L^1 T^{-1}$, т.е. $V^1 T^s$. Следовательно, такой базис может быть назван VT-базисом (скорость-время).

Такой же результат получится, если размерность любого элемента таблицы представить в виде $L^{i-s} T^i = V^1 L^{-s}$ и поменять знаки у

последовательности s на противоположные: $s=3,2,1,0,-1,-2,-3$. Такой базис может быть назван VL-базисом (скорость-длина).

Таким образом, можно сделать вывод, что размерность любой i -ой физической величины выражается произведением i -штук линейных скоростей V , умноженного или деленного на длину или время в степени $s=0,\pm1,\pm2,\pm3$.

Например, размерность температуры равна произведению пяти множителей линейной скорости $V \cdot V \cdot V \cdot V \cdot V$ на множитель времени T , а размерность разности потенциалов равна произведению двух множителей линейных скоростей $V \cdot V$.

Введем понятие ресурсоемкости физической величины как степень удаления ее от абсолютно не затратной физической величины. Чем дальше удалена физическая величина от абсолютно не затратной величины, тем она более ресурсоемкая.

Абсолютно не затратной физической величиной будем считать такую величину, на реализацию которой затрачивается минимальное значение свойств как пространства-времени, так и физических свойств вещественно-полевых ресурсов, а именно, ноль.

Таблица 6. Периодическая система физических величин в VT-базисе

i	s						
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
5	$L^5 T^{-5-3}$	$L^5 T^{-5-2}$	$L^5 T^{-5-1}$	$L^5 T^{-5+0}$ Мощность	$L^5 T^{-5+1}$ Энергия температура	$L^5 T^{-5+2}$	$L^5 T^{-5+3}$ Момент инерции
4	$L^4 T^{-4-3}$	$L^4 T^{-4-2}$	$L^4 T^{-4-1}$	$L^4 T^{-4+0}$ Сила	$L^4 T^{-4+1}$ Импульс	$L^4 T^{-4+2}$ Магнитный момент	$L^4 T^{-4+3}$ Скорость смещения объема
3	$L^3 T^{-3-3}$	$L^3 T^{-3-2}$ Поверхн. мощность	$L^3 T^{-3-1}$ Поверхн. натяжение Жесткость	$L^3 T^{-3+0}$ Ток Массовый	$L^3 T^{-3+1}$ Масса Кол-во эл-ва	$L^3 T^{-3+2}$ Расход объемный	$L^3 T^{-3+3}$ объем

			ь	расход			
2	L^2T^{-2-3}	L^2T^{-2-2} Давление Напряже ние	L^2T^{-2-1} Напряже нность эл.-магн. поля Вязкость	L^2T^{-2+0} Разность потенциа лов	L^2T^{-2+1} Двумерн ая обильнос ть	L^2T^{-2+2} поверхность	L^2T^{-2+3}
1	L^1T^{-1-3} Удельный вес Градиент давления	L^1T^{-1-2} Плотность потока	L^1T^{-1-1} Линейно е ускорени е	L^1T^{-1+0} Линейная скорость	L^1T^{-1+1} Длина	L^1T^{-1+2} Длительн ость расстоян ия	L^1T^{-1+3}
0	L^0T^{-0-3}	L^0T^{-0-2} Угловое ускорени е	L^0T^{-0-1} Частота Угл. скорость	L^0T^{-0+0} Угол	L^0T^{-0+1} Продолж и- тельность ь	L^0T^{-0+2} Поверхн ость времени	L^0T^{-0+3} Объем времени
-1	$L^{-1}T^{-1-3}$	$L^{-1}T^{-1-2}$ Электр. объем плотност ь	$L^{-1}T^{-1-1}$ Измен-е эл. об. плотност и	$L^{-1}T^{-1+0}$ проводим ость	$L^{-1}T^{-1+1}$ Кривизна	$L^{-1}T^{-1+2}$	$L^{-1}T^{-1+3}$

Такой величиной как в LT-базисе, так и в VT-базисе, является безразмерная величина, угол в радианах или поворот геометрической точки, которая получается при $i=0$ и $s=0$, т.е. $L^0T^0 = V^0L^0 = V^0T^0 = 1$. Поворот точки является абсолютно беззатратным движением, который по существу движением не является, так как всегда, еще до поворота, можно утверждать, что точка уже сама повернулась на любой угол, на который нужно. Если мы ее будем поворачивать, то тем самым мы затратим, по крайней мере, ресурс угловой скорости L^0T^1 (при вращении с постоянной скоростью), и минимума затрат ресурсов не получим.

Для количественной оценки ресурсоемкости физических величин [42] на VT-таблице введем прямоугольную систему координат i, s с центром в ячейке L^0T^{0+0} . (рис.3.11,слева). Любую физическую величину с размерностью L^iT^{i+s} будем представлять вектором x , проведенным из начала координат в ячейку с координатами i, s , т.е. $x = \begin{bmatrix} i \\ s \end{bmatrix}$. Тогда ресурсоемкость будет равна длине этого вектора или евклидовой норме.

Например, для энергии (или статистической температуры) ресурсоемкость D будет равна

$$D = \|x\| = \sqrt{i^2 + s^2} = \sqrt{5^2 + 1^2} = \sqrt{26} \approx 5.10.$$

Для поверхностного натяжения (или жесткости)

$$D = \|x\| = \sqrt{i^2 + s^2} = \sqrt{3^2 + (-1)^2} = \sqrt{10} \approx 3.16.$$

Для кривизны $D = \|x\| = \sqrt{i^2 + s^2} = \sqrt{(-1)^2 + (1)^2} = \sqrt{2} \approx 1.41.$

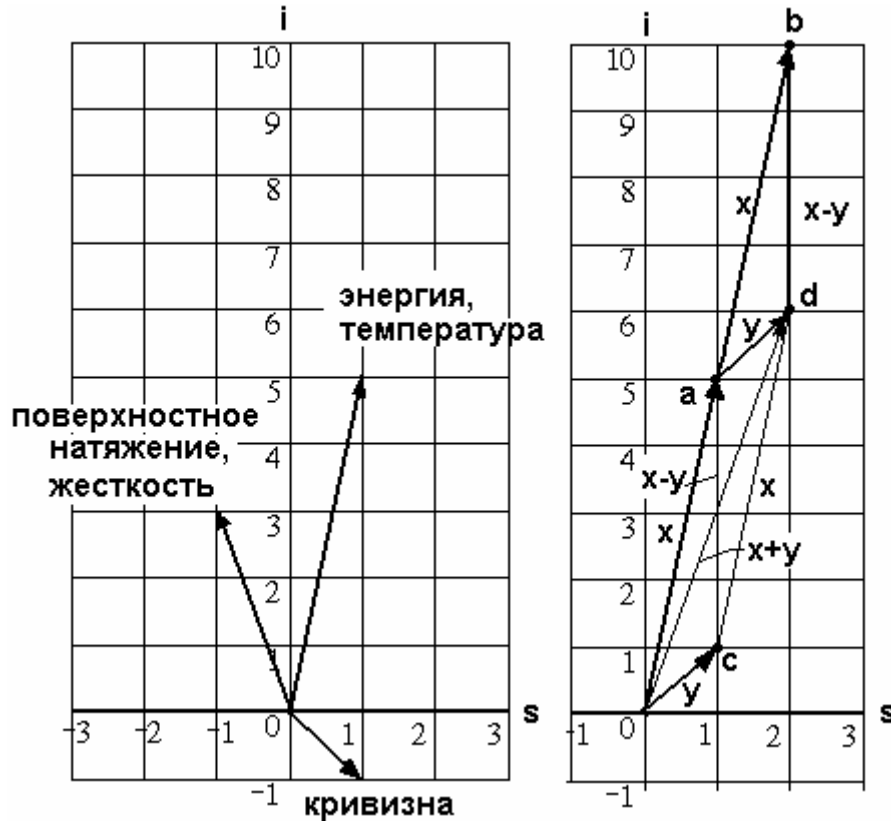


Рис.3.11. Определение ресурсоемкости: физических величин (слева), технического и физического противоречия (справа)

Теперь введем бинарное отношение $R(x,y)$ между двумя векторами x и y , равное их сумме

$$R(x,y) = x + y. \quad (3.5)$$

Например, бинарное отношение между вектором x температуры и вектором y кривизны будет равно

$$R(x,y) = \begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \end{bmatrix},$$

и ресурсоемкость бинарного отношения $R(x,y)$

$$D(x,y) = \sqrt{4^2 + 2^2} = \sqrt{20} \approx 4.47.$$

Для пояснения смысла бинарного отношения обратимся к разделу 3.1.6. Математическая модель технического противоречия двух конкурирующих свойств S и Q представляется в виде

$$W = c \cdot S \cdot Q, \quad (3.6)$$

где c - коэффициент пропорциональности, от значения которого зависит тот или иной вариант ответа задачи, W - свойство величины, разрешающей техническое противоречие (например, X -элемента). Пока техническое противоречие (ТП) не разрешено, величины W и c неизвестны. Однако мощность противоречия можно оценить до его разрешения по произведению $S \cdot Q$, переходя к векторной форме записи размерностей величин S и Q . Тогда можно найти пространственно-временные затраты свойств и свойств вещественно-полевых ресурсов на ТП.

Если вектор x представляет размерность свойства S , а вектор y - размерность свойства Q , то произведение $S \cdot Q$ свойств отражается в сумму векторов $x + y = R(x, y)$ в пространстве размерностей. Следовательно, бинарное отношение является векторным представлением противоречия между физическими величинами x и y .

Рассмотрим пример определения мощности противоречия между двумя физическими величинами (или альтернативными свойствами ТП).

Пусть первая величина S есть температура, а вторая величина Q - длина. По таблице 6 определяем вектор x размерности температуры и вектор y размерности длины

$$x = \begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Строим оба вектора $x=oa$ и $y=oc$ на рис.3.11, справа. Будем считать, что самой большой мощностью обладает физическое противоречие (ФП), образованное любой физической величиной и ее антиподом. Для ФП построим бинарное отношение $R(x, x) = x + x$ между свойствами "горячее и холодное", измеряемыми в единицах температуры. Для этого графически складываем вектор x сам с собой

$$R(x, x) = \begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \\ 2 \end{bmatrix}.$$

Находим ресурсоемкость ФП

$$D(x, x) = \sqrt{10^2 + 2^2} \approx 10.2.$$

Теперь аналогично определим ресурсоемкость уже ТП между свойствами "температура" и "длина". ТП строим как бинарное отношение

$$R(x, y) = \begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 2 \end{bmatrix}.$$

Находим ресурсоемкость ТП

$$D(x, y) = \sqrt{6^2 + 2^2} \approx 6.32.$$

Как следует из приведенных расчетов, ТП не хватает ресурсоемкости для полноценного конфликта, которым является ФП. И чем больше не хватает ресурсов, тем слабее конфликт. Поэтому силу ТП будем определять по сравнению с мощностью ФП.

Найдем разность между бинарными отношениями ФП и ТП

$$R(x, x) - R(x, y) = x + x - (x + y) = R(x, -y) = x - y.$$

Как видно, она представляет разность векторов, задающих размерности альтернативных свойств ТП

$$R(x, -y) = \begin{bmatrix} 5 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Теперь определим мощность ТП как ресурсоемкость разности ФП и ТП, т.е.

$$D(x, -y) = \sqrt{4^2 + 0^2} = 4. \quad (3.7)$$

Наконец, введем нормированную мощность ТП как нормированную ресурсоемкость $Dn(x, y)$

$$Dn(x, y) = \frac{D(x, -y)}{D(x, y)} = \frac{4}{6.32} \approx 0.63. \quad (3.8)$$

Нормирование позволяет более объективно оценивать сравнительную мощность пар технических противоречий физических величин, существенно отличающихся по ресурсоемкости.

В качестве примера в таблице 7 приведены данные по оценке ресурсной мощности технических противоречий для некоторых физических величин, рассчитанной по формулам (3.7) и (3.8). Оценка находится в клетке на пересечении строки и столбца соответствующих пар противоречий. Оценка состоит из дроби, числитель которой является нормированной мощностью Dn , а знаменатель дает значение абсолютной мощности D . Чем меньше значение, как числителя, так и знаменателя, тем большей ресурсной мощностью обладает ТП.

Таблица 7. Ресурсная мощность технических противоречий

Dn/D	Угол	Длина	Время	Лин. скорость	Температура	Давление	Масса	Сила, вес
Угол	-	1.0/1.41	1.0/1.0	1.0/1.0	1.0/5.10	1.0/2.83	1.0/3.16	1.0/4.0
Длина	1.0/1.41	0/0	0.45/1.0	0.45/1.0	0.63/4.0	1.0/3.16	0.45/2.0	0.62/3.16
Время	1.0/1.0	0.45/1.0	0/0	1.0/1.41	0.93/5.0	1.61/3.61	0.83/3.0	1.0/4.12
Лин. скорость	1.0/1.0	0.45/1.0	1.0/1.41	0/0	0.68/4.12	0.62/2.24	0.54/2.24	0.6/3.0
Температура	1.0/5.10	0.63/4.0	0.93/5.0	0.68/4.12	0/0	0.6/4.24	0.54/2.24	0.16/1.41
Давление	1.0/2.83	1.0/3.16	1.61/3.61	0.62/2.24	0.6/4.24	0/0	0.62/3.16	0.45/2.83
Масса	1.0/3.16	0.45/2.0	0.83/3.0	0.54/2.24	0.54/2.24	0.62/3.16	0/0	0.2/1.41
Сила, вес	1.0/4.0	0.62/3.16	1.0/4.12	0.6/3.0	0.16/1.41	0.45/2.83	0.2/1.41	0/0

Рассмотрим простейший пример по сравнительной оценке технических противоречий в задаче о запайке ампул. Определим несколько факторов, влияющих на запайку капилляра и сохранность лекарства.

Время запайки, ресурсоемкость D (время) = 1.0

Температура пламени, ресурсоемкость D (температура) = 5.1

Длина пламени или длина запаянного капилляра, ресурсоемкость D (длина) = 1.41

Давление газа, ресурсоемкость D (давление) = 2.83.

Нетрудно подсчитать, что для этих факторов можно составить 6 пар разных технических противоречий. Например, между временем и температурой: время малое - температура большая, и наоборот.

По таблице 7 находим мощности ТП:

1. Dn (время, температура) = 0.93, D (время, температура) = 5.0
2. Dn (время, длина) = 0.45, D (время, длина) = 1.0
3. Dn (время, давление) = 1.61, D (время, давление) = 3.61
4. Dn (температура, длина) = 0.63, D (температура, длина) = 4.0
5. Dn (температура, давление) = 0.6, D (температура, давление) = 4.24
6. Dn (длина, давление) = 1.0, D (длина, давление) = 3.16

Из анализа следует, что наиболее мощной является пара "время-длина". Очевидно, объяснить это можно тем, что ресурсоемкость, как длины, так и времени минимальна. Возможность расходовать ресурсы для разрешения противоречия ограничена, поэтому и конфликт сильный. Зато если он будет разрешен, то решение получается близким к идеальному решению. Следовательно, можно заключить, что такая оценка отражает противоречие между идеальностью решения и ресурсоемкостью.

Недостаток оценки видится в том, что ресурсы пространства и времени считаются одинаковыми по значимости, т.е. 1 единица размерности длины приравнивается к 1 единице размерности времени. Хотя время и пространство являются категориями одной сущности - материи, но они все же разные категории. Например, Р.О. Бартини вводил понятие трехмерного времени, т.е. своего времени по всем трем координатам пространства, однако эта проблема (ее практическое воплощение) до сих пор остается открытой. Кроме того, стрела времени считается однонаправленной.

3.2.2. Анализ ресурсов в комплексном базисе

Так как время необратимо, то его можно рассматривать как активный ресурс по аналогии с активной мощностью электрического тока, которая отдается в нагрузку безвозвратно. В то же время пространство обратимо, так как в пространстве всегда можно вернуться назад, что и доказывают колебательные процессы. Следовательно, пространство является аналогией реактивной мощности, которой в колебательных процессах обмениваются источник энергии и нагрузка.

Поэтому, для оценки ресурсов свойств, на ЛТ-таблице (таблица 3) введем прямоугольную систему координат для размерностей физических величин с центром в ячейке $L^0 T^0$. Ось времени T будем считать действительной, а ось пространства L - мнимой осью.

В такой системе координат вектор размерности температуры записывается в виде

$$x(\text{температура}) = -4 + j 5,$$

где j - мнимая единица. Аналогично для векторов размерностей поверхностного натяжения и кривизны имеем

$$y(\text{поверхностное натяжение}) = -4 + j 3$$

$$z(\text{кривизна}) = 0 - j 1.$$

Определим комплекс полной мощности бинарного отношения векторов x и y как произведение

$$S = x \cdot y',$$

где вектор y' означает вектор, комплексно сопряженный с вектором y . Тогда модуль комплекса полной мощности дает полную мощность бинарного отношения x и y , а его действительная часть дает активную мощность ресурсов времени, а мнимая часть - реактивную мощность ресурсов пространства, протяженности.

Для приведенного выше примера о запайке ампул расчет мощности ресурсов приведен в таблице 8.

Таблица 8. Мощность ресурсов бинарных отношений в задаче о запайке ампул

Бинарные отношения		Полная мощность ресурсов	Мощность временных ресурсов	Мощность пространственных ресурсов	Коэффициент мощности косинус ϕ
Тип x, y		$ S $	$\text{Re}(S)$	$\text{Im}(S)$	$\text{Re}(S) / S $
время- длина		± 1.0	0	± 1	0.0
время- давление		± 4.472	-4	± 2	0.894
длина-давление		± 4.472	2	± 4	0.447
длина-температура		± 5.657	4	± 4	0.707
время- температура		± 6.403	- 4	± 5	0.624
температура-давление		± 28.636	26	± 12	0.907
Тип x, x					
ФП	время- время	1	1	0	1.0
	длина-длина	1	1	0	1.0
	температура-температура	41	41	0	1.0
	давление-давление	20	20	0	1.0

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы.

1. Бинарные отношения типа физического противоречия (последние 4 строки в табл.8) содержат только активную составляющую полной мощности и имеют коэффициент мощности равный 1. В этом ценность физического противоречия, которое при разрешении отдает в нагрузку (в мышление) только активную мощность ресурсов.

2. Бинарные отношения конфликтного типа ТП "время-длина" имеют нулевой коэффициент мощности, что говорит о неразрешимости ТП из-за не реализуемости идеальной системы.
3. Наиболее близкими к ФП по коэффициенту мощности являются ТП типа "температура-давление" и "время-давление".

3.3. Исследование устойчивости мышления на трендах

Поиск решения изобретательской задачи на трендах или линиях развития давно и широко используется в ТРИЗ, в частности, при прогнозировании по законам развития технических систем. Тренд задается некоторой последовательностью элементов, обладающих некоторой общностью, а движение по тренду определяет направление развития.

В этом случае элементы, составляющие тренд, можно рассматривать как некоторые состояния равновесия, опорные точки, задающие магистраль движения. Самым известным трендом, положенным в основу алгоритма решения изобретательских задач (АРИЗ), является линия «АП—ТП—ФП—ИКР» (административное, техническое, физическое противоречия, идеальный конечный результат). Движение по этому тренду есть проявление известного закона диалектики - перехода количественных изменений в качественные. Конкретизация, нарастание и обострение противоречий приводит к их разрешению, т.е. к решению изобретательской задачи.

Из пространственных трендов наиболее часто используется последовательность «точка—линия—поверхность—объем». В этом тренде проявляются несколько законов развития технических систем, в частности, согласования-рассогласования, свертывания-развертывания. Например, развитие взаимодействия пары инструмент-изделие можно рассматривать по виду контакта между ними. Точечный контакт - это обтачивание детали простым резцом, фасонный резец дает контакт по линии, объемная штамповка – это контакт по поверхности, химическая и термообработка, выращивание кристаллов – объемный контакт.

Хорошо известно, что состояния равновесия бывают устойчивыми и неустойчивыми. Будем считать, что последовательное движение по тренду от устойчивого состояния к устойчивому будет устойчивым развитием. Например, таким движением будет развитие по линии «АП—ТП—ФП», поскольку модель решения изобретательской задачи остается в рамках

противоречий. Хотя типы противоречий и меняются, но они не разрешены, решение не получено. Сохраняется постепенность развития.

Переход от устойчивого состояния равновесия к неустойчивому состоянию нарушает устойчивость тренда. Этим и характерен переход от ФП к ИКР, когда нарушается постепенность развития. Поэтому можно сказать, что ИКР, как некоторый результат разрешения противоречий, является состоянием неустойчивого равновесия. Его невозможно реализовать.

Поставим следующую задачу: математически выяснить, сколько устойчивых элементов последовательности должен иметь тренд развития до появления неустойчивого элемента. Наиболее просто эта задача решается для движения по трендам в LT-таблице Р.О. Бартини.

Возможно это потому, что элементы любого тренда в LT-таблице имеют два атрибута, заданных математически. Первый, являющийся на тренде постоянным, определяет отношение элемента к данному тренду или семейству. Второй атрибут определяет номер поколения элемента и является переменным при движении по тренду.

Например, пространственным трендом является строка $L^m T^4$ от $m=4$ до $m=1$ «сила — поверхностное натяжение — давление — градиент давления» (синяя стрелка на рис. 3.12).

	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5
T^{-5}	L^0T^{-5}	L^1T^{-5}	L^2T^{-5}	Поверхн. мощность	L^4T^{-5}	Мощность
T^{-4}	L^0T^{-4}	Градиент давления	Давление	Поверхн. натяжение	Сила	Энергия Температура
T^{-3}	L^0T^{-3}	Плотность потока	Напряженность эл. - магн. поля. Вязкость	Ток.	Импульс	L^5T^{-3}
T^{-2}	Угловое ускорение.	Линейное ускорение	Разность потенциалов	Масса. Кол-во электричества	Магнитный момент	Момент инерции
T^{-1}	Частота. Угловая скорость	Линейная скорость	Обильность двумерная	Расход объемный	Скорость смещения объема	L^5T^{-1}
T^0	Угол. Константа	Длина. Емкость. Самоиндукция	Поверхность	Объем	Момент инерции плоской фигуры	L^5T^0
T^1	Период. Продолжительность	Длительность расстояния	L^2T^1	L^3T^1	L^4T^1	L^5T^1

Рис.3.12. Примеры трендов: пространственных, временных и СВПР

Такой тренд задает пространственное распределение силы по тренду «объем — поверхность — линия — точка». Постоянным атрибутом тренда является 4 гена времени, так как $n = -4 = \text{Const}$, а переменным — количество генов длины m .

Из временных трендов можно выделить тренд «период — угол — угловая скорость — угловое ускорение» или столбец L^0T^n от $n=1$ до $n=-2$ (зеленая стрелка на рис. 3.12). Здесь угол является безразмерной величиной, измеряемой в радианах, и давно служащей человеку как представление о конкретной величине времени, вспомним хотя бы циферблат механических часов. Постоянным атрибутом тренда является 0 генов длины времени, так как $m = 0 = \text{Const}$, а переменным — количество генов времени n .

На диагональных трендах физические размерности свойств ВПР образуют геометрическую прогрессию со знаменателем, равным размерности линейной скорости $[V] = [L^1 T^{-1}]$. Рассмотрим, например, диагональный тренд $L^m T^n$, $m=n$, от $m=0$ до $m=5$ «угол — линейная скорость — разность потенциалов — ток — сила — мощность» (красная стрелка на рис. 3.12). Его можно рассматривать как опорные точки развития наших представлений о работе такой технической системы как вращающаяся электрическая машина (рис.3.13).

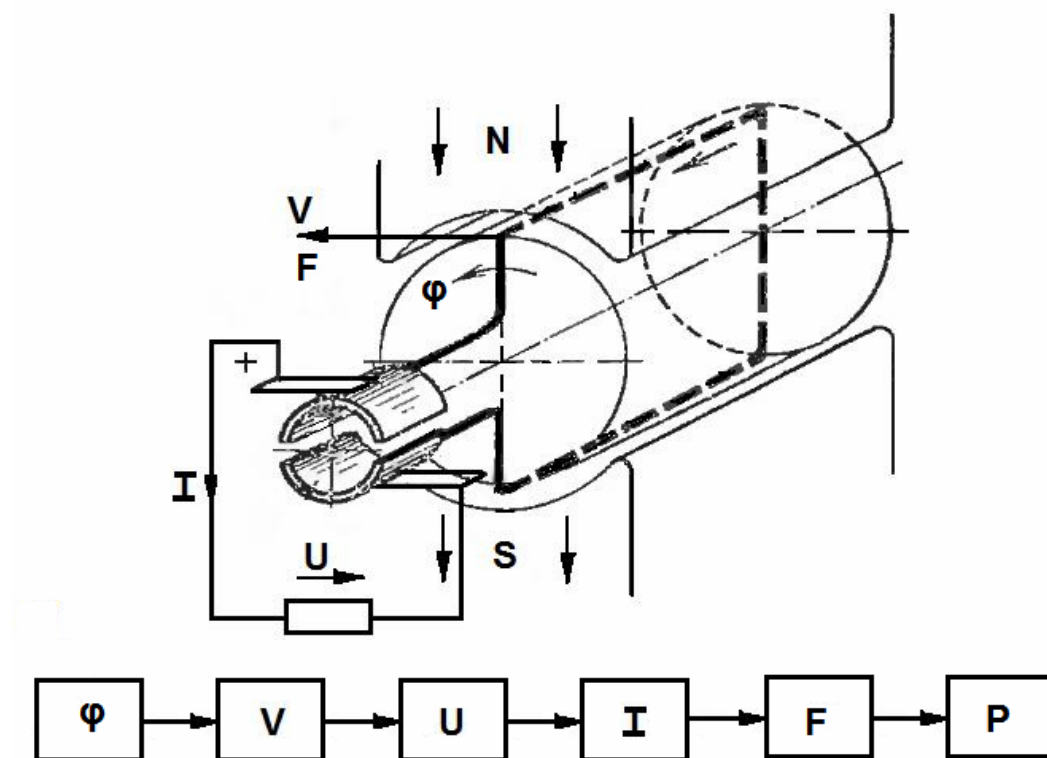


Рис.3.13. Электрическая машина и тренд развития представлений о ней

Действительно, первая ступень - это угол ϕ поворота (вращения) проводника в магнитном поле. Вторая ступень – это представление о том, что вращение происходит с линейной скоростью V . Следующее представление – возникновение на концах проводника разности потенциалов U . Далее, при замыкании проводника в нем появляется электрический ток I . Ток обладает силовым воздействием F . Сила F , умноженная на линейную скорость V вращения проводника, дает мощность P , развиваемую электрической машиной.

Таким образом обычно описывается работа вращающейся электрической машины, так мы воспринимаем своим мышлением её работу и понимаем её суть. Обратим внимание, что развитие идет от механических полей к электрическим и магнитным полям, также как исторически развивалась техника по аббревиатуре MaTXЭМ.

Уже указывалось в разделе 3.1.2., что стационарное состояние тренда, определяемое равенством $[L^m T^n] = \text{Const}$, выражает тот или иной физический закон сохранения. Законы сохранения, сформулированные человеком, отражают объективную реальность физического мира, и это отражение запоминается сознанием человека как некоторое представление о физических свойствах предметов. Тогда при поиске нового решения, передвигаясь по тренду от одной клетки к другой, соседней клетке таблицы Р.О. Бартини, мы меняем в своем мышлении представление о том, каким физическим свойством должно обладать новое решение. Следовательно, движение по тренду есть не только некоторая ресурсная модель развития системы по законам развития технических систем, но и некоторая модель мышления в процессе поиска ответа. Только модель мышления представлена в «быстром» времени, поскольку определяется психологической инерцией изобретателя, а модель развития системы представлена в «медленном» или реальном времени. Получим простую математическую модель движения по трендам и исследуем ее устойчивость.

3.3.1. Математическая модель движения по трендам

Обозначим представление некоторой физической величины по ее размерности через переменную $x(t)$, где t – текущее время. Рассмотрим изменение представления $x(t)$ при движении по временному тренду $L^m T^n$ от $n = 0$ до $n = -4$, $m = \text{Const}$. Заметим, что $x(t)$ в клетке $L^m T^n$ при движении в соседнюю клетку $L^m T^{n-1}$ трансформируется в представление линейной скорости изменения этой физической величины, поскольку деление на T в дискретной области соответствует дифференцированию в непрерывном времени. В следующей клетке представление трансформируется в линейное ускорение и т.д. Предположим, что изменение представления $x(t)$ от клетки к клетке описывается в операторном виде линейным дифференциальным уравнением

$$(3.9) \quad a_0 \cdot p^n x(p) + a_1 \cdot p^{n-1} x(p) + a_2 \cdot p^{n-2} x(p) + a_3 \cdot p^{n-3} x(p) + a_4 \cdot p^{n-4} x(p) = 0,$$

где p – оператор дифференцирования по времени. Уравнение (3.9) описывает собственное движение (смену) представления от некоторых ненулевых начальных условий. Если, например, $x(0)$ есть наше представление о понятии длины в начальный момент времени, тогда

$dx/dt(0)$ будет нашим представлением о понятии линейной скорости в начальный момент времени и т.д.

Коэффициенты уравнения a_i , $i=0,1,2,\dots$, определим из условия выравнивания размерностей слагаемых в (3.9)

$$a_i = L^m T^{n-i} . \quad (3.10)$$

Подставляя (3.10) в (3.9) и сокращая на $x(t)$, получаем характеристическое уравнение

$$L^m T^n \cdot p^n + L^m T^{n-1} \cdot p^{n-1} + L^m T^{n-2} \cdot p^{n-2} + L^m T^{n-3} \cdot p^{n-3} + L^m T^{n-4} \cdot p^{n-4} = 0, \quad (3.11)$$

коэффициенты которого представляют элементы рассматриваемого временного тренда в базисе Р.О. Бартини. По корням характеристического уравнения (3.11) можно исследовать устойчивость собственного движения по тренду. Если корни уравнения (3.11) получаются отрицательными, движение по тренду устойчиво. Следовательно, смены устоявшихся представлений не происходит.

Схема моделирования уравнения (3.9) с учетом выражения (3.11) на основе интеграторов представлена на рис.3.14. Как видно, модель представляет собой структуру типа стека в виде цепочки интеграторов, охваченных отрицательными обратными связями. Деление на постоянную времени T в дискретной области можно рассматривать как дифференцирование в непрерывной области. Поэтому в пределе, при T , стремящейся к нулю, коэффициенты в обратных связях превращаются в дифференциаторы, а вся структура - в цепочку последовательно соединенных интеграторов без обратных связей. При $T=0$ психологическая инерция мышления отсутствует.

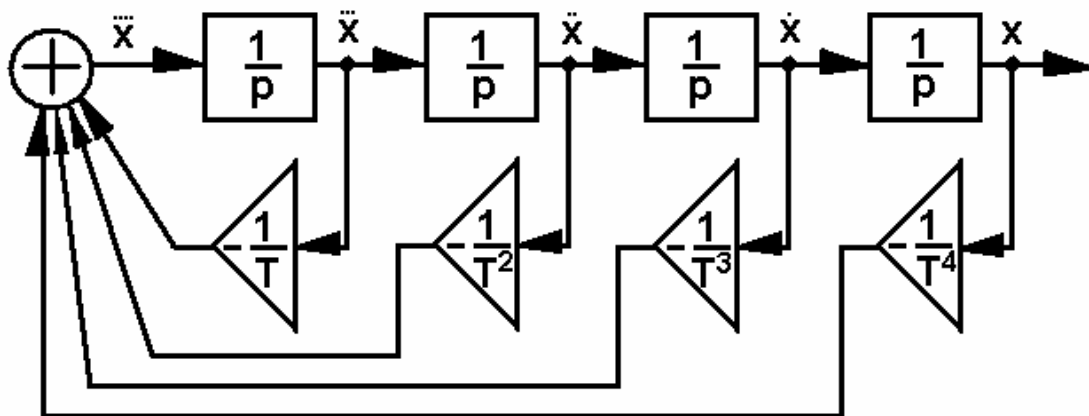


Рис.3.13. Схема моделирования временного тренда в интегральном базисе

Схема моделирования уравнения (3.9.) в дифференциальном базисе представлена на рис.3.14. Она также представляет собой структуру типа стека в виде цепочки дифференциаторов, охваченных отрицательными обратными связями. Умножение на постоянную времени T в дискретной области можно рассматривать как интегрирование в непрерывной области. Тогда в пределе, при психологической инерции мышления, стремящейся к нулю, коэффициенты в обратных связях превращаются в интеграторы, а вся

структура - в цепочку последовательно соединенных дифференциаторов без обратных связей.

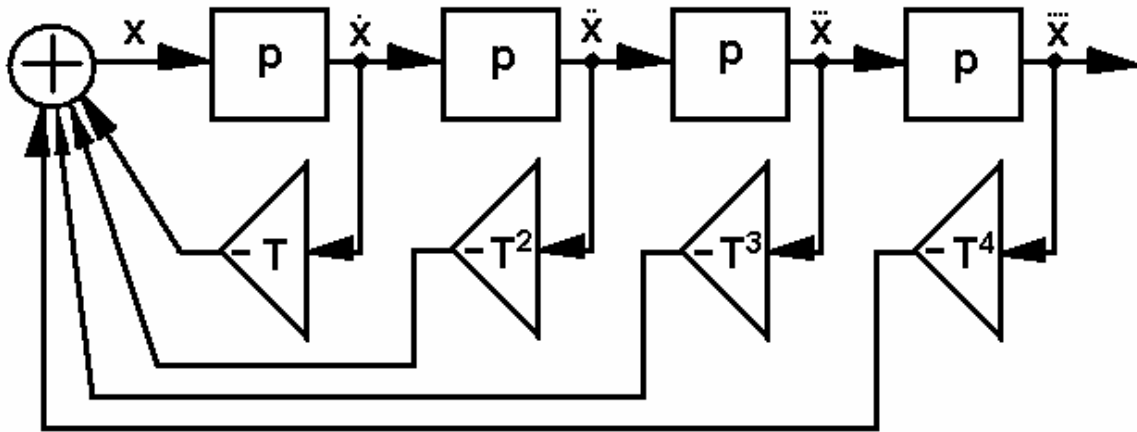


Рис.3.14. Схема моделирования временного тренда в дифференциальном базисе

Исследуем устойчивость изменения представления физической величины при движении по временному тренду на одну клетку вверх. В этом случае дифференциальное уравнение изменения представления физической величины $x(t)$ в операторном виде будет следующим

$$L^m p x(p) + L^m T^1 x(p) = 0. \quad (3.12)$$

Для (3.12) находим характеристическое уравнение $p + T^{-1} = 0$ и его корень $p = -1/T$. Так как корень получился отрицательным, то решение устойчиво и представляет собой экспоненту. Величина T может рассматриваться как постоянная времени психологической инерции мышления. Запас устойчивости, который необходимо преодолеть для

смены представления, равен расстоянию от корня до границы устойчивости, т.е. $1/T$.

Аналогично получаем уравнение движения от исходной клетки уже на две клетки вверх и его характеристическое уравнение

$$L^m T^0 p^2 + L^m T^1 p + L^m T^2 = 0. \quad (3.13)$$

Корни в (3.13) получаются комплексно-сопряженными $p_{1,2} = -1/(2T) \pm j \cdot 0.866/T$, где j - мнимая единица. Так как вещественное значение корней получилось отрицательным, то решение устойчиво, и представляет собой синусоиду, затухающую по экспоненте. Психологический барьер старого представления снизился в два раза по сравнению с предыдущим случаем, в мышлении появились колебания, раскочка инерции.

При движении по трем элементам тренда имеем характеристическое уравнение

$$L^m T^0 p^3 + L^m T^1 p^2 + L^m T^2 p + L^m T^3 = 0. \quad (3.14)$$

Уравнение (3.14) имеет один вещественный отрицательный корень $p_1 = -1/T$ и два чисто мнимых корня $p_{2,3} = \pm j / T$. Можно сказать, что в установившемся состоянии мышление находится на колебательной границе устойчивости, в режиме автоколебаний с частотой $1/T$. Колебания неустойчивы, мышление готово к смене представления.

Наконец, при движении по тренду с четырьмя элементами получаем характеристическое уравнение (3.11) при $n=4$, которое исследуем на устойчивость по критерию Гурвица. Уже старший определитель Гурвица получается отрицательным и равным $-1/T^6$. Следовательно, движение теряет устойчивость, старое представление разрушается, и возникает новое.

Можно показать, что аналогичные результаты получаются как для горизонтальных, так и для диагональных трендов, при движениях как слева направо, так и наоборот.

3.3.2. Пример смены представлений

Рассмотрим пример из изобретательской практики, в котором происходит смена представлений. На одном из изобретательских форумов

[43] интернета рассматривалась задача о развитии автобуса, и была предложена одна из возможных моделей развития в виде технического противоречия. Техническое противоречие сформулировано следующим образом: если автобус длинный, то он более вместимый, но менее маневренный, если автобус короткий, то он более маневренный, но менее вместимый.

Таким образом, основной физической величиной, представляющей модель автобуса в мышлении, является его длина. Длина также определяет основные представления о технических характеристиках автобуса: вместимости, которая измеряется числом пассажиров, и маневренности, которая может быть измерена радиусом циркуляции.

В качестве возможного разрешения технического противоречия один из участников форума предложил сделать салон автобуса телескопическим. Развивая эту идею, другой участник, скорее в шутку, предложил контейнер-мусоровоз со шнековым уплотнением мусора. Следовательно, в процессе обсуждения на форуме сменилось представление об объекте изобретательства: автобус трансформировался в мусоровоз. Сменилось и представление о технических характеристиках, вместо маневренности и вместимости основными характеристиками мусоровоза являются грузоподъемность и степень сжатия, уплотнения мусора.

Реконструируем процесс смены представлений, взяв на основу движение по временному тренду Р.О. Бартини L^1T^n . Найдем в LT-таблице исходное состояние - клетку с размерностью длины L^1T^0 . Теперь будем осуществлять поиск новых решений. Так как длина L^1 зафиксирована, то двигаться можно или вниз или вверх по столбцу L^1T^n . Пойдем наверх (рис. 3.15), поскольку наверху имеются весьма привлекательные свойства: градиент давления и просто давление. Они-то нам и нужны для получения мусоровоза с уплотнением.

D.	L^0	L^1	L^2	
T^{-4}	$L^0 T^{-4}$	Градиент давления	Давление Напряжение	характеристика свойства мусоровоза
T^{-3}	$L^0 T^{-3}$	Плотность потока	Напряженность эл.-магн. поля Вязкость	
T^{-2}	Угловое ускорение Массовая плотность	Линейное ускорение	Разность потенциалов	
T^{-1}	Частота Угловая скорость	Линейная скорость	Обильность двумерная	смена представлений
T^0	Безразмерная величина Константа Угол	Длина	Поверхность (площадь)	характеристика свойства автобуса
T^1	Период	Длительность расстояния	$L^2 T^1$	

Рис.3.15. Смена представлений на временном тренде

Делаем один шаг вверх, умножая размерность $L^1 T^0$ на T^{-1} . Попадаем в клетку "линейная скорость" $L^1 T^{-1}$. Значит, длина, оставаясь длиной ($L^1 = \text{Const}$), должна приобрести свойство линейной скорости. Именно длина, а не автобус, должна линейно перемещаться. Следовательно, должно быть какое-то устройство, реализующее функцию перемещения длины. По ассоциации в мышление приходит решение типа телескопического автобуса. Обратим внимание, что пассажиры автобуса в этой ассоциации никак не возникли.

Делаем еще шаг на одну клетку вверх. Попадаем в клетку $L^1 T^{-2}$ "линейное ускорение". Ассоциация возникает сразу же: закон Ньютона $F=ma$. Ясно, что здесь a - линейное ускорение, а откуда берется масса m ? Очевидно, впервые появляется представление о пассажирах, имеющих массу m , и о силе F , начинающей на них давить.

Еще один шаг по тренду вверх. Попадаем в клетку $L^1 T^{-3}$ "плотность потока". Пассажиры уже образуют поток, движение их внутри автобуса вдоль его длины, но еще есть какие-то промежутки длины между ними.

Наконец, клетка $L^1 T^{-4}$ - "градиент давления". Уже образовалась разность давлений по длине автобуса, т.е. давление неравномерное: где-то пассажиры уже испытывают давление, но еще есть сколько-то места для

дальнейшего уплотнения. В принципе, это состояние уже можно считать мусоровозом с уплотнением.

Таким образом, до третьего шага тренда представление об автобусе в мышлении сохраняется. Переход к четвертому шагу нарушает устойчивость представления об автобусе и о его технических характеристиках, происходит смена представления – появляется мусоровоз с другим типом технических характеристик.

Если формулировать процесс смены в элементарных функциях, то можно образно выразиться следующим образом: цепочка из трех последовательно следующих интеграторов или дифференциаторов образует модель передачи наследственной информации о прототипе изобретения следующему по тренду, четвертому интегратору или дифференциатору соответственно. Только интеграторы запоминают новую информацию, а дифференциаторы стирают старую. Возникновение нового представления имитируется процессом потери устойчивости старого представления.

3.4. Генетические алгоритмы в изобретательской задаче

Генетические алгоритмы [44] и алгоритм решения изобретательских задач связывает общее происхождение из эволюционной теории. Генетические алгоритмы используются для поиска оптимального решения путем естественного отбора и наследования. Поиск ответа в АРИЗ представляет собой процесс зарождения, развития и разрешения противоречий. Исходными данными в обоих случаях является изобретательская ситуация, но АРИЗ относится к направленным методам поиска решения, а генетические алгоритмы имеют случайную составляющую.

Как указывает Г.С.Альтшуллер, "изобретательская ситуация представляет собой клубок сложных проблем, и нужно каким-то образом выделить из этого клубка единственно правильную задачу". Правильная задача отыскивается в наиболее "узком" месте этого клубка, там, где выявляется наиболее обостренное противоречие неравномерного развития. Математически модель противоречия [1] задается системой двух нелинейных дифференциальных уравнений, образующих компенсационный гомеостат. В режиме поиска решения, т.е. Х-элемента, гомеостат проходит хаотическую стадию (раздел 2.2.2.). На этой стадии Х-элементу передается наследственная информация от конкурирующих сторон, приводящая к разрешению противоречия.

Однако не всегда удастся успешно выявить "узкое" место в изобретательской ситуации. Кроме того, таких "узких" мест может быть несколько. Поэтому наряду с направленным методом поиска необходим некоторый перебор вариантов. В этом случае дополнение АРИЗ генетическими алгоритмами поиска представляет собой перспективное и актуальное направление.

Для использования генетического алгоритма необходимо иметь набор некоторых элементов или популяцию, в которой путем селекции отбираются лучшие элементы. Элементы или особи популяции должны иметь математическое описание, пригодное для механизма селекции, при действии которого (механизма) выбираются эти лучшие элементы.

Будем полагать, что в результате анализа изобретательской ситуации получена потоковая структурная модель (раздел 1.3.2.), отражающая преобразование энергии и информации структурой. Элементы этой структуры называются веществами, а взаимодействия между ними - полями. Зададим свойства веществ и полей через некоторые величины, которые могут быть измерены в подходящей физической системе единиц. Например, мембрана, преобразующая внешнее поле давления в прогиб, может быть задана физической величиной - жесткостью, прогиб может быть измерен единицами длины, а давление - силой, приходящейся на единицу площади поверхности мембраны.

Тогда свойства веществ и полей потоковой структурной модели можно выбрать за элементы или особи популяции, математически описываемые физическими размерностями соответствующих свойств в ЛТ-базисе Р.О. Бартини. Скрещивая альтернативные свойства, образующие противоречия исходной потоковой модели, будем искать физические свойства X-элементов, разрешающих эти противоречия. Операцией скрещивания особей будет умножение соответствующих физических размерностей. Однако если традиционно рассматривается одно, ключевое, противоречие, то в генетическом алгоритме их участвует десятки и сотни, что позволяет вовлечь в процесс решения множество факторов и ресурсов, имеющихся в задаче.

Поиск физических свойств решений при помощи генетического алгоритма зададим следующей последовательностью операций.

1. Описание изобретательской ситуации
2. Синтез потоковой информационно-энергетической структурной схемы
3. Выбор факторов системы, влияющих на потребительские характеристики задачи.
4. Кодирование факторов с помощью ЛТ-таблицы Р.О. Бартини.

5. Создание исходной популяции факторов.
6. Расчет функций приспособленности факторов.
7. Проверка условия завершения генетического алгоритма.

Если условие не достигнуто, то продолжается селекция факторов, скрещивание и мутация, а затем создание новой популяции.

Если условие достигнуто, то выбирается лучший фактор для решения задачи и выход из алгоритма.

8. Переход к шагу 6.

Генетический алгоритм начинается с шага 4 - кодирования факторов. Кодирование факторов означает, что особям (факторам) присваиваются физические размерности из LT-таблицы. Кроме того, для каждой особи должна рассчитываться функция приспособленности, позволяющая определить, какая физическая размерность более или менее подходит для решения поставленной задачи. Функцию приспособленности выбираем исходя из условия конкретной задачи. Для принятия решения рассчитаем родительский тренд, и по таблице Р.О. Бартини найдем с помощью генетического алгоритма ту физическую размерность, которая находится на родительском тренде и имеет наибольшую среди особей этого тренда функцию приспособленности.

В качестве примера поиска решений рассмотрим изобретательскую задачу о запайке ампулы с лекарством, изобретательская ситуация для которой описана в разделе 3.1.1.

Составим простейшую структурную потоковую схему преобразования энергии и информации (рис. 3.16).



Рис.3.16. Информационно-энергетическая потоковая схема для задачи о запайке ампулы

По схеме определяем, какие вещества и поля следует учитывать при решении задачи, а затем, - какие ресурсы (факторы) выбрать для описания этих веществ и полей. Чем больше факторов мы выберем, тем больше информации о задаче получит алгоритм поиска, и тем эффективнее он будет работать. В этом отличие генетического алгоритма от АРИЗ. АРИЗ строит модель задачи в виде противоречия для одного, «узкого» места

структуры. Например, в рассматриваемой задаче «узкое» место – это пара пламя-ампула (лекарство), все остальные вещества и поля с их свойствами исключаются из модели. Хорошая запайка оценивается длиной оплавленной части капилляра, а порча лекарства - температурой пламени. Скрещивание двух факторов - длины и температуры дает лишь один родительский тренд.

Использование же генетического алгоритма позволяет использовать структурную модель более широко, предположив в ней наличие многих противоречий в виде бинарных отношений свойств веществ и полей. Благодаря этому появляется несколько родительских трендов. Если скрещивание выводит особь на нереализуемый в трехмерном пространстве тренд, то она (особь) скрещивается с третьим фактором, возвращающим потомка на реализуемый тренд, т.е. в этом случае используются уже тернарные отношения между свойствами.

Выберем следующие факторы, разнородно влияющие на качество запайки ампулы:

1. температура пламени;
2. температура лекарства;
3. давление в горелке;
4. объем ампулы;
5. длина (высота) ампулы;
6. длина капилляра ампулы;
7. длина (диаметр) сопла горелки;
8. длина (толщина) стенок ампулы;
9. теплоемкость стекла;
10. время запайки.

Теперь эти факторы мы должны скрестить. Для этого разобьем факторы попарно и логически перемножим их физические размерности по формуле (3.3). Результат приведен в табл. 9.

Таблица 9 – Факторы, влияющие на запайку ампулы

Входной фактор, x	Входной фактор, y	Выход, z	Сумма показателей степеней $m+n$
Длина, $L^1 T^0$	Длина, $L^1 T^0$	$L^2 T^0$	2
Длина, $L^1 T^0$	Время, $L^0 T^1$	$L^1 T^1$	2
Время, $L^0 T^1$	Время, $L^0 T^1$	$L^0 T^2$	2

Время, L^0T^1	Температура, L^5T^4	L^5T^3	2
Длина, L^1T^0	Температура, L^5T^4	L^6T^4	2
Температура, L^5T^4	Температура, L^5T^4	$L^{10}T^8$	2
Давление, L^2T^4	Теплоемкость, L^0T^2	L^2T^6	-4
Объем, L^3T^0	Длина, L^1T^0	L^4T^0	4

Расчет показал, что родительский тренд для задачи о запайке ампул – это голубой нижний тренд ВПР на рис. 3.7. Как видно, имеются и другие родительские тренды, полученные перемножением тех или иных факторов. Как указывалось выше, это говорит о том, что в задаче действует целый ряд противоречий, которые можно успешно использовать для решения, введя в них дополнительный фактор из имеющихся в структурной модели.

Далее нам следует определить, какой из ресурсов на родительском тренде может дать наиболее эффективное решение задачи. Для поиска решения воспользуемся генетическим алгоритмом.

На первом шаге производится инициализация, или выбор исходной популяции особей (таблица 10, второй столбец). В нашей задаче особями являются физические размерности LT-таблицы (таблица 3). Нам предстоит в ходе искусственной эволюции выбрать среди них наилучшую с точки зрения решения поставленной задачи.

Необходимо определить функцию приспособленности каждой особи (таблица 10, третий столбец). Для этого присвоим каждой из них некоторую «ценность», выраженную числом в диапазоне от единицы до пяти. Чем больше число, тем более приспособленной является особь. Очевидно, факторы, непосредственно влияющие на запайку ампулы, обладают наиболее «сильной» наследственной информацией, поэтому их и надо поощрять. Придадим им максимальную «ценность» – пять баллов. Остальные ресурсы пока не несут какой-либо наследственной информации, поэтому оценим их единицей. Анализироваться будут только те величины, которые в таблице имеют физическое определение.

Таблица 10. Исходная популяция особей

Номер особи	Особь	Функция приспособленности	Сектор $v(ch_i)$, %	Границы секторов $v(ch_i)$, %
1	L^3T^{-5}	1	1,72	1,72
2	L^5T^{-5}	1	1,72	3,45
3	L^1T^{-4}	1	1,72	5,17
4	L^2T^{-4}	5	8,62	13,79
5	L^3T^{-4}	1	1,72	15,52
6	L^4T^{-4}	1	1,72	17,24
7	L^5T^{-4}	5	8,62	25,86
8	L^1T^{-3}	1	1,72	27,59
9	L^2T^{-3}	1	1,72	29,31
10	L^3T^{-3}	1	1,72	31,03
11	L^4T^{-3}	1	1,72	32,76
12	$L^{-1}T^{-2}$	1	1,72	34,48
13	L^0T^{-2}	5	8,62	43,10
14	L^1T^{-2}	1	1,72	44,83
15	L^2T^{-2}	1	1,72	46,55
16	L^3T^{-2}	1	1,72	48,28
17	L^4T^{-2}	1	1,72	50,00
18	L^5T^{-2}	1	1,72	51,72
19	$L^{-1}T^{-1}$	1	1,72	53,45
20	L^0T^{-1}	1	1,72	55,17
21	L^1T^{-1}	1	1,72	56,90
22	L^2T^{-1}	1	1,72	58,62
23	L^3T^{-1}	1	1,72	60,34
24	L^4T^{-1}	1	1,72	62,07
25	$L^{-1}T^0$	1	1,72	63,79
26	L^0T^0	1	1,72	65,52

Номер особи	Особь	Функция приспособленности	Сектор $v(ch_i)$, %	Границы секторов $v(ch_i)$, %
27	L^1T^0	5	8,62	74,14
28	L^2T^0	1	1,72	75,86
29	L^3T^0	5	8,62	84,48
30	L^4T^0	1	1,72	86,21
31	$L^{-1}T^1$	1	1,72	87,93
32	L^0T^1	5	8,62	96,55
33	L^1T^1	1	1,72	98,28
34	L^0T^2	1	1,72	100,00

Далее проверяется условие остановки алгоритма. Примем, что для нашего примера поиска необходимо сделать 5 итераций. Поскольку для исходной популяции ни одного шага алгоритм еще не сделал, то условие остановки не выполнено.

Тогда на следующем этапе необходимо провести селекцию особей для скрещивания. Селекция заключается в выборе (по рассчитанным на предыдущем этапе значениям функции приспособленности) тех особей, которые будут участвовать в создании потомков для следующей популяции, т.е. для очередного поколения. Такой выбор производится согласно принципу естественного отбора, по которому наибольшие шансы на участие в создании новых особей имеют особи с наибольшими значениями функции приспособленности.

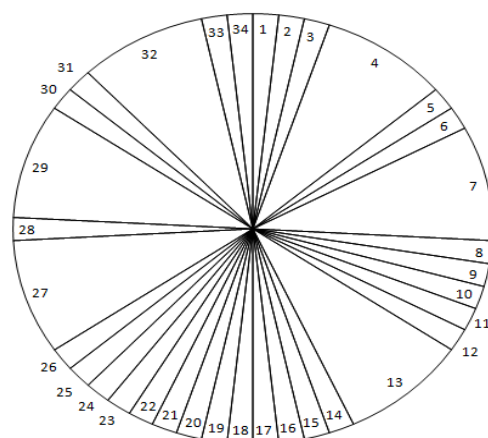


Рис.3.17. Распределение секторов рулетки для всех особей исходной популяции

В данной задаче для селекции был использован метод рулетки. Каждой особи может быть сопоставлен сектор колеса рулетки, величина которого устанавливается пропорциональной значению функции приспособленности данной особи. Поэтому чем больше значение функции приспособленности, тем больше сектор на колесе рулетки.

Все 360 градусов колеса соответствуют сумме значений функции приспособленности для всех особей популяции. Каждой особи, обозначаемой ch_i , $i = 1, 2, \dots, N$ (где N обозначает численность популяции), соответствует сектор колеса $v(ch_i)$, выраженный в процентах согласно формуле:

$$v(ch_i) = p_s(ch_i) \cdot 100\%, \quad (3.15)$$

где

$$p_s(ch_i) = \frac{F(ch_i)}{\sum_{i=1}^N F(ch_i)}, \quad (3.16)$$

причем $F(ch_i)$ – значение функции приспособленности особи ch_i , а $p_s(ch_i)$ – вероятность селекции особи ch_i . Селекция особи может быть представлена как результат поворота колеса рулетки, поскольку «выигравшая» (т.е. выбранная) особь относится к выпавшему сектору этого колеса. Очевидно, что чем больше сектор, тем больше вероятность «победы» соответствующей особи. Поэтому вероятность выбора данной особи оказывается пропорциональной значению ее функции приспособленности. Если всю окружность колеса рулетки представить в виде цифрового интервала $[0, 100]$, то выбор особи можно отождествить с выбором числа из интервала $[a, b]$, где a и b обозначают соответственно начало и окончание фрагмента окружности, соответствующего этому сектору колеса; очевидно, что $0 < a < b < 100$. В этом случае выбор с помощью колеса рулетки сводится к выбору числа из интервала $[0, 100]$, которое соответствует конкретной точке на окружности колеса.

Согласно описанному методу для каждой особи текущей популяции (в нашем случае – исходной популяции) получаем секторы колеса рулетки, выраженные в процентах (таблица 10, четвертый столбец).

Приведем пример расчета сектора колеса рулетки $v(ch_1)$ для первой особи популяции L^3T^{-5} . Вычислим сумму функций приспособленности всех особей популяции: $\sum_{i=1}^{34} F(ch_i) = 58$. Далее рассчитаем вероятность селекции первой особи по формуле (3.16): $p_1(ch_1) = \frac{1}{58} \approx 0,0172$. Сектор $v(ch_1)$ колеса рулетки, соответствующий первой особи, по формуле (3.15) равен:

$\nu(ch_1) = 0,0172 \cdot 100\% = 1,72\%$. Аналогичный расчет делаем для всех остальных особей популяции. Результаты приведены в четвертом столбце таблицы 3. То есть мы последовательно отмеряем каждой особи ее часть на колесе рулетки. Распределение секторов по колесу рулетки приведено на рис. 3.17, каждый сектор подписан соответствующим номером особи.

Розыгрыш с помощью колеса рулетки сводится к случайному выбору числа из интервала $[0, 100]$, указывающего на соответствующий сектор на колесе, т. е. на конкретную особь. Выберем из нашей популяции методом рулетки 34 пары особей. Поясним: пусть на рулетке выпадает число 61, оно располагается промежутке от 60,34 до 62,07, этому промежутку соответствует особь L^4T^{-1} – физическая размерность скорости смещения объема – это первая особь родительской пары. Далее разыгрываем рулетку снова, выпадает число 56, попадающее в промежуток от 55,17 до 56,90, что соответствует особи L^1T^{-1} – физическая размерность линейной скорости – вторая родительская особь. Таким образом, получили первую пару особей для скрещивания. Производим скрещивание по формуле:

$$L^{m3}T^{n3} = L^{m1}T^{n1} \cdot L^{m2}T^{n2}, \quad (3.17)$$

где $L^{m1}T^{n1}$ и $L^{m2}T^{n2}$ – родители, $L^{m3}T^{n3}$ – потомок.

Получаем потомка: $L^5T^{-2} = L^4T^{-1} \cdot L^1T^{-1}$ – физическая размерность момента инерции. В случае, если размерность потомка физически не реализуема, выбираем случайным образом в качестве потомка любую особь из исходной популяции с соответствующей функцией приспособленности.

Далее рассчитаем функцию приспособленности потомка по формуле:

$$f_n = \frac{f_1 + f_2 + f_{исх}}{3}, \quad (3.18)$$

где f_n – функция приспособленности потомка, f_1 и f_2 – функции приспособленности родителей, $f_{исх}$ – исходная функция приспособленности потомка.

Получаем функцию приспособленности рассматриваемого потомка: $\frac{1+1+1}{3} = 1$.

Аналогичным образом получаем 34 остальных потомка с соответствующими функциями приспособленности. Возможна ситуация, когда от разных родителей или при случайном выборе из исходной популяции появляются одинаковые потомки, в этом случае оставляется

только одна особь из группы совпадающих, а ее функция приспособленности вычисляется по формуле:

$$f_n = \frac{\sum_{k=1}^M f_k}{M}, \quad (3.19)$$

где f_n – результирующая функция приспособленности в группе совпадающих потомков, f_k – функция приспособленности k -го совпадающего потомка, M – общее количество совпадающих потомков.

Таким образом, каждая особь исходной популяции получила шанс передать свою наследственную информацию потомку, так и без изменений перейти в следующую популяцию. Особи-потомки являются новой популяцией, для которой снова по формулам (3.15) и (3.16) рассчитываем сектора рулетки, производим селекцию и скрещивание, т.е. осуществляем вторую итерацию алгоритма и аналогично последующие итерации.

После пяти итераций алгоритма наибольшую функцию приспособленности среди особей, расположенных на родительском тренде, имеет особь L^1T^1 , на втором месте L^3T^{-1} – объемный расход. В нашей задаче, решенной по АРИЗ, именно объемный расход является тем физическим свойством, которым обладает X-элемент одного из «хороших» решений: использование проточной воды для нейтрализации «плохого» действия пламени горелки. Возможно, что с увеличением итераций этот параметр выйдет на первое место по приоритету.

Общий эффект от использования генетического алгоритма для поиска решения в изобретательской задаче является положительным. Однако метод имеет существенный изъян – необходимость ранжировать физические размерности, т.е. в зависимости от задачи присваивать им те или иные баллы. В идеальном случае необходимо оперировать не числами, а попытаться найти закономерности, которые позволят математически более точно находить решения поставленных задач.

Литература

1. Бушуев А.Б. Математическое моделирование процессов научно-технического творчества. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 306 С.
2. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. – Петрозаводск: "Скандинавия", 2004. – 208 С.
3. Б.И. Голдовский Б.И., Вайнерман М.И. Рациональное творчество – М.: Речной транспорт, 1990. – 120 С.
4. Петров В., Злотин Э. Законы развития технических систем. Учебное пособие. – Тель-Авив, 1992.
5. Саламатов Ю.П. Топологический анализ исходных изобретательских ситуаций / Ю.П. Саламатов. – 7 с. – Деп. в ЧОУНБ 19.12.2002 № 2842.
6. Редько В.Г. От моделей поведения к искусственному интеллекту. Изд.2, стереот./ Науки об искусственном. – М.: URSS, 2010. – 456 С.
7. Горский Ю. М. Основы гомеостатики. (Гармония и дисгармония живых, природных, социальных и искусственных систем). Иркутск: Изд-во ИГЭА, 1998. – 337 С.
8. ди Бартини Р.О., Кузнецов П.Г. Множественность геометрий и множественность физик. // Материалы семинара "Кибернетика электроэнергетических систем". Брянск, 1974.
9. А.И. Половинкин. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 С.
10. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979. – 184 С.
11. Блайвас А.С., Филиппова Н.В., Штыков А.П. Датчик давления. Авт. св-во SU №1472773, 24.08.1987.
12. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Наука; 1983. – 344 С.
13. Г.С. Альтшуллер, Б.Л.Злотин, А.В.Зусман, В.И.Филатов. Поиск новых идей. От озарения к технологии. – Кишинев: Картя Молдовеняске, 1989. – 381 С.
14. Мешковский И.К. «Перестраиваемая оптическая система». Авт. св-во SU № 1111124, МКИ G02 D 3/14, заявл. 27.12.82 г.
15. Бушуев А.Б., Григорьев В.В., Мансурова О.К. Способ регулирования концентрации паров и устройство для его осуществления. Авт. св-во SU № 1654790, 02.01.1989 г.
16. Бушуев А.Б., Григорьев В.В., Мансурова О.К. Способ регулирования концентрации паров и устройство для его осуществления. Авт. св-во SU № 1481731, 17.11.1987 г.

17. Бушуев А.Б., Смирнов А.В., Чежин М.С.. Способ дозирования паров жидкости и дозатор паров жидкости. Авт. св-во SU № 1774181, 11.11.1991 г.
18. Бушуев А.Б., Смирнов А.В., Чежин М.С.. Способ дозирования паров и устройство для его осуществления. Авт. св-во SU № 1793242, 11.11.1990 г.
19. Бушуев А.Б., Григорьев В.В., Смирнов А.В. Способ регулирования давления газа и устройство для его осуществления. Авт. св-во SU № 1833850, 27.06.1991 г.
20. Быстров С.В., Бойков В.И., Бобцов А.А., Бушуев А.Б., Григорьев В.В. Пьезоэлектрический привод. Патент RU на полезную модель № 87043, 10.03.2009 г.
21. Бушуев А.Б., Чепинский С.А. Структурно-патентный анализ технических систем //TRIZfest-07 "Теория и практика решения изобретательских задач". Сб. докладов конференции. Москва, 2007. С. 240-246.
22. Эфрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка. М.: Наука; 1982. – 260 С.
23. Неймарк Ю.И. Математические модели естествознания и техники. Цикл лекций. Выпуск 1. — Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 1994. — 104 С.
24. Кудрин Б.И. Исследования технических систем как сообществ изделий-техноценозов. Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1980. – М.: Наука, 1981. – С.236–254.
25. Редько В.Г. Эволюции, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики. – М.: КомКнига, 2006. – 224 С.
26. Бушуев А.Б. Х-элемент: поиск, захват, слежение. Труды Международной конференции ТРИЗФЕСТ 2006// "Три поколения ТРИЗ". Россия. СПб. 2006. С. 310-317.
27. Bushuev A. Technical Contradiction Control on Invention Problem//The TRIZ Journal, December 2004.
28. Бушуев А.Б. Гомеостатика противоречий в ТРИЗ//Труды международной конференции «Развитие ТРИЗ: достижения, проблемы, перспективы». – СПб, РОО «ТРИЗ-Петербург», 2005. С. 103-109.
29. Чуличков А.И. Математические модели нелинейной динамики. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000. – 296 С.
30. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного.— М.: Мир, 1990.— 342 С.
31. Шабунин А.В., Демидов В.В., Астахов В.В., Анищенко В.С. Количество информации как мера синхронизации хаоса// Письма в ЖТФ.—2001. – том 27, вып.11.— С.78-85.

32. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. Москва - Ижевск: ИКС, 2003. – 320 С.
33. Эвелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции. Синергетический подход. – М.: УРСС, 2001. – 328 С.
34. Странные аттракторы: Сборник статей// Под ред. Я.Г.Синая и Л.П.Шильникова. – М.: Мир, 1981. – 253 С.
35. Бушуев А.Б., Чепинский С.А. Хаотические гомеостаты.//Изв. Вузов. Приборостроение, 2007. т.50, № 11, С.59-63.
36. Альтшуллер Г.С., Шапиро Р.Б. О психологии изобретательского творчества. // Вопросы психологии. – 1956, №6, С. 37-49.
37. ди Бартини Р.О. Некоторые соотношения между физическими константами.// Доклады Академии наук СССР. 1965. том 163, № 4. С.861-864.
38. Альтшуллер Г.С., Селюцкий А.Б. Крылья для Икара: Как решать изобретательские задачи. – Петрозаводск: Карелия, 1980. – 224 С.
39. <http://www.altshuller.ru/triz/technique1.asp>
40. Кузнецов О. Л., Большаков Б. Е. Устойчивое развитие: Научные основы проектирования в системе природа—общество—человек: Учебник. Санкт-Петербург — Москва — Дубна, 2001. 616 С.
41. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике. М.: Речной транспорт, 1990. – 150 С.
42. Бушуев А.Б. Векторный анализ ресурсов. Развитие инструментов решения изобретательских задач: Сборник трудов конференции. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ. В.2. – СПб., 2008. – 370 С.
43. «Автобус – противоречия развития». Форум сайта «METOTOLOG.RU», 2008. <http://www.metodolog.ru/node/19>
44. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, 432 С.