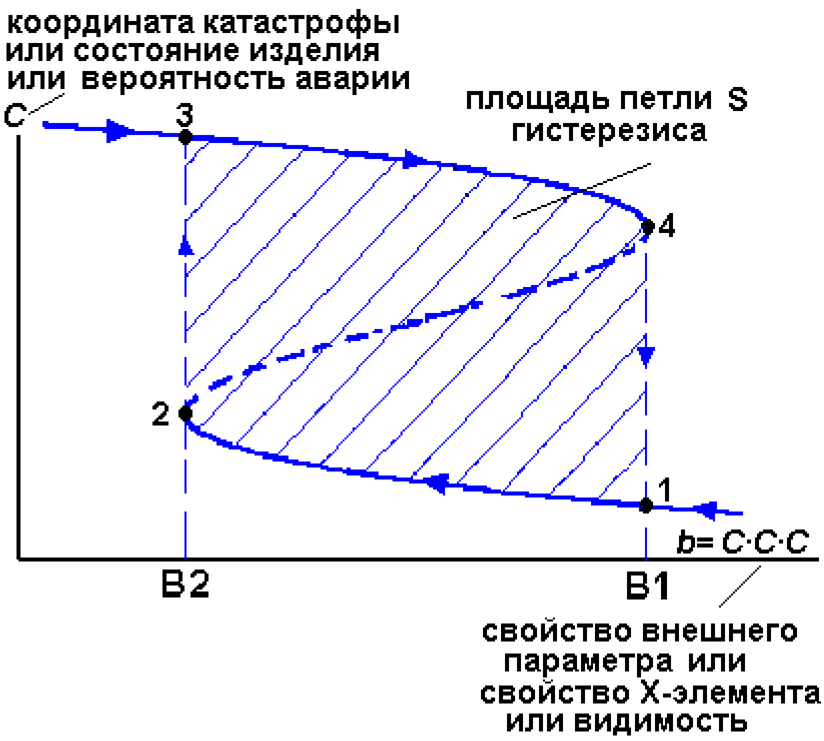
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.Б. Бушуев, Ю.В.Литвинов

Применение методов технического творчества в экономических и технических задачах

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Бушуев А.Б., Литвинов Ю.В

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА В ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО по направлениям подготовки 27.04.03, 15.04.06 , 27.04.04 в качестве учебного пособия для реализации основных образовательных программ высшего образования магистратуры

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2017

А.Б. Бушуев, Ю.В.Литвинов. Применение методов технического творчества в экономических и технических задачах – СПб, Университет ИТМО, 2017– 50 с.

Рецензенты:
Лямин А.В., к.т.н., доцент кафедры компьютерных образовательных программ Университета ИТМО.
Мансурова О.К., к.т.н., доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Санкт-Петербургского Горного Университета.

В учебном пособии рассмотрены методы системного анализа технических и организационно-экономических систем, основанные на едином подходе в рамках математической теории катастроф и теории решения изобретательских задач. Рассматривается модель так называемой «скоростной инновации» - скачкообразного изменения состояния фирмы, связанного либо с переходом к новой сфере деятельности, либо с банкротством. Для технических систем рассматривается задача аналитического поиска ресурсов при решении изобретательской задачи.

Учебное пособие может быть полезно для краткого первичного знакомства с основными положениями алгоритма решения изобретательских задач, и с некоторыми прикладными вопросами математической теории катастроф.

Рекомендовано к печати Экспертным советом Мегафакультета КТ и У, протокол №__5_от _04.12__2017 г

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО–ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 г статус национального исследовательского университета. С 2013 г Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентноспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как программа «5 в 100». Цель Университета ИТМО–становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

Оглавление

Предисловие

Цель пособия – показать, как можно простой математикой, на уровне студентов технических вузов, исследовать сложные процессы скачкообразных изменений в технических и экономических системах, и отыскивать ресурсы для этих изменений.

В первых двух разделах приводятся некоторые сведения из теории решения изобретательских задач, а также математической теории катастроф, необходимые для изучения последующих двух разделов. В частности, рассматривается укрупнено алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), понятия противоречий и ресурсы для их разрешения. В теории катастроф рассматривается каноническая катастрофа типа сборки, её бифуркационные диаграммы.

Третий раздел представляет собой оригинальный материал, в котором представлен анализ перехода производственно-экономической системы со старой на новую S-кривую развития как математическая катастрофа типа сборки. Установлена связь внутреннего и внешнего управляющих параметров катастрофы с объектами технического противоречия: инструментом и изделием, а также с X-элементом и идеальным конечным результатом. Подробно рассмотрен скачок инновации на примерах транспортной системы и производственной фирмы.

В четвёртом разделе представлен аналитический поиск физических свойств решения изобретательской задачи в базисе Бартини. Используется аппарат теории размерностей для кодирования физических свойств и нахождения кода нового решения на качественном уровне.

Оригинальным материалом являются исследования по нахождению численного решения в LT-базисе. Показано, что численное решение получается с точностью до постоянного множителя. Для его точного определения предлагается решение сводить к экстремальной задаче нелинейного программирования.

Введено понятие коэффициента полезного действия X-элемента, позволяющего оценивать работу изобретателя при решении задачи.

В приложении приведена таблица соотношений между физическими величинами в LT-системе Бартини и в системе СИ.

1. Некоторые сведения об алгоритме решения изобретательских задач

Авторами алгоритма решения изобретательских задач АРИЗ [1] являются советские ученые и исследователи Г.С.Альтшуллер и Р.Б. Шапиро. Первая их публикация АРИЗ появилась в 1956 г. в журнале «Вопросы психологии» № 6. В отличие от существовавших до того методов, АРИЗ относится к методам направленного поиска решения изобретательской задачи.

Изобретательская задача отличается от математической тем, что может иметь лишние исходные данные или не иметь некоторых данных необходимых для решения, а также иметь несколько ответов. В соответствии с известными законами диалектики (единства и борьбы противоположностей, перехода количественных изменений в качественные и отрицания отрицания) АРИЗ представляет собой цепочку последовательно обостряющихся противоречий: административное (АП) – техническое (ТП) – физическое (ФП) – идеальный конечный результат (ИКР) – решение задачи.

Процесс решения формируется решателем в виде этой цепочки, т.е. по сути, в виде словесной физико-диалектической модели. Модель описывает любую конкретную задачу на едином абстрактном уровне, затем на этом же уровне известными инструментами, образующими шаги АРИЗ, находится решение, которое и встраивается обратно в конкретную задачу.

Таким образом, можно оперировать одним алгоритмом с разными задачами. В то же время модели, формируемые разными решателями для одной и той же задачи, могут быть разными, поэтому и получается несколько решений. Это обстоятельство определяется тем, какие элементы задачи решатель выбирает противоречивыми. Первоначально АРИЗ создавался для технических задач, поэтому и термины противоречий пришли из техники.

АП – это противоречие между потребностью в решении задачи и отсутствием этого решения (нужно что-то сделать, но неясно как). Обычно это противоречие задается в виде так называемого нежелательного эффекта (НЭ), т.е. недостатка, который надо устранить. Например, есть потребность комфортно ездить в городском транспорте в часы пик, но она не решена, есть нежелательный эффект – «пробки» для индивидуального транспорта либо «давка» в общественном транспорте.

Следующее, более конкретное и обостренное противоречие – техническое. ТП отражает конфликт между свойствами или частями системы и проявляется в том, что при попытке улучшения одних свойств технической системы ухудшаются другие. Переход от АП к ТП может идти разными путями, один из них и должен выбрать решатель. Конкретика обостряет противоречие, значит, решение, по законам диалектики, становиться ближе. Из всего городского транспорта выберем, например, общественный, или более конкретно, пассажирский автобус. Его основные характеристики как транспортного средства – габариты, вместимость, скорость, дальность пробега с одной заправкой и некоторые другие. Если ставится задача комфортной перевозки, то можно ввести показатель комфортабельности, измеряемый, например, площадью салона автобуса, приходящейся на одно пассажира. Зависит комфортабельность от габаритов автобуса, чем больше автобус, тем комфортабельнее, может забрать всех пассажиров на остановке и перевести в комфортных условиях. Комфортабельность противоречит такому свойству автобуса как маневренность. Маневренность измеряется минимальным диаметром окружности, по которой автобус поворачивается на 360 градусов. Чем меньше габариты, тем меньше радиус, тем выше маневренность, зато меньше пассажиров может вместить автобус.

Техническое противоречие в АРИЗ формулируется в виде двух частей: ТП-1 и ТП-2 между двумя объектами системы, которые называются инструментом и изделием. ТП-1 отличается от ТП-2 разным состоянием инструмента. Например, выберем автобус инструментом.

Пусть в ТП-1 состояние инструмента – комфортабельный, а в ТП-2 маневренный автобус. Инструмент должен действовать (или бездействовать) на изделие хорошо (или полезно) и плохо (или вредно). Тогда ТП-1 формулируется следующим образом: если автобус комфортабельный, тогда он забирает много пассажиров (полезное действие на изделие – пассажиров), но мешает окружающему транспорту (врелное действие на изделие – окружающий транспорт).

Аналогично ТП-2 формулируется так: если автобус маневренный, то он забирает мало пассажиров (вредное действие на изделие – пассажиров), зато не мешает окружающему транспорту (полезное бездействие на изделие – окружающий транспорт).

Как видим, изделие получилось двойное: пассажиры + окружающий транспорт. Но так бывает не всегда, иногда изделие может состоять из одного объекта. Например, движущийся автобус перевозит пассажиров, но не позволяет им входить и выходить. Неподвижный автобус позволяет входить и выходить пассажирам, но не перевозит их.

Рисунок 1.1. Граф-схема ТП-1

На графической схеме технических противоречий инструмент и изделие обозначаются точками, полезное действие (или бездействие) инструмента на изделие показывается плавной линией, а вредное – волнистой. Состояние инструмента обозначается под его названием.

На рисунке 1.1. представлена граф-схема ТП-1 с подвижным автобусом (скорость V не равна нулю). На рисунке 1.2. представлена схема ТП-2 с неподвижным автобусом (скорость V=0).

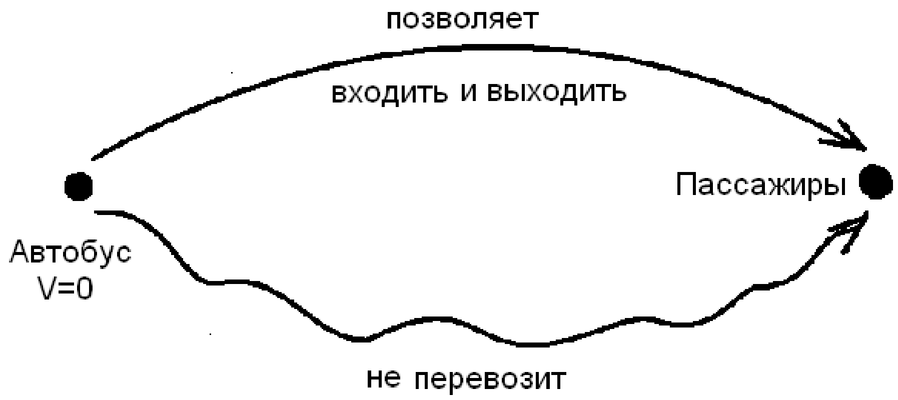


Рисунок 1.2. Граф-схема ТП-2

Если изделие двойное, то для него наносятся две точки, около каждой подписываются названия частей, например, пассажиры и окружающий транспорт, как в первом примере.

Правильная формулировка ТП важна с психологической точки зрения, она позволяет решателю понять задачу на уровне модели и заложить это понятие в свою память.

Решение задачи начинается с выбора технического противоречия ТП-1 или ТП-2. Выбор определяется названием задачи или нежелательным эффектом, который надо уменьшить. Если ставится задача о повышении комфортабельности, то выбирается ТП-1, а если маневренности, то ТП-1.

С математической точки зрения поиск решения в АРИЗ можно рассматривать как поиск некоторой неизвестной математической величины – *x*, или, как называется в АРИЗ, Х(икс)-элемента. Выбор ТП-1 или ТП-2 означает выбор знака этой величины, условно плюса или минуса. Остаётся только найти его величину, значение. Такой выбор, предложенный Г.С. Альтшуллером, реализует логику ИЛИ-ИЛИ, или ТП-1, или ТП-2. Выбор одной из альтернатив означает, что задача наполовину решена. Более того, дальше происходит усиление положительного свойства, рассматривается самый комфортабельный автобус, т.е. самых больших габаритов, какие только возможны. Ограничения заключаются в размерах гаража или парковочного места.

Далее осуществляется поиск Х-элемента среди веществ и полей задачи. Х-элемент это некоторое изменение в системе, некий Х вообще, это может быть и изменение уже существующих в системе элементов или, их состояний, или изменение внешней среды. Х-элемент должен быть такой, чтобы не мешать полезному действию выбранного ТП, выполняться и устранять вредное действие ТП или не давать ему выполняться.

Веществами называются элементы системы, а полями – действия веществ друг на друга. Такое разделение обязано формам существования материи в виде веществ и полей. Поля разделяются на механические, термические, химические, электрические и магнитные. Например, триада «Солнце греет Землю» имеет три элемента: два вещества – Солнце и Землю, и одно поле – термическое или нагрева. Графически изображается в виде веполя (вещество+поле). Веполь из трех элементов образует полную работоспособную структурную модель технической системы. (рисунок 1.3.)

$$\begin{array}{ccc} & & \text{П}_{\text{т}} \\ & & \searrow \\ \text{В}_1 & \longrightarrow & \text{В}_2 \end{array}$$

Рисунок 1.3. Полный веполь

В1 означает Солнце, В2 – Землю, а поле обозначено через Пт (термическое или тепловое). Рассмотрим еще пример получения структурной вепольной модели транспортной системы, которая словесно может быть задана высказыванием: автобус перевозит пассажиров.. Ясно, что веществом В1 можно назвать автобус, а веществом В2 пассажиров или пассажира. Действие – перевозит – относится к механическому перемещению, следовательно, надо выбрать механическое поле. Тогда структура системы будет представлять веполь на Рисунок 1.3, только поле будет механическим – Пмех.

Механических полей немного: поля давление, трения, поле действия центробежных сил, поле архимедовых сил, поле тяжести. Какое поле выбрать для модели автобуса с пассажирами? Очевидно, что самое подходящее из механических полей – поле давления, которое оказывает пол салона автобуса на ступни стоящего пассажира. Это поле по закону Ньютона противодействует силе тяжести человека. Обратите внимание, если бы не было поля давления на ступни, в невесомости, например, то пассажир в первый момент движения завис бы, и не перемещался вместе с автобусом, пока задняя стенка салона автобуса не оказала бы на него опять-таки поле давления.

Поля и вещества образуют так называемые вещественно-полевые ресурсы – ВПР, среди которых отыскивается Х-элемент. Кроме ВПР существуют ещё ресурсы пространства и времени. Пространственный ресурс (или оперативная зона - ОП) определяет место нахождения Х-элемента, его геометрию, форму, а временной ресурс (оперативное время – ОП) – время появления Х-элемента в системе, обычно рассматривается время до конфликта, время самого конфликт, либо время после конфликта.

Следующей важной частью АРИЗ является физическое противоречие – ФП. Физическое противоречие предъявляется к Х-элементу, это противоречие между двумя его противоположными физическими свойствами. Обратим внимание, что в отличие от предыдущей части АРИЗ, в которой определяется, что должен делать и не делать Х-элемент, т.е. в виде глагольных форм, то для определения ФП используются обычно прилагательные или причастия. Например, Х-элемент должен быть легким и тяжёлым, горячим и холодным, гладким и шероховатым, прозрачным и непрозрачным (или пропускающим газ, не пропускающим жидкость) и т.п. Строго два противоположных свойства обостряют конфликт в мышлении решателя. Решение ближе. Для разрешения ФП в АРИЗ имеются приемы, например, разрешение ФП в пространстве – в одной части оперативной зоны Х-элемент жесткий, а в другой –упругий.

Если в примере с автобусом мы выберем ТП-1, т.е. комфортабельный автобус, то он полезно действует на пассажиров в нутрии салона – комфортно перевозит их, зато вредно действует на окружающий транспорт вне своего салона, мешает ему своей плохой маневренностью. Сразу видно, что ОЗ являются боковые стенки салона. Именно там должен находиться Х-элемент. Сформулируем для него ФП, т.е. какой он должен быть, чтоб не мешать пассажирам комфортно проезжать, и не мешать городскому транспорту своими плохими манёврами. Как раз подходят два противоположных физических свойства – салон автобуса должен быть жестким для пассажиров, и гибким – для окружающего транспорта. Разрешение противоречия – в пространстве, центральная часть делается гибкой («гармошка»), а остальная – жесткой. Получается сочленённый автобус.

ФП могут также разрешаться и во времени, например, сначала Х-элемент жёсткий, потом гибкий. Даже в нашем примере можно эти свойства выявить–на остановке автобус жесткий, т.е. неподвижный (жесткость предполагает неподвижность), а во время поездки автобус гибкий (гибкость предполагает подвижность).

Кроме того, для разрешения ФП используются различные физические, химические, геометрические и другие эффекты. Базы данных с изобретательскими эффектами вместе с АРИЗ являются частью теории решения изобретательских задач - ТРИЗ, которая появилась позднее, чем АРИЗ, и в которую входят многие другие инструментальные средства решения.

Например, для разрешения ТП в ТРИЗ имеется таблица типовых приёмов. В левом столбце приводятся свойства, которые надо изменять при решении задачи, а в верхней строке - те же свойства, но которые ухудшаются при изменении. На пересечении строк и столбцов, в клетках приведены численные номера приемов, которые можно использовать для разрешения ТП. Содержание приёмов раскрывается в приложении к таблице, там же приводятся примеры из патентов, в которых разрешены подобные ТП. Фрагмент приведен в таблице 1.

Таблица 1. Приемы устранения типовых ТП

	1	2	3	4
Что ухудшается при изменении / Что нужно изменить по условиям задачи	Вес подвижного объекта	Вес неподвижного объекта	Длина подвижного объекта	Длина неподвижного объекта
1.Вес подвижного объекта			15, 8, 29, 34	
2.Вес неподвижного объекта				10, 1, 29, 35
3.Длина подвижного объекта	8, 15, 29, 34			
4.Длина неподвижного объекта		35, 28, 40, 29		

Всего таблица имеет 39 строк и столбцов со свойствами - длина, объем, время, скорость, давление, сила, температура и др.

Более подробно с ТРИЗ, и с АРИЗ, в частности, можно познакомиться в литературе [1-3].

За последние 30 лет методы ТРИЗ проникли в биологические, экономические, социальные системы. Начала складываться нетехническая ТРИЗ. В связи с этим названия противоречий стали изменяться.

В [4,5] для бизнес-систем техническое противоречие называется противоречием требований. Например, «нужно получить оплату после того, как продукт произведен и доставлен потребителю, чтобы потребитель при покупке осуществлял оплату привычным способом; но нужно получать оплату за продукт заранее, чтобы иметь средства для производства продукта». Физическое противоречие называется противоречием свойства: « Ассортимент должен быть узким, чтобы максимизировать доход на единицу; ассортимент должен быть широким, чтобы удовлетворять потребностям большего количества потребителей». Вепольный анализ называется элепольным, где элеполь рассматривается как элемент и поле.

В [6] В.М. Петров предлагает следующие названия противоречий: административное противоречие (АП) назвать поверхностным противоречием (ПП), техническое противоречие (ТП) – углубленным противоречием (УП), а физическое противоречие (ФП) – обостренным противоречием (ОП). Эти названия более универсальны и подходят как для технических, так и нетехнических систем, но единых названий, которых придерживается ТРИЗ, пока не выработано.

2. Некоторые сведения из математической теории катастроф

Первые публикации по этой теории [7,8] появились в 60-х годах XX века. В ее создании участвовали несколько ученых: Рене Том (Франция), К. Зиман и Дж. Мазер (США), В.И.Арнольд (СССР, затем Россия) и др.

Катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних или внутренних условий. Эти условия задаются управляющими параметрами. При катастрофе под действием управляющих параметров изменяется стационарное состояние системы, т.е. она переходит из одного стационарного состояния в другое. В простейшем случае под стационарным состоянием понимается неподвижное состояние равновесия. Как проходит переходный процесс - для теории катастроф, в сущности, неважно.

Р. Том доказал важную теорему в теории катастроф, которая помогла классифицировать катастрофы по типу, и ввел так называемые элементарные или канонические катастрофы. Одна элементарная катастрофа отличается от другой выражением потенциальной функции. Например, для катастрофы типа «складки» потенциальная функция $E(x,\lambda)$ задается математическим выражением

$$E(x,\lambda) = \frac{x^3}{3} - \lambda x$$

где x – координата катастрофы, λ – управляющий параметр. Для катастрофы типа «сборки» потенциальная функция имеет вид

$$E(x,\lambda,\mu) = \frac{x^4}{4} - \lambda \frac{x^2}{2} + \mu x$$

Сборка имеет два управляющих параметра λ и μ. Оба параметра λ и μ могут изменяться от $-\infty$ до $+\infty$. Графики изменения $E(x,\lambda,\mu)$ при некоторых постоянных значениях управляющих параметров приведены на рис. 2.1. Первый график (кривая 1 на рисунке 2.1) имеет одно стационарное состояние равновесия, в начале координат при x=0. Состояние равновесия устойчиво.

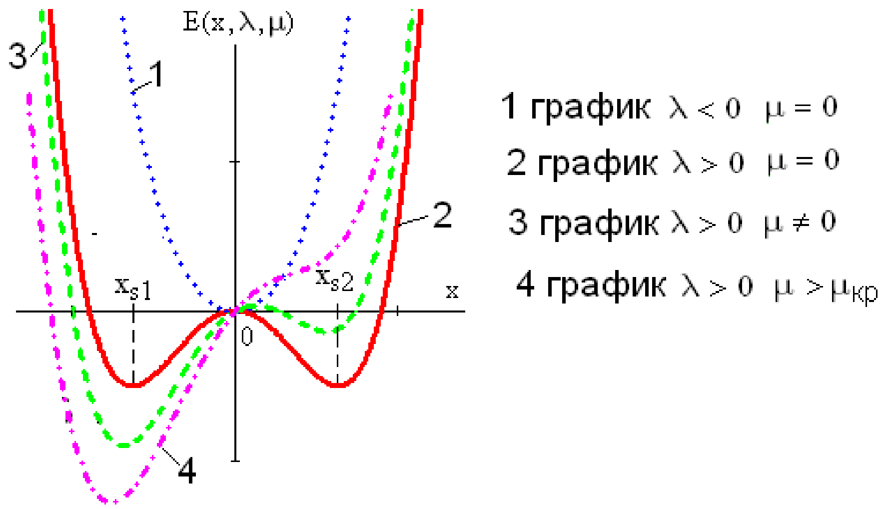


Рисунок 2.1. Графики потенциальной функции катастрофы типа «сборка»

Если мысленно бросить в ямку первого графика шарик, то он скатится на дно и там остановится. Как бы ни изменялся управляющий параметр λ, оставаясь отрицательным, на графике будет только изменяться наклон ветвей, но одно, устойчивое состояние равновесия, будет сохраняться.

Когда параметр принимает критическое значение λ=0, тогда и наступает катастрофа, на графике потенциальной функции появляются уже три состояния равновесия, два устойчивых x_{s1} и x_{s2}, расположенных симметрично относительно оси ординат, и одно неустойчивое состояние равновесия, в начале координат. Если λ увеличивать, то ямки симметрично раздвигаются и больше проваливаются, а центральный горбик растёт, но количество состояний равновесия и их качество (два устойчивых, одно неустойчивое) сохраняется. На третьем графике вступает в дело второй управляющий параметр μ (λ сохраняется постоянным и больше нуля), если μ>0, проваливается левая ямка, а правая подымается вверх, состояние симметрии нарушается. При критическом значении $\mu_{кр} = \pm\sqrt{\frac{4\lambda^3}{27}}$ правая ямка пропадает (4 график), снова наступает катастрофа – меняется число состояний равновесия, снова остаётся только одно, устойчивое состояние равновесия в левой ямке. При μ<0 левая и правая ямки меняются местами.

Как видно из рисунка 2.1. координаты стационарных состояний x_s передвигаются по оси абсцисс при изменении параметров λ и μ. Найдём зависимость x_s от λ и μ. Поскольку стационарные состояния определяют точки экстремумов потенциальной функции, то для их нахождения возьмём первую производную от потенциальной функции по координате x и приравняем её нулю

$$0 = x_s^3 - \lambda x_s + \mu$$

Корни, т.е. x_s, алгебраического уравнения, третьей степени можно найти по формуле Кардано [9]. Находить их не будем, а сразу построим зависимость x_s от μ при λ= Const>0 (рисунок 2.2.)

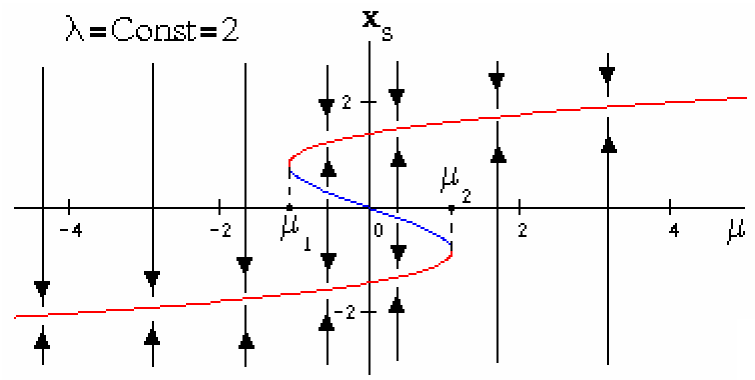


Рисунок 2.2. Бифуркационная диаграмма по параметру μ

Такой график называется бифуркационной диаграммой. Бифуркацией называется раздвоение, разветвление. Такое название дал французский математик Анри Пуанкаре, имея в виду переход от одного устойчивого состояния равновесия к двум устойчивым состояниям при критическом значении $\lambda=0$.

При $\mu_1<\mu<\mu_2$ график имеет 3 ветви, нижняя и верхняя означают устойчивые состояния равновесия, поэтому вертикальные стрелки к ним сходятся. Образно можно сказать, что шарик, брошенный в график потенциальной функции, сваливается в левую или правую ямки, или на нижнюю, или верхнюю ветки бифуркационной диаграммы. Центральная ветвь, с отрицательным наклоном, означает состояние неустойчивого равновесия, т.е. центральный горбик потенциальной функции. С него шарик скатывается в левую или в правую ямки потенциальной функции, или на нижнюю или на верхнюю ветки диаграммы. Поэтому вертикальные стрелки уходят от ветви неустойчивого равновесия. При $\mu_1<-\mu_{кр}$ и при $\mu_2>\mu_{кр}$ имеется по одной ветви устойчивого равновесия.

Кроме бифуркационных диаграмм для «сборки» строится также кривая катастроф, т. е. зависимость одного управляющего параметра от другого (рис. 2.3). Внутри заштрихованного острия находится закритичная область катастрофы, имеющая в потенциальной функции три состояния равновесия, две «ямки» и один «холм» между ними (графики 2,3,4 на рис. 2.1).

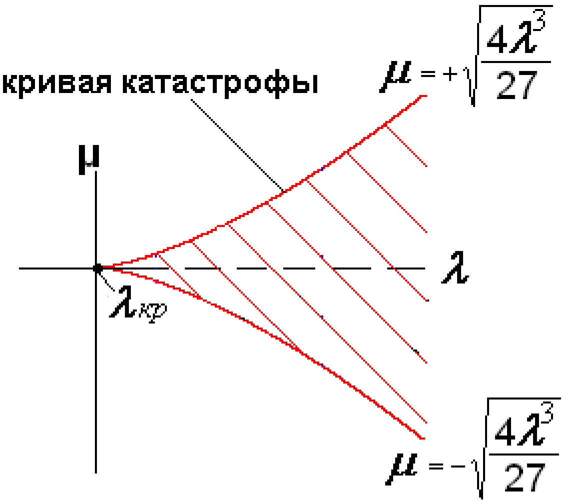


Рисунок 2.3. Кривая катастрофы «сборки»

Вне острия – докритичная область, где потенциальная функция имеет одно устойчивое состояние равновесия (график 1 на рис. 2.1).

Канонические катастрофы используются для получения математических моделей процессов, в которых могут происходить катастрофы. Выбор той или иной элементарной катастрофы, т.е. выражения для потенциальной функции $E(x,\lambda)$, зависит от того, сколько мы хотим учесть управляющих параметров или факторов, влияющих на катастрофу. Для физических систем потенциальная функция совпадает с их потенциальной энергией.

В изобретательских задачах используется катастрофа типа сборки, с двумя управляющими параметрами λ и μ. Она имеет в закритичной области два устойчивых равновесных состояния (рис.2.1), в левой ямке, условно говоря, находится «шарик» старого решения, прототипа, который в момент катастрофы перекатывается в правую ямку, что соответствует появлению нового решения [10]. Процесс получения нового решения рассматривается как мгновенный скачок мысли, «озарение» или инсайт.

Для моделирования ТП в АРИЗ тоже используется катастрофа типа сборки [11] В этом случае левая ямка функции $E(x,\lambda,\mu)$ рассматривается как минимум нежелательного, вредного действия в ТП-1, а правая ямка как минимум нежелательного, вредного действия в ТП-2, т.е. потенциальная функция представляет собой нежелательный эффект. Координата катастрофы x задает состояние изделия, параметр λ учитывает свойства инструмента, а параметр μ - свойство Х-элемента.

Для моделирования процесса единства и борьбы двух альтернативных свойств ТП используется двумерная катастрофа типа «гиперболическая омбилика» [3], у которой потенциальная функция $E(x,y, a, b, c)$ зависит от двух координат, например, x -маневренности, и y - комфортабельности в задаче об автобусе. Управляющих параметров три: a

учитывает рождаемость новых идей, c и b учитывают забывание старых идей.

Для производственно-экономических задач также можно использовать катастрофу типа «сборка», в которой потенциальная функция рассматривается как издержки, затраты на производство продукции. Переход из состояния «высокой» ямки потенциальной функции в «низкую» ямку можно рассматривать как скоростную инновацию.

В заключение параграфа приведём так называемые «флаги катастроф». Это предупреждения, признаки, которые позволяют судить о возможной катастрофе в ходе моделируемого процесса. В книге [12] приводятся следующие флаги катастроф.

1. Несколько различных (устойчивых) состояний;
2. Существование неустойчивых состояний, из которых система выводится слабыми "толчками";
3. Возможность быстрого изменения системы при малых изменениях внешних условий;
4. Необратимость системы (невозможность вернуться к прежним условиям);
5. Гистерезис (когда процесс не полностью обратим, например, возврат в старое состояние требует больших затрат, чем затрачено на переход в новое);
6. "Критическое замедление", когда множество усилий не приводит к сколько-нибудь заметному изменению системы.
7. Большой разброс результатов при одинаковых усилиях.

3.Скоростная инновация в производственно-экономической системе

3.1. S-кривая развития и катастрофы

Под скоростной инновацией будем понимать резкий скачок в изменении свойства производственно-экономической системы. Хорошо известно [1], что процесс эволюции любой системы отражается S-образной кривой развития (рис.3.1). Кривая развития имеет три характерных этапа: I – медленного роста, II – быстрого роста, III – медленного роста. На первом этапе медленное развитие объясняется тем, что скорости роста новой системы препятствует старая система, когда сильны противоречия между старым и новым. На втором этапе противоречия преодолеваются, и идёт быстрый рост новой системы.

Рисунок 3.1. Катастрофа на S-кривой

На третьем этапе система стареет, рост замедляется, силы уходят на борьбу с новой системой. Переход к новой системе в конце третьего этапа можно рассматривать с математической точки зрения как катастрофу, бифуркацию или разветвление процесса развития. Организацию сопротивления катастрофе (или движение по ветви 3), можно назвать усовершенствованием системы, технологического процесса, бизнеса, продукции и т.п. Если катастрофа неизбежна, то выбирается стратегия овладения катастрофой путем перехода к новому делу, новым процессам, новой продукции и т.п. (движение по ветви 1-2) с целью получения нового свойства системы, существенно превышающего старое свойство.

3.2. Катастрофа в производственно-экономической системе

Для наглядности рассмотрения S-кривую (рис.3.1) отразим сверху вниз и получим график потенциальной функции $E(x)$ для издержек (рис.3.2 а).

График потенциальной функции или издержек зависит, прежде всего, от координаты катастрофы, откладываемой по горизонтальной оси, в данном случае, это выпуск продукции.

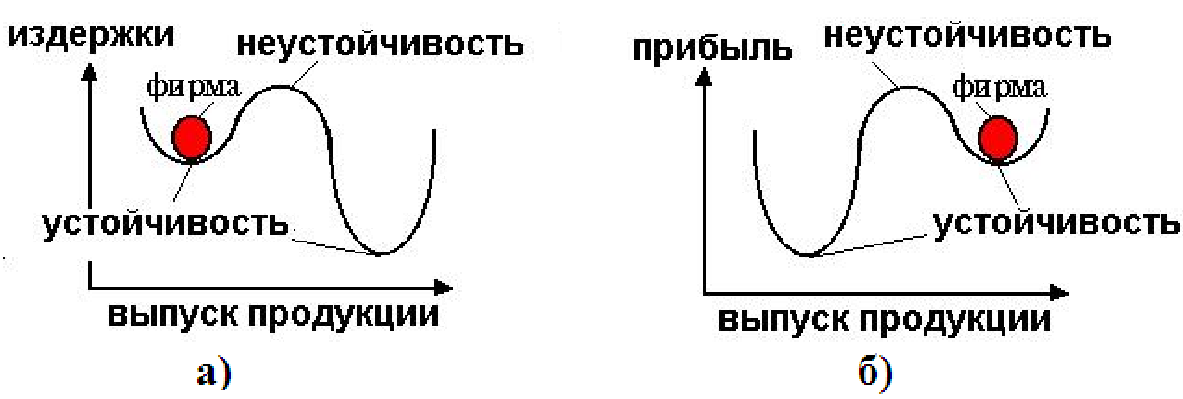


Рисунок 3.2. Потенциальные функции производственно-экономической системы

При меньшем выпуске фирма (шарик) работает устойчиво и находится в левой ямке. Так как имеется более выгодное, устойчивое рабочее состояние с меньшими издержками (правая ямка), то процесс внедрения инноваций можно рассматривать как повышение выпуска и переход фирмы в правую ямку. Этот переход можно назвать «хорошей» катастрофой, и ее надо хорошо организовать, преодолев холм неустойчивости.

Аналогично можно рассматривать и "плохую" катастрофу, когда фирма, снижая выпуск, переходит из правой устойчивой ямки в левую, тоже устойчивую ямку (рис. 3.2б). В этом случае в качестве потенциала можно использовать величину прибыли. Естественно, в этом случае главной задачей является противодействие катастрофе.

Чтобы организовать «хорошую» катастрофу, необходимо изменить конфигурацию графика потенциальной функции. Вид графика зависит от множества факторов, влияющих на работу фирмы или управляющих параметрам. Они могут отражать влияние внешней среды: стоимость сырья, налоги, действия конкурентов и т.д., а также и внутренние собственные решения по управлению фирмой, например, размер инвестиций в расширение выпуска продукции, затраты на разработку новой техники, перестройку структуры, обучение персонала и т.п.

Для простой математической модели выберем, рассмотренную выше, каноническую катастрофу типа сборки. Она зависит от двух управляющих параметров. Назовем их a и b, Какие именно показатели определяют параметры a и b, зависит от конкретной системы.

Рассмотрим пример транспортной системы и допустим, что необходимо получить модель перевозки груза на автомобиле [13], используя теорию катастроф.

В качестве потенциальной функции обычно выбирается та величина, которая характеризует качество процесса и должна принимать минимальное значение. В этом смысле для перевозки груза за потенциальную функцию можно выбрать время перевозки, т.е. $E(x)= T(x)$. Чем меньше время $T(x)$, тем выше качество перевозки (а в конечном итоге, и меньше затраты). Кстати, название "потенциальная функция" пришло из физики, так как предоставленная самой себе физическая система стремится занять положение минимума потенциальной энергии или минимума затрат на поддержание своего существования. Поэтому в экономической системе за потенциальную функцию и выбираются издержки. Считается, что нормально работающая фирма старается их уменьшить.

Множество факторов, влияющих на потенциальную функцию, это скорость поездки, выбранный маршрут (пройденный путь), возможные поломки и аварии, дорожное движение ("пробки" и объезды), погодные условия, состояния дорог и т.п. Обратим внимание, что эти факторы также влияют друг на друга: от состояния дороги зависят поломки и скорость, от окружающего дорожного движения зависит маршрут и скорость (и наоборот), дорожное движение влияет на погоду (выхлопы), и т.п. Чем точнее хотим получить модель, тем больше факторов надо учитывать. В этом случае используются типы катастроф, более сложные по сравнению со “сборкой”.

Для сборки же нужно всего 3 фактора. Один из этих факторов выбираем в качестве координаты катастрофы, а именно тот, влияние которого на конечный результат мы хотим исследовать в модели. Допустим, мы хотим установить, как влияет вероятность аварий на сроки перевозки грузов. Тогда координатой x выбираем вероятность аварии $x=P$, которая может меняться от 0 до 1.

Теперь надо выбрать два управляющих параметра из тех факторов, которые влияют на координату катастрофы, т.е. на вероятность аварии.

Здесь можно только рекомендовать следующий подход.

Один управляющий параметр желательно выбирать внутренним, характеризующим внутренние свойства процесса, его “напряг”, мощность, интенсивность и т.п., а другой управляющий параметр - внешним, характеризующим влияние на процесс окружающей среды.

Для рассматриваемого примера транспортного средства внутренним управляющим параметром выгодно выбрать скорость движения - a (км/час), а внешним параметром - влияние погодных условий, например, видимость - b (м).

Далее выбираются диапазоны изменения управляющих параметров, в которых координата катастрофы изменялась бы скачком.

Если построить бифуркационную диаграмму зависимости вероятности P аварии от видимости при постоянной скорости, то она будет иметь скачкообразный характер (рисунок 3.3). Как видно, она является зеркальным отражением бифуркационной диаграммы на рисунке 2.2. Отражение получается из-за того, что параметр b имеет другой знак, чем параметр μ ($b= - \mu$).

Если видимость большая (точка I), то вероятность аварии низкая. Потенциальная функция имеет одну ямку при низком значении вероятности аварии. По мере снижения видимости вероятность аварии равномерно растет до точки G. А вот в диапазоне видимостей от G до B (или от H до C) может быть как низкая, так и высокая вероятность аварии. Этому соответствуют нижняя и верхняя ветви графика. Оба эти состояния устойчивы, так как потенциальная функция имеет уже две ямки, разделенные неустойчивым холмом. Нахождение шарика на верхушке холма является неустойчивым и соответствует точке E средней ветви B-E-H графика.

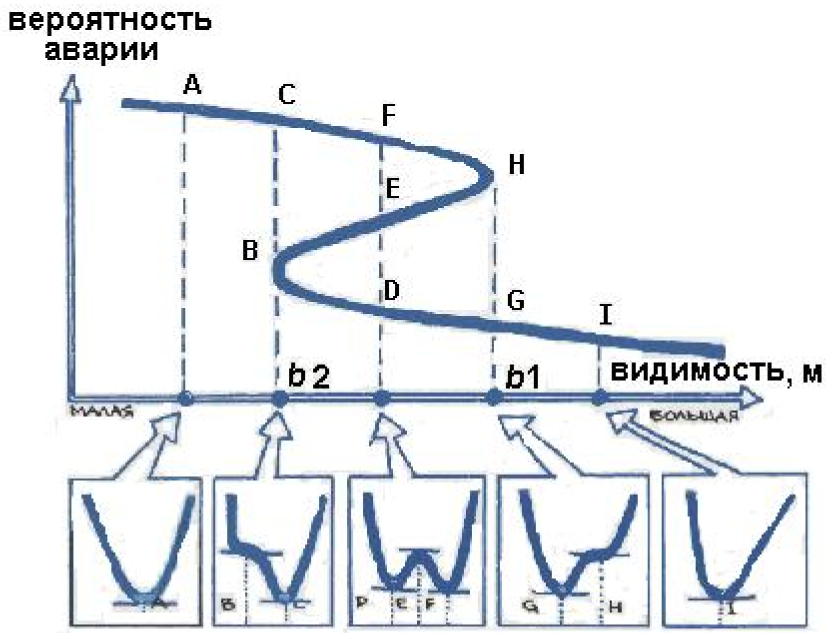


Рисунок 3.3. Бифуркационная диаграмма для транспортной системы

Поэтому шарик там не задерживается, а сваливается либо в левую, либо в правую ямки потенциальной функции, т.е. перескакивает в точку H верхней ветви A-C-F-H высокой аварийности, либо в точку B нижней ветви I-G-D-B низкой аварийности.

Таким образом, существует некоторая полоса видимости от *b*1 до *b*2, при которой может быть как высокая, так и низкая аварийность. По справедливости, именно эту полосу и надо бы назвать катастрофой.

Критическая полоса *b*1- *b*2 существует при вполне определенном значении второго управляющего параметра *a*, т.е. скорости движения. Если скорость движения изменится, то критическая полоса деформируется.

Рассмотрим, как это происходит.

При уменьшении скорости верхняя ветвь высокой аварийности будет появляться при меньшей видимости. Поэтому точка H графика должна перемещаться влево, к точке F. Точка B нижней ветки низкой аварийности должна смещаться вправо, к точке D, потому, что максимальная величина низкой аварийности при заданной видимости должна уменьшаться. Таким образом, уменьшение скорости снижает критическую полосу видимости. Образно эту ситуацию можно представить как вытягивание зигзага графика за его концы в разные стороны. В пределе, при нулевой скорости (a=0), которая называется критической, зигзаг пропадает совсем, остается только одна нижняя ветвь низкой вероятности аварии и только одна ямка потенциальной функции, независимо от того, как меняется видимость *b*. Поэтому параметр а называется расщепляющим, так как если он больше своего критического значения, то график расщепляется на две ветви. А если он меньше критического значения, то никакого расщепления нет. Параметр *b* (видимость) называется нормальным, потому, что при отсутствии расщепления изменение *b* влияет на график нормально: больше видимость – меньше аварийность, и наоборот. Нет никаких двойственностей, зигзагов.

При увеличении скорости происходит обратное явление: критическая полоса расширяется. Например, точка H должна сдвигаться вправо, так как высокая аварийность должна наступать при большей видимости. Крайний случай, когда скорость равна бесконечности, рассматривать не будем, так как физически такой скорости не бывает.

3.3. Модель катастрофы в экономической системе

Рассмотрим работу некоторой фирмы, у которой координатой катастрофы будет вероятность банкротства, нормальным управляющим параметром *b* будет способность предвидения, оценки конъюнктуры рынка (т.е. внешней среды), а расщепляющим параметром *a* будет темп вложения инвестиций в расширение производства (внутреннее свойство) (рисунок 3.4) .

При некотором ненулевом темпе вложения инвестиций ($a>0$) и способности к предвидению, соответствующей точке I графика, наша фирма находится в положении светлого кружка с устойчивой низкой вероятностью банкротства *p*I. Если способность к предвидению у фирмы будет чуть-чуть меньше, то светлый кружок должен занять положение на кривой чуть-чуть левее состояния I. Это означает, что вероятность банкротства чуть-чуть увеличилась, а устойчивость к банкротству (т.е. глубина ямки устойчивости, в которой работает фирма) чуть-чуть уменьшилась. Если темп вложения инвестиций и способность к предвидению сохраняются постоянными, то такая работы фирмы теоретически может продолжаться бесконечно долго.

Теперь попробуем ввести в нашу модель время. Для этого предположим, что способность к предвидению начинает уменьшаться во времени. Тогда естественно предположить, что наш светлый шарик (фирма) будет также перемещаться по кривой по направлению к точке G. Движение будет проявляться в том, что глубина ямки устойчивости будет постоянно уменьшаться.

И все бы было ничего, но приближается критическое значение способности к предвидению *b*1. При этом значении наша фирма теоретически может либо остаться в точке G (на нижней ветви), либо перескочить в точку H – на верхнюю ветвь, в возникшую новую ямку устойчивости. Такая двойственная ситуация сохраняется во всей критической полосе от *b*1 до *b*2.

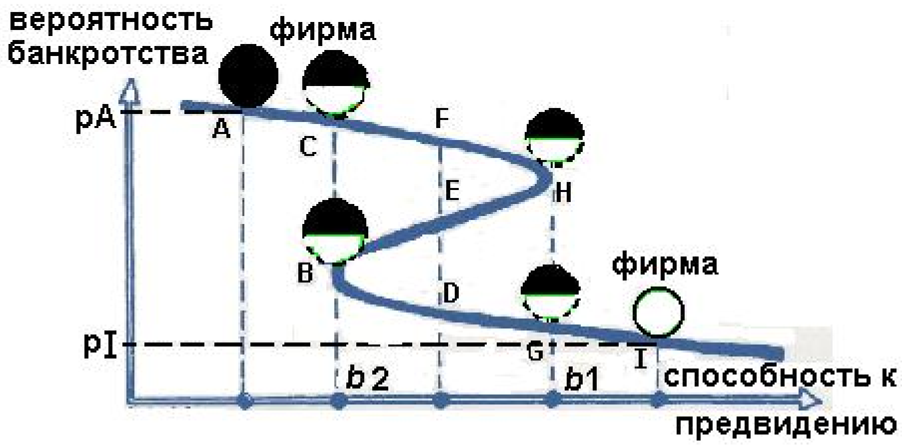


Рисунок 3.4. Бифуркационная диаграмма для работы фирмы

Где же будет находиться наша фирма? Математики выдвинули два принципа для ответа на этот вопрос. Первый называется принципом максимального промедления или запаздывания, а второй – принципом Максвелла [8].

При максимальном промедлении считается, что в критической полосе фирма продолжает как можно дольше оставаться в прежнем положении, в котором она была до входа в эту критическую полосу. Считается, что фирма максимально сопротивляется катастрофе, не хочет переходить на верхнюю ветвь и движется по нижней ветви, хотя глубина ямки устойчивости под ней все время уменьшается по мере приближения к другой границе *b*2 критической полосы. В данном случае этот принцип отражает грамотную организацию противодействия «плохой» катастрофе.

Если в исходном состоянии фирма находилась в положении А (черный кружок), т.е. на верхней ветви высокой опасности банкротства, то при увеличении способности к предвидению в критической полосе фирма по принципу максимального промедления будет оставаться на верхней ветви вплоть до точки Н. И только после точки Н она перескочит на нижнюю, более выгодную ветвь. Для такой ситуации принцип максимального промедления означает неграмотную организацию «хорошей» катастрофы.

Другой принцип, Максвелла, предполагает, что в критической полосе наша фирма может в любой момент перескочить с одной ветви на другую. Фирма не ждет, когда старая ямка под ней совсем пропадет, а перескакивает в новую, поскольку в критической полосе есть уже две ямки, есть альтернатива (рис. 3. 5).

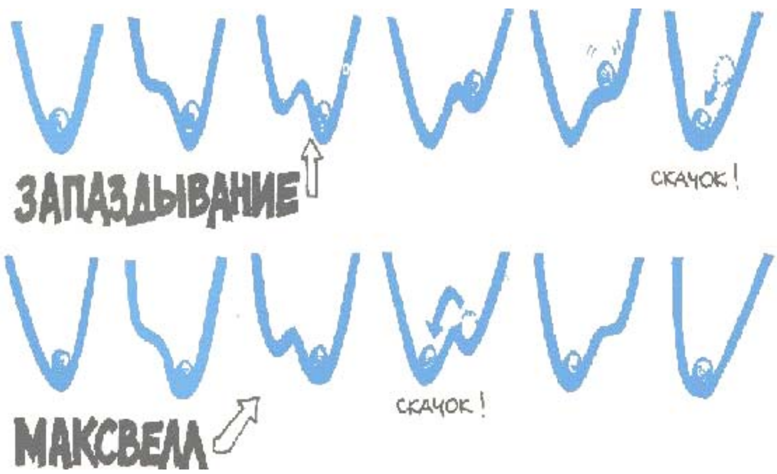


Рисунок 3.5. Принципы максимального запаздывания и Максвелла

Следовательно, можно грамотной стратегией фирмы считать принцип максимального промедления при противодействии «плохой» катастрофе, и принцип Максвелла – при организации «хорошей» катастрофы.

Таким образом, возможность «скачка» при грамотной организации «хорошей катастрофы» дает теоретическую основу для алгоритма скоростной инновации.

3.4. Возможности выхода модели на АРИЗ и ТП

Выход задачи скоростной инновации на АРИЗ связан с рассмотрением второго, расщепляющего, параметра катастрофы *a*. При *a*<*a*кр (*a*кр – некоторое критическое значение *a*) как бы не изменялся нормальный параметр *b*, в системе есть только одно устойчивое состояние равновесия, одна ямка, безальтернативность, отсутствует противоречие (применительно к АРИЗ-85В – это шаг 1.1., по сути, описание прототипа). В примере с автомобилем: если скорость автомобиля меньше или равняется нулю, то считается, что автомобиль имеет только одну нижнюю ветвь B-D-G-I (рис.3) зависимости низкой вероятности аварии от видимости.

Когда *a* становится более *a*кр, начинается расщепление: появляется вторая ветвь, вторая ямка, два альтернативных устойчивых возможных состояния равновесия, но не везде, а только в полосе перекрытия от одного критического значения нормального параметра до другого критического значения нормального параметра : от *b*1 до *b*2. Ширина полосы перекрытия или расщепления зависит от параметра *a* , принципиально, чем больше *a*, тем шире полоса катастрофы, причем зависимость не пропорциональная, ширина полосы в зависимости от *a* растет гораздо быстрее, чем прямая линия (по полукубической параболе).

В АРИЗ расщепление задачи обычно начинается с формулировки ТП-1 и ТП-2. Считаем, что до этого расщепления нет, есть только потенциальная посылка к нему - нежелательный эффект прототипа.

Следовательно, начало конфликта есть момент расщепления (a>aкр). В АРИЗ расщепление определяется состоянием инструмента: если инструмент в одном состоянии, тогда ТП-1, если в противоположном состоянии, тогда ТП-2. Конфликт растет, если противоположные состояния инструмента удаляются друг от друга. Если увеличивать в полосе катастрофы параметр a , то увеличивается не только полоса катастрофы, но и расстояние между ветвями.

Для примера с автомобилем: управляющий параметр a есть скорость автомобиля V. При увеличении скорости от V1 до V2 растет ширина полосы и растет расстояние между понятиями малой и большой вероятности аварии, причем V2 > V1 >Vкр. Рассмотрим случай, когда скорость равна V1 (график 1-2-7-8 на рис.6). При видимости от В21 до В11 автомобиль находится ни низкой ветви вероятности аварии между точками 1 и 2, катастрофа отсутствует.

Что будет, если при этой видимости В (В=Const, В11<В<В21), увеличить скорость до V2? Появляется катастрофа (график 3-4-11-12-5-6-9-10 на рис.3.6). Автомобиль может находиться либо на ветви 3-4, либо на ветви 5-6. Причем важно отметить следующее обстоятельство: ветвь 3-4 лучше, чем прежняя ветвь 1-2, а ветвь 5-6 хуже, чем прежняя ветвь 1-2.

Возможна парадоксальная ситуация: при той же самой видимости автомобиль имеет большую скорость, а находится на ветви с меньшей вероятностью аварии.

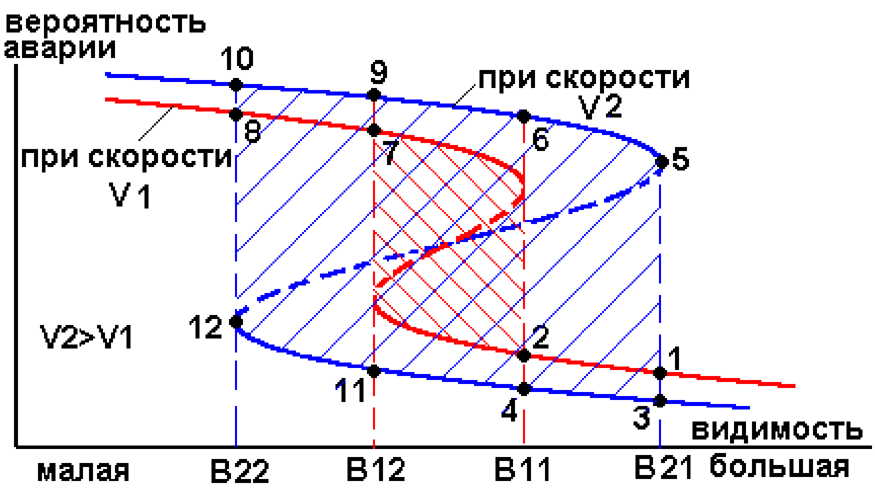


Рисунок 3.6. Бифуркационные диаграммы для двух значений скоростей

Объясняется это следующим. При меньшей скорости $V1$ участок 1-2 означает функционирование без риска, осторожную стратегию езды, без альтернативы перескока на опасную верхнюю ветвь. При большей скорости $V2$ и этой же видимости стратегия езды уже рискованная. Можно сказать, что при увеличении скорости идет «перекачка» осторожной стратегии в стратегию с риском, или единственная ветвь низкой аварийности «размазывается» в две ветви: еще лучшую, чем прежняя, и гораздо хуже, чем прежняя.

Практика езды показывает, что автомобилисты часто рискуют в надежде, «авось пронесет!» И часто проносит: даже при большой скорости можно проехать по кривой 3-4-11-12 с меньшей вероятностью аварии (самая лучшая ситуация), чем по красной кривой 1-2-7-8 с меньшей скоростью. Раз риск существует, то он должен быть как-то оправдан, иначе никто бы не рисковал. Но уж если не повезет при большой скорости, то попадешь на верхнюю ветвь 5-6-9-10 и при гораздо лучшей видимости (в точке 1 перескок в точку 5- самая худшая ситуация). Это расплата за риск: при большой скорости полоса видимости, в которой может случиться катастрофа, гораздо шире, чем при малой скорости.

Возвращаясь к АРИЗ можно сказать, что нижняя ветвь 3-4-11-12 дает в этой задаче формулировку идеального конечного результата (ИКР): большая скорость при малой аварийности или высокое быстродействие (время выполнения работы) при высокой же безопасности. Естественно, ИКР находится в результате задачи максимизации. Сразу же из понятия ИКР автоматически находим величину, ему противоположную, которую надо минимизировать: низкое быстродействие при малой безопасности. В задачах теории катастроф минимизируется потенциальная функция, отражающая качество плохого функционирования, плохой работы, нежелательный эффект. Это и есть низкое быстродействие при малой безопасности.

Тогда грамотная формулировка ТП должна звучать так:

ТП-1: если скорость большая, то быстродействие высокое, а безопасность низкая;

ТП-2: если скорость малая, то быстродействие низкое, а безопасность высокая.

Фактически формулировка ТП является моделью системы, состоящей из инструмента и изделия, а конфликт возникает между расщепляющим (внутренним) параметром и координатой катастрофы, которая задает состояние системы, а вовсе не между внутренним и внешним (нормальным) параметрами.

Получается сначала система и конфликт внутри нее, а уж потом должна появиться внешняя среда. Применительно к автомобилю: есть конфликт между скоростью и аварийностью, а внешней среды (видимости) нет.

В общем виде ТП можно записать так:
ТП-1: если инструмент плохой, то состояние изделия хорошее ,
ТП-2: если инструмент хороший, то состояние изделия плохое.
Как видно, ИКР не достигается ни при ТП-1, ни при ТП-2.

Формулировка ТП позволяет построить эквивалентную модель катастрофы (рисунок 3.7) и, тем самым, создает возможность выхода катастрофы на таблицу противоречий 39х39 и больше, если добавлять свои новые строки и столбцы,

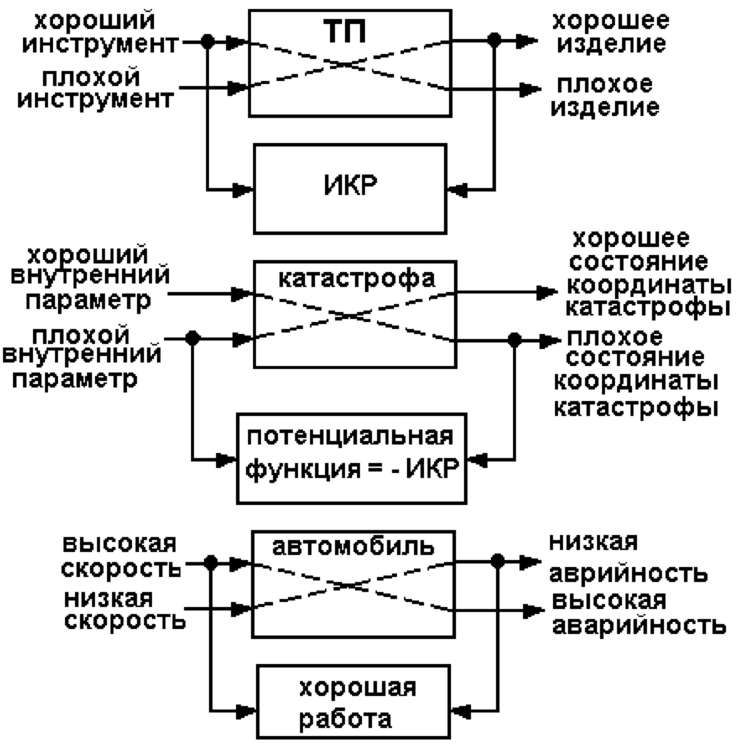


Рисунок 3. 7. Эквивалентные схемы ТП, катастрофы и транспортной системы

3.5. Структурная модель изобретательской задачи

С точки зрения АРИЗ координата катастрофы является свойством изделия, внутренний управляющий параметр влияет на свойство (состояние) инструмента, потенциальная функция задает нежелательный эффект (отрицательный ИКР). В катастрофе типа сборки между координатой катастрофы, потенциальной функцией и управляющими параметрами существует определенная размерная зависимость.

Аналогично в электричестве координатой является ток (или сила тока), т.е. количество электрических зарядов, прошедших через проводник за единицу времени. Поэтому за координату катастрофы можно выбирать поток ресурсов, хотя это и необязательно, поскольку могут быть и другие координаты катастрофы.

Внутренний управляющий параметр *а* (расщепляющий) пропорционален квадрату координаты, можно сказать, что он задает мощность потока ресурсов. Так и мощность электрического тока пропорциональна квадрату тока. Следовательно, внутренний параметр, характеризующий свойства инструмента, должен быть пропорционален его мощности, его “напрягу», его риску. На качественном уровне можно записать, что свойство внутреннего управляющего параметра равно a=C • *C,* где *C* - свойство координаты катастрофы (или свойство изделия).

Что ухудшается при изменении / Что нужно изменить по условиям задачи	Скорость подвижного объекта	Аварийность	Быстродействие (время)	Безопасность
Скорость подвижного обьекта	-	п.т.	-	п.т.
Аварийность	п.т.	-	п.т.	
Быстродействие (время)	-	п.т.	-	п.т.
Безопасность	п.т.	-	п.т.	

Рисунок 3. 8**.** Фрагмент матрицы разрешения типовых противоречий

Теперь можно заполнить клетки матрицы разрешения технических противоречий (рис. 3.8), т.е. вместо m.n. записать приемы повышения видимости для случая, когда увеличивается скорость автомобиля и падает безопасность поездки. Примерами могут быть улучшение зрения водителя (витамины для глаз), модернизация оптики автомобиля (зеркал заднего и бокового вида, противотуманных фар, сигналов габарита и стоп-сигнала и т.п.), модернизация дороги (выявление и обозначение крутых поворотов, т.е. установка флагов катастрофы, спрямление, модернизация освещения и п.), разгон туч и борьба со смогом.

Свойство нормального (внешнего) управляющего параметра *b* равно кубу от свойства координаты катастрофы, т.е. $b=C \cdot C \cdot C$. Параметр *b* появляется после формирования модели системы в виде ТП, т.е. этот параметр является внешним по отношению к ТП и появляется он в АРИЗ как средство разрешения противоречия, а таким средством является Х-элемент. Таким образом, свойство Х-элемента определяет свойство внешнего управляющего параметра *b*.

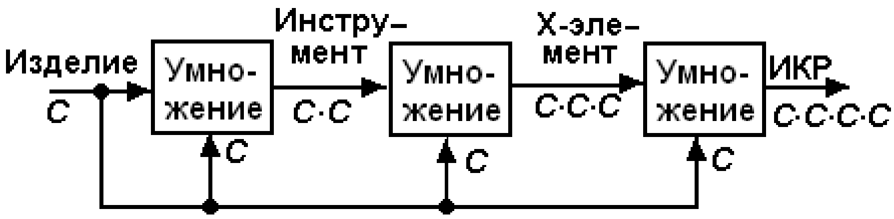


Рисунок3.9. Структурная модель изобретательской задачи

Свойство идеального конечного результата имеет размер четвертой степени координаты катастрофы (свойства изделия), т.е. ИКР= $C \bullet C \bullet C \bullet C = a \bullet C \bullet C = b \bullet C$.

Таким образом, ИКР или близкий к нему результат, или вообще положительный результат решения задачи, по размерности будет равен потенциальной функции катастрофы типа «сборки», взятой с отрицательным знаком. Она же является нежелательным эффектом изобретательской задачи, который необходимо минимизировать.

Для движения автомобиля при изменении видимости, свойством изделия будет вероятность аварии, свойством инструмента будет скорость автомобиля, свойством Х-элемента будет видимость, а свойством ИКР будет качество хорошей работы (рис. 3.9).

3.6. Скоростная инновация в рамках катастрофы типа "сборки"

Определим скоростную инновацию как режим самого быстрого стремления системы к идеальному конечному результату (ИКР). ИКР для катастрофы типа "сборки" можно представить не только в виде схемы для размерностей, но и в виде схемы, отражающей влияние координаты и управляющих параметров на ИКР. Например, для примера с автомобилем эту схему можно представить в виде рис. 3.10.

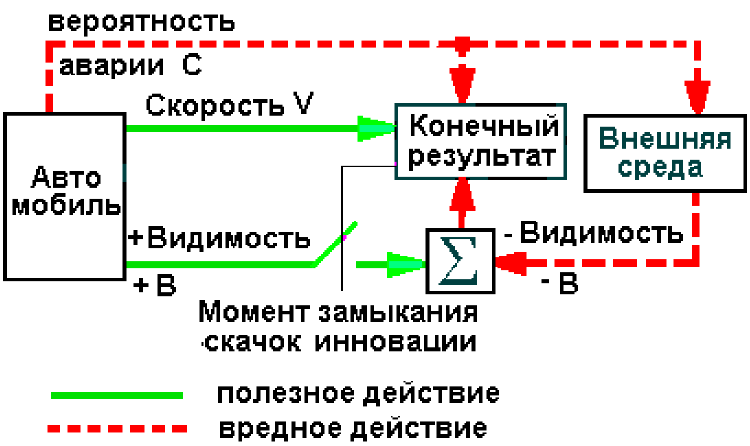


Рисунок 3.10. Влияние управляющих параметров и координаты катастрофы на ИКР

Из схемы видно, что идеальный конечный результат зависит от координаты катастрофы, задающий свойство C – вероятность аварии, и двух управляющих параметров: скорости V и видимости B. До замыкания ключа инновации видимость задаётся внешней средой и рассматривается как вредное действие, например, туман. Поэтому видимость внешней среды отрицательная.

В момент скачка инновации (включения противотуманных фар на автомобиле, например) общая видимость уже будет равна суммарной, с учетом положительной видимости от фар. Если конечный результат нас не устраивает, надо готовиться к скоростной инновации.

Как уже отмечалось, скоростная инновация должна представлять собой скачок из одного состояния системы (от одного свойства изделия), которое мы считаем плохим, в другое, которое мы считаем хорошим. Для организации скачка в нашем распоряжении имеется два управляющих параметра: внутренний и внешний. Ранее уже рассматривались скачки при постоянном одном параметре и изменении другого параметра, например, рисковая стратегия увеличения скорости автомобиля при постоянной низкой видимости в окружающей среде.

Однако можно ли считать эту стратегию скоростной инновацией? Очевидно, нет, поскольку во время рисковой инновации внешняя среда может увеличить противодействие, т.е. видимость может не оставаться постоянной, а снижаться. Тогда возрастает риск перехода на опасную верхнюю ветвь высокой вероятности аварии.

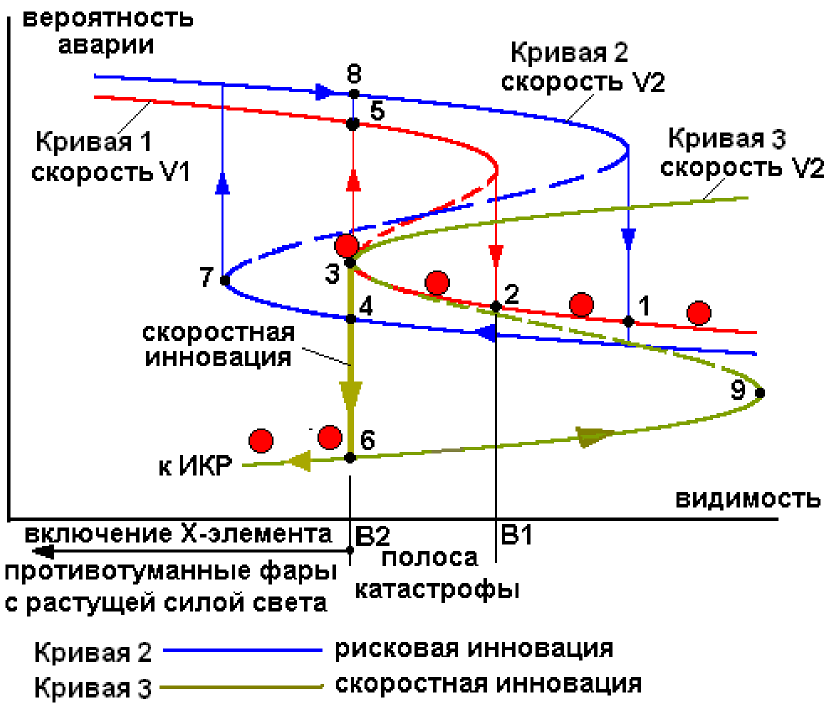


Рисунок3. 11. Сравнение рисковой и скоростной инноваций

На рис. 3.11 график рисковой инновации представлен кривой 2 (синий цвет), кривая 3 – скоростная (коричневый цвет). В исходном состоянии система (красный кружок) находится на нижней красной ветви 1-2-3 кривой 1 при малой скорости V1. При уменьшении видимости до В2 в критической точке 3, если не предпринять инноваций, будет скачок на опасную верхнюю ветвь в точку 5. Для исключения “плохой” катастрофы в точке 3 организуется либо рисковая инновация либо скоростная инновация При скоростной инновации увеличивается скорость до V2. При скорости V2 конечный результат улучшается, система переходит в точку 4, однако при ухудшении видимости вероятность аварии все-таки растет, когда система будет двигаться по нижней синей ветви 4-7, кривой 2. Возможный же переход в точку 8 при рисковой инновации вообще никуда не годится.

При **скоростной инновации** в критической точке 3 **одновременно меняются оба управляющих параметра: внутренний и внешний**. Скорость увеличиваем также с V1 до V2, а у внешнего управляющего параметра меняем знак. Тогда бифуркационная кривая 3 зеркально отражается относительно кривой 2 в другую сторону, и становится как кривая на рисунке 2.2. Применительно к автомобилю это означает, например, включение противотуманных фар с увеличивающейся силой света по мере сгущения тьмы. Система проваливается в точку 8 и дальнейшее положение (от точки 6 влево к ИКР) будет соответствовать стремлению к идеальному конечному результату, потому что и скорость увеличилась, и вероятность аварии падает. Если тьма не сгущается, то можно не увеличивать силу света и оставаться в точке 6. Если тьма будет сгущаться, а силу света не увеличивать, то система будет от точки 6 сдвигаться вправо к точке 9, при этом будет возрастать вероятность аварии. Кроме того, появится альтернатива перескочить на верхнюю, более опасную ветвь коричневой кривой 2 скоростной инновации.

Необходимо отметить, что в рассмотренном анализе использован принцип наибольшего промедления. Если использовать принцип Максвелла, тогда скоростную инновацию надо начинать раньше, пока не наступила полоса катастрофы, т.е. в точке 2 нижней ветви красной кривой 1 (рисунок 3.12). В остальном анализ ничем не отличается от предыдущего случая.

Скоростная инновация при использовании принципа Максвелла более надежная. Она начинается прежде, чем система попадает в полосу катастрофы. и может быть применена, когда не учтённые случайные флюктуации могут нарушить принцип максимального промедления и “выбить” систему из лучшего состояния.

Естественно возникает вопрос, зачем же тогда использовать максимальное промедление? Принцип Максвелла имеет свои недостатки, поскольку внедрение инноваций начинается раньше, чем оценены и выявлены эти самые случайные флюктуации. Например, еще светло, а мы уже разработали, поставили на автомобиль и включили нашу противотуманную фару с переменной силой света.

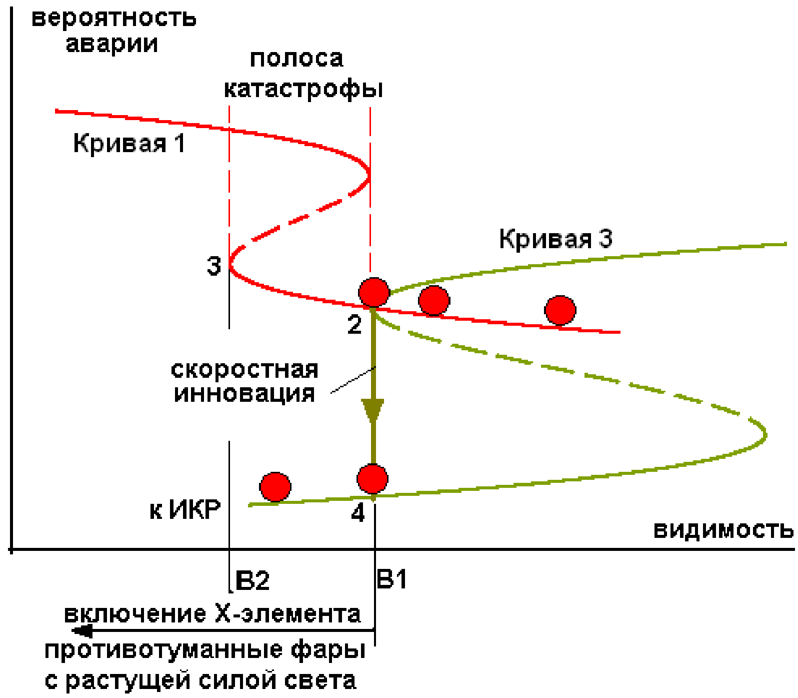


Рисунок 3.12. Скоростная инновация с принципом Максвелла

В этот момент произошли случайные флюктуации: поставили столбы освещения на дороге или заменили перегоревшие лампы на них и т.п. Тогда наша преждевременная инновация не принесет нам дохода.

В принципе максимального промедления, уже в полосе катастрофы, мы можем исследовать и оценить эти случайные флюктуации, хотя бы потому, что они там уже есть, и разработать свои инновации, которые либо устраняли бы вредные флюктуации, либо подхватывали и развивали полезные флюктуации.

Отсюда вытекают некоторые рекомендации по использованию принципа максимального промедления, связанные уже не с теорией катастроф, а с синергетикой, принципами самоорганизации систем.

Система, желающая хорошо пройти катастрофу, должна иметь случайные, хаотические колебания поисковые движения, пусть даже небольшой интенсивности, но много разных. В соответствии с принципами синергетики переход от хаотических движений к одному, согласованному движению всей системы осуществляется под действием небольшого числа (даже одного) так называемых параметров порядка.

Параметры порядка – это те движения из общей массы хаотических, которые улавливают ведущую флюктуацию, главную тенденцию внешней среды и резонируют с ней, вынуждая все остальные хаотические движения подстраиваться под параметры порядка. В этот момент в системе нужно включить положительную обратную связь, т.е. параметры порядка (подразделения фирмы, процессы, люди, резонирующие с главной флюктуацией внешней среды) должны быть поставлены на первое место в системе. Они и определят дальнейшее движение системы. Собственно, это и будет момент хорошей катастрофы, т.е. переход в новое качество.

3.7. Соотношения между параметрами катастрофы

Для управления катастрофой, как уже отмечалось, в нашем распоряжении имеется два управляющих параметра: внутренний и внешний. Встает вопрос, какое же соотношение между ними может быть, т.е. проще, какой больше, а какой меньше?

Рассмотрим вопрос более подробно. Катастрофу типа "сборки" определяют 4 показателя: свойство C (или координата системы), внутренний a и внешний b управляющий параметры, и потенциальная функция, задающая нежелательный эффект. В результате катастрофы нежелательный эффект должен быть скомпенсирован. Чем больше нежелательный эффект, тем больше мы должны затратить усилий для его компенсации. Следовательно, расход управляющих параметров должен быть больше. Величина нежелательного эффекта, взятая с другим знаком, может считаться положительным эффектом. Действительно, устранение нежелательного эффекта - это хорошо. И чем больше мы устраним нежелательного эффекта, тем больше получим положительного.

Однако в теории катастроф численное значение минимума потенциальной функции не существенно, поскольку любая потенциальная функция определяется с точностью до некоторой аддитивной константы.

Например, в физической системе потенциальная энергия камня массой m, поднятого на высоту h от уровня земли, равна $П=mgh$, где g - ускорение свободного падения. За уровень отсчёта потенциальной функции принята поверхность земли. Но уровень поверхности в разных точках земного шара разный, есть горы, есть впадины. И если размещать камень на одинаковом расстоянии от центра земного шара, то в разных географических точках потенциальная энергия камня будет разной. Всё зависит от точки отсчёта, которая появляется только в конкретной задаче. Для самой же теории важно только наличие «ямки» или «холма», т.е. устойчивого или неустойчивого состояний равновесия. Глубина «ямки» или высота «холма» не существенны. В этом смысле АРИЗ похож на теорию катастроф. В АРИЗ также не задаются какие-либо численные показатели, только выбираются их некоторые крайние состояния. Например, в задаче об автобусе в качестве состояния инструмента можно выбрать очень большие габариты, как бы «крайнюю» длину автобуса для обеспечения комфортабельности. Что значит крайняя в сторону увеличения? Крайняя длина ограничена размерами гаража. Но автобус можно хранить и без гаража, на открытой стоянке. Тогда крайние размеры будут определяться шириной перекрёстков улиц, где автобусу придётся поворачиваться. Это обстоятельство необходимо учитывать при численном моделировании конкретных изобретательских задач.

В общем случае, без численных значений управляющих параметров, их влияние на конечный результат или на потенциальную функцию, можно оценить следующим образом.

Обратимся снова к бифуркационной диаграмме, задающей катастрофу (рисунок. 3.13). Для принципа максимального промедления при уменьшении видимости движемся по кривой 1-2-3. При увеличении видимости движемся по кривой 3-4-1.Границы этих кривых образуют петлю гистерезиса. Качественно, на размерном уровне оценим площадь петли *S*. Очевидно, площадь петли оценивается произведением ординаты на абсциссу графика, т.е. $S = C \bullet b$.

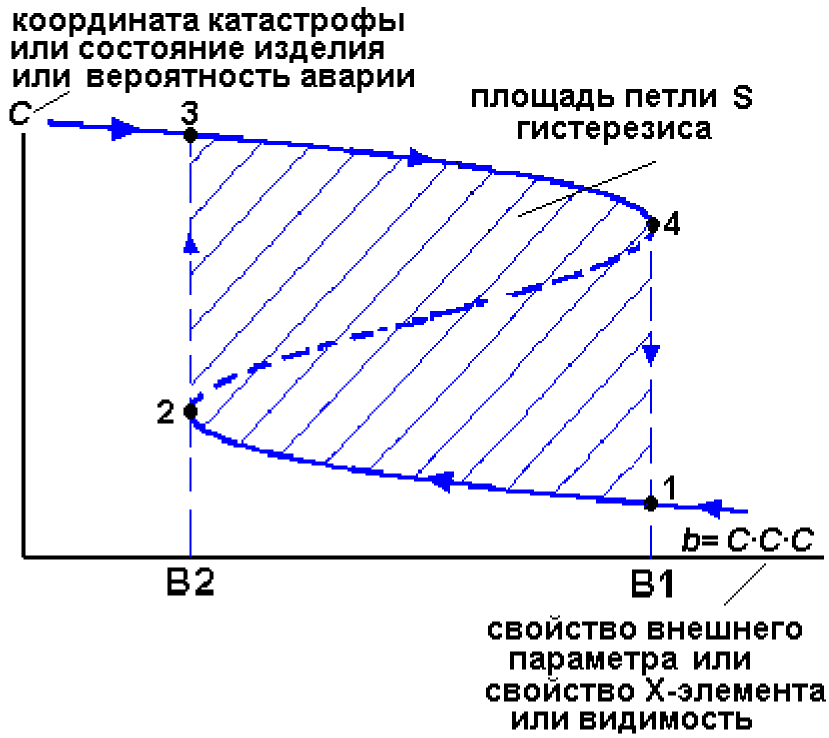


Рисунок 3.13. Нежелательный эффект как площадь петли гистерезиса бифуркационной кривой

Таким образом, можно сделать вывод, что площадь петли гистерезиса по величине определяет потенциальную функцию катастрофы, или нежелательный эффект, или, взятый с другим знаком, положительный конечный результат КР= *C* • *C* • *C* • *C*= *a* • *C* • *C*= *b* • *C*.

Следовательно, для скоростной инновации или для исключения банкротства фирмы, надо затратить энергию, равную площади гистерезиса. На энергетические усилия расходуются управляющие параметры, от которых зависит площадь петли. Но реализовать одну и ту же площадь можно разными способами, можно сделать узкую и высокую петлю (рисунок 3.14), а можно - широкую и низкую (рисунок 3.15).

Как оказывается, на площадь петли влияет внутренний управляющий параметр *a,* при его увеличении растет высота и ширина петли, а при его уменьшении высота и ширина петли уменьшаются. Внешний управляющий параметр *b* влияет на ширину петли Δb=B1- B2, он устанавливает ее ширину своими критическими значениями B1 и B2, но влияние это косвенное, так как критические значения зависят от внутреннего управляющего параметра *a.*

Будем считать, что внутренний управлявший параметр означает наш собственный "напряг", наши усилия, нашу мощь, а внешний управляющий параметр означает действия противника, конкурента, Пока наша мощь ниже некоторого критического значения *a*кр*,* противник не имеет большой возможности испортить наш бизнес, какой бы силы он ни был. Как ни сгущайся темнота, но если автомобиль стоит, никакой аварии не будет. Естественно, противник - только темнота, а тихонько ехать можно и при сильной темноте, но немножко все-таки он портит нам дело.

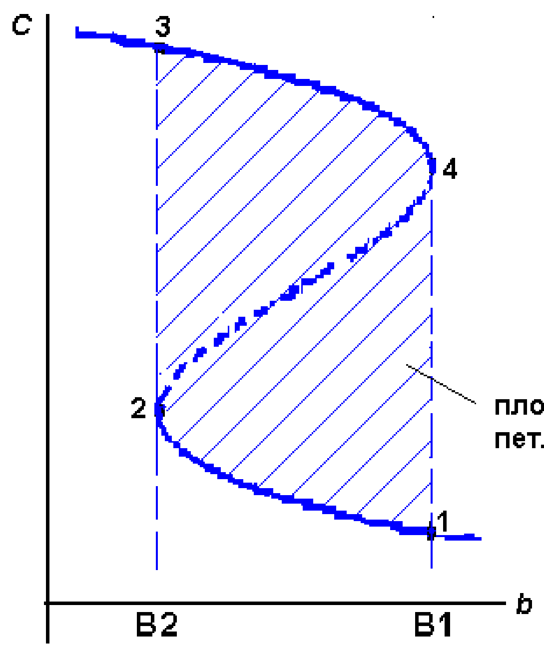


Рисунок 3.14**.** Узкая и высокая петля гистерезиса

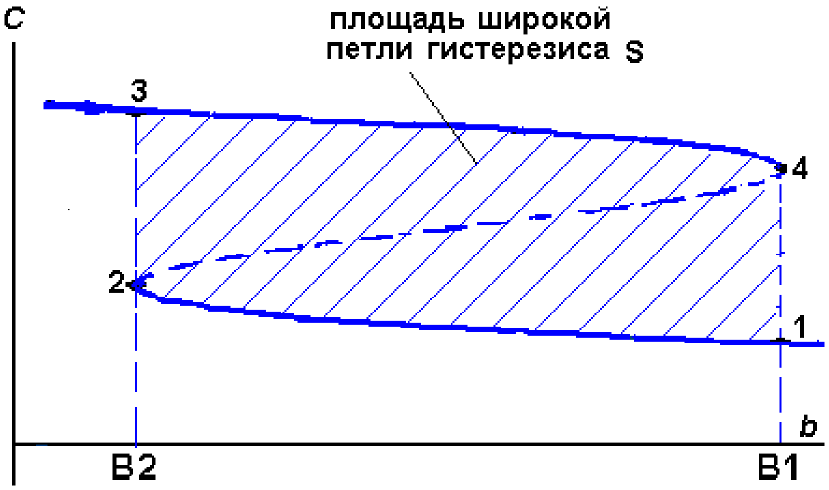


Рисунок 3.15. Широкая и низкая петля гистерезиса

Как только мы увеличили свою мощь выше *акр* для получения большей прибыли, то тем самым открыли **сами** возможность противнику более сильно влиять на наш бизнес. Например, если $a = a1$, а противник слабый – уровня $b1$, то он не имеет возможности нам сильно вредить (рис. 3.16), потому что точка $a1,b1$ далеко от кривой катастрофы. Но если противник сильный - уровня *b2*, то он уже создает для нас риск, пусть в узкой, но существующей уже полосе гистерезиса.

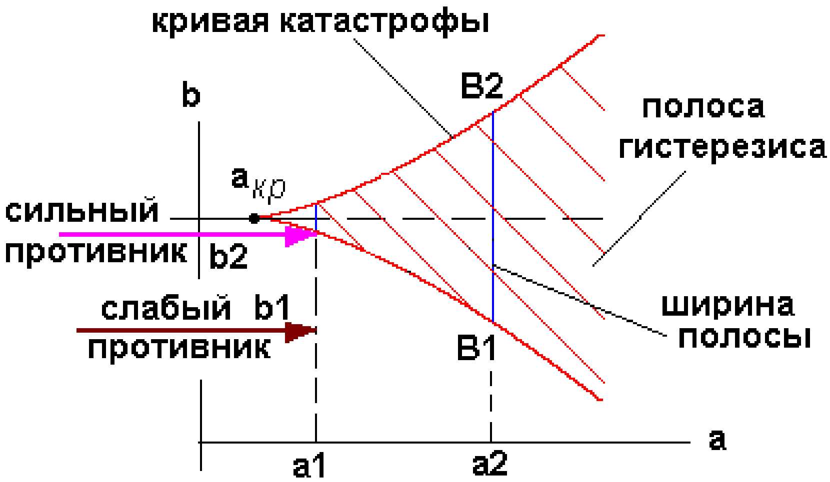


Рисунок 3.16. Кривая катастроф

Если мы еще больше усилим свою мощь до $a2$, тогда уже и слабый противник $b1$может повлиять на наш бизнес. Эта ситуация позволяет оценить уровень флюктуаций, при которых возможна катастрофа. Если считать слабого противника теми самыми случайными флюктуациями, тогда при нашем собственном “напряге”, равном $a1$, уровень флюктуаций, которые могут привести нас к катастрофе, оценивается величиной $b1$.

Если мы не хотим попадать в полосу петли, полосу риска, необходимо снижать свой «напряг», тогда падает чувствительность к изменениям, правда, тогда сам становишься случайной флюктуацией из-за падения выпуска продукции. Например, если видимость на дороге снизилась немного, а мы также снизили скорость автомобиля из расчета не попадать в полосу риска, тогда действительно вероятность аварии будет очень маленькой, практически, нулевой, зато мы больше проиграем во времени перевозки груза из-за снижения скорости, чем выиграем от безаварийности. Поэтому имеется некоторое критическое значение *С*кр свойства *С* системы (выпуска продукции, уровня аварийности и т.п.), ниже которого не стоит опускаться (рисунок 3.17). Собственно, эта величина и задает самую малую высоту петли гистерезиса. Самая большая высота петли будет ограничена малым значением параметра *а,* т.е. нашими малыми усилиями. В случае катастрофы падать будет не так больно, ведь чем выше забрался - тем сильнее упадешь.

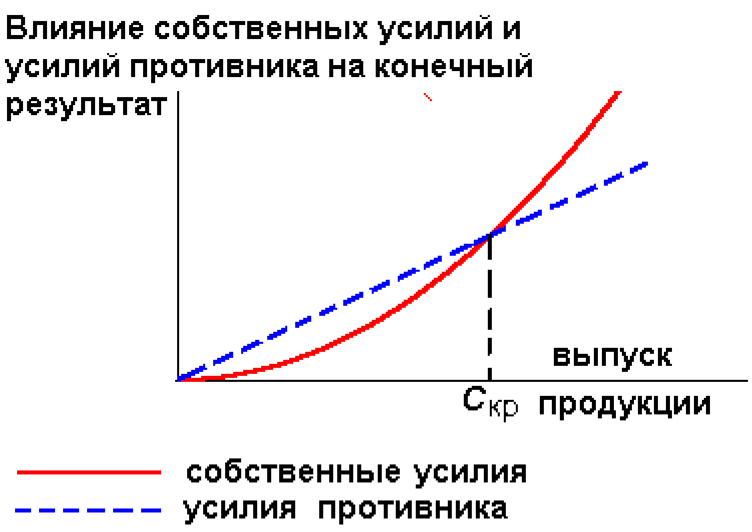


Рисунок 3.17. Критическое значение выпуска продукции

3.8. Некоторые выводы по скоростной инновации

1.Для режима скоростной инновации необходимо напрягать собственные усилия фирмы, свой внутренний управляющий параметр, свой инструмент (в рамках АРИЗ). Тем самым расширяется полоса риска, и даже малые по силе, свои собственные, внутренние случайные поиски, могут привести к скачку инновации.

2. Относительная сила своей мощности и сила случайных поисков может быть оценена по кривой катастрофы типа «сборки»

3. Чем выше напряжение, усилие системы, тем выше будет скачок в результате инновации, так как высота петли гистерезиса при этом возрастает.

4. При скоростной инновации получается широкая и высокая петля гистерезиса, поэтому площадь петли будет большой. Это означает, что конечный результат, выигрыш будет также большим.

4.Аналитический метод поиска свойств ресурсов в изобретательской задаче

В результате решения изобретательской задачи по первой части АРИЗ-85В[1] формируется модель технической системы в виде технического противоречия с двумя конфликтными свойствами и неизвестного пока Х-элемента, который и должен разрешить противоречие. Во второй части анализируются пространственно-временные, а также вещественно-полевые ресурсы, из которых в дальнейшем и выбирается Х-элемент. Таким образом, в сознании формируется некоторый образ Х-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.

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 Х-элемент в определенном пространстве и времени. Эта задача решается в третьей части АРИЗ при формулировке физического противоречия. Например, Х-элемент должен быть горячим и холодным, или легким и тяжелым и т.п. Но понятия свойств в нашем сознании дискретны. Конечно, Х-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. 4.1. 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 Х-элемента.

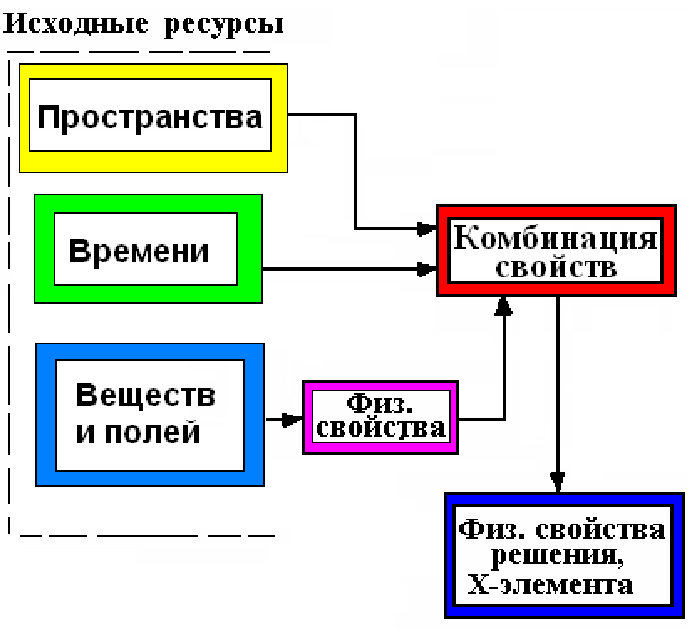


Рисунок 4.1. Структурная модель преобразования ресурсов физических свойств

Для математического представления операции комбинирования физических свойств и получения решения рассмотрим систему кинематических величин Р.О. Бартини [14].

4.1. Система кинематических величин Р.О. Бартини

Система Бартини сведена в таблицу 1, в которой представлены размерности физических величин в LT-базисе. Основными единицами в LT-базисе являются метр и секунда, т.е. размерности длины и времени (рис. 4.2).

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} [м^4/с^4], давление - L^2T^{-4} [м^2/с^4], энергия и статистическая температура – L^5T^{-4} [м^5/с^4] и т.д. Числа m и n - любые целые, и для реального трехмерного пространства $|m+n|\leq 3$.

Входными данными при поиске являются факторы, влияющие на выполнение производственной функции. Например, альтернативные свойства технических противоречий, такие, как в таблице 1 типовых приемов устранения ТП (вес, длина, объем, скорость, давление, температура и т.п).

Выходом являются аналогичные свойства Х-элемента, разрешающего противоречие. Решение ищется на пересечении трендов. Строки таблицы Бартини образуют пространственные тренды, столбцы – временные тренды, а диагонали – тренды вещественно-полевых ресурсов (ВПР).

D.	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5	L^6
T^{-5}	L^1T^{-5}	L^2T^{-5}	Поверхн. мощности	L^4T^{-5}	Мощность	L^6T^{-5}
T^{-4}	Удельный вес Градиент давления	Давление	Поверхн. натяжение Жесткость	Сила	Энергия Темпера – тура	L^6T^{-4}
T^{-3}	Плотность потока	Вязкость	Ток Массовый расход	Импульс	L^5T^{-3}	L^6T^{-3}
T^{-2}	Линейное ускорение	Разность потенциалов	Масса	Магнитный момент	Момент инерции	L^6T^{-2}
T^{-1}	Линейная скорость	Обильность двумерная	Расход объемный	Скорость смещения объема	L^5T^{-1}	L^6T^{-1}
T^0	Длина Емкость	Поверхность (площадь)	Объем	Момент инерции плоской фигуры	L^5T^0	L^6T^0

Рисунок 4.2. Фрагмент таблицы Бартини

4.2. Пример решения задачи в LT-базисе

Напомним, как решается известная в АРИЗ задача о запайке стеклянных ампул с жидким лекарством язычком пламени газовой горелки [15].

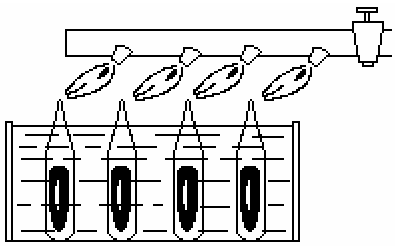


Рисунок 4.3. Задача о запайке ампул с лекарством

Нежелательным эффектом является брак – перегрев лекарства при слишком длинном язычке пламени и плохая запайка капилляра ампулы при слишком коротком язычке (рисунок 4.3). Решение задачи известно, Х-элементом является дешевый ресурс – вода, в которую устанавливаются ампулы перед запайкой. При решении задачи по АРИЗ инструментом выбирается язычок пламени, изделием – ампула с лекарством.

Поиск пространственного свойства Х-элемента происходит следующим образом. За состояние изделия выбираем длину оплавленного капилляра. Длина как кинематическая величина имеет в таблице Бартини следующую размерность $L^nT^m = L^1T^0$, где для физически реализуемых в трехмерном пространстве величин выполняется условие $|n+m|\leq 3$. За геометрический образ инструмента выбираем поверхность, т.е. пространство, на единицу больше, чем длина. Поверхность может рассматриваться как место контакта пламени и стекла ампулы и имеет размерность L^2T^0. Тогда геометрическое пространство Х-элемента должно быть на единицу больше, чем у инструмента, т.е. объём с размерностью L^3T^0. Пространственный тренд $L^1T^0 \rightarrow L^2T^0 \rightarrow L^3T^0$ показан в таблице красной стрелкой и является частью хорошо известного в ТРИЗ тренда «точка-линия-поверхность-объём». Таким образом, Х-элемент должен в пространственно-геометрическом смысле быть не точкой, не линией, не поверхностью, а именно объёмом.

Далее ищем временной ресурс Х-элемента на временном тренде L^3T^m, двигаясь по синей стрелке вверх или вниз. Никаких соображений, насколько двигаться и куда, или остаться в найденной клетке, нет. Однако ясно, что решение должно находиться в одной из клеток этого столбца L^3T^m.

Для окончания поиска найдем диагональный тренд ВПР. Воспользуемся логикой Бартини «И-И» и учтем два фактора, влияющих на производственную функцию: «И» длина оплавленного капилляра должна быть хорошей, «И» температура оплавления тоже должна быть хорошей (хорошими в смысле отсутствия брака). При логическом «И-И» размерности факторов перемножаются:

$$L^{n1}T^{m1} = C \cdot L^5T^{-4} \cdot L^1T^0, \qquad (1)$$

где $L^{n1}T^{m1}$ - размерность клетки диагонального тренда, на котором находится ВПР ресурс Х-элемента, L^5T^{-4} - размерность температуры, L^1T^0 - размерность длины , C - в общем случае, произведение размерностей некоторых неучтенных факторов, например, третьего, четвертого и т.д. При размерности C, равной L^0T^0, получаем клетку с размерностью

$$L^{n1}T^{m1} = L^0T^0 \cdot L^5T^{-4} \cdot L^1T^0 = L^6T^{-4}$$

на диагональном тренде ВПР, который называется родительским, и характерен тем, что для всех элементов тренда сумма $S=n+m=+2$. В таблице Бартини клетки этого тренда закрашены голубым цветом. Можно сказать, что длина и температура, конкурирующие свойства в ТП, являются как бы «родителями», передающими по наследству Х-элементу значение S=+2, Движение по родительскому тренду вниз влево по сиреневой стрелке даёт клетку пересечения с временным трендом L^3T^m. Клетка пересечения имеет размерность L^3T^{-1}, т.е. $м^3$/с, и является объёмным расходом. Это свойство и является результатом поиска. Таким образом, решение по таблице Бартини несколько отличается от решения по Альтшуллеру и Селюцкому, Х- элемент должен быть и/или получается расходуемым. Действительно, вода при запайке ампул испаряется, и для поддержания нужного уровня воды или длины торчащего из воды капилляра, воду надо в объём добавлять. Кроме того, лучше, если она будет проточной, отводящей тепло. Прямого указания на воду нет, охладителем может быть и другая жидкость, газ или даже, твердое тело типа льда. Решение получается на качественном уровне. Более подробно рассмотренный метод поиска решения приведен в [16].

4.3 Проблема численной оценки ресурсов

Поставим вопрос, возможно ли получить численные оценки ресурсов, например, количество кубических метров охладителя, и не просто охладителя, а именно, воды, расходуемых в секунду в процессе запайки ампул? В принципе, ответ положительный. Можно провести исследования задачи и получить дифференциальные уравнения процесса тепло- и массообмена в частных производных, что является трудоёмкой задачей. Да и не будут изобретатели этого делать. Не их это задача. Но если процесс установился, устойчив, то существует установившееся решение дифференциальных уравнений, которое является алгебраическим уравнением, связывающим входные и выходные величины. Возможно ли его получить, используя размерности Бартини?

Продолжим рассмотрение примера и составим формулу баланса размерностей ресурсов. Для этого в (1) подставим найденное решение

$$L^3T^{-1} = C \cdot L^5T^{-4} \cdot L^1T^0, \qquad (2)$$

откуда находим размерность фактора $C = L^{-3}T^3$. В таблице Бартини название такой физической величины не приведено, хотя она существует и физически реализуема, поскольку находится на диагональном тренде с показателем S=0, если продолжить тренд вниз влево. Зато существует величина с обратной размерностью L^3T^{-3}. Это ток или массовый расход. Поэтому выражение (2) для физической трактовки выгоднее записать в виде

$$L^1T^0 = \frac{L^3T^{-1} \cdot L^3T^{-3}}{L^5T^{-4}} \qquad (3)$$

Переходя в (3) от размерностей к самим физическим величинам, получаем формулу:

$$\ell = \frac{R \cdot Q}{\theta} \tag{4}$$

где полученные физические величины можно трактовать следующим образом: ℓ – длина оплавленного кончика капилляра, R – объемный расход охладителя, Q – массовый расход охладителя или просто поток, θ – температура плавления стекла ампулы.

Оценим физику процесса. Чем выше температура плавления стекла, тем меньшей длины можно оплавить кончик ампулы при постоянных потоках охладителя. Следовательно, обратная пропорциональность выполняется. Аналогично выполняется и прямая пропорциональность, чем выше расход охладителя, тем большую длину капилляра можно оплавить без порчи лекарства.

Однако численные расчеты по формулам, полученным из размерностей, могут быть не верными, потому что не учитывают безразмерные физические константы. Действительно, для получения размерности массы Бартини использовал подход Максвелла, который приравнял ньютоновские силы

$$F = ma = G\frac{M \cdot m}{R^2}, \tag{5}$$

где F - сила всемирного тяготения и инерционная сила, G – гравитационная постоянная, M и m – первая и вторая массы, a – ускорение, R – расстояние между центрами первой и второй масс. Назначая гравитационную постоянную безразмерной и, сокращая размерности масс в левой и правой частях, получаем выражение для размерности массы $[m] = L^3T^{-2}$. Размерность ускорения $[a] = L^1T^{-2}$, размерность расстояния $[R] = L^1T^0$.

Аналогично, как в механике, в электричестве назначается безразмерной электрическая постоянная ε_0. Например, емкость C плоского конденсатора рассчитывается по формуле

$$C = \varepsilon_o \varepsilon \frac{S}{d}, \tag{6}$$

где S - площадь пластин, d – расстояние между ними, ε – относительная диэлектрическая проницаемость. В системе СИ электрическая постоянная имеет размерность фарада/метр, а в системе Бартини она безразмерная, и уравнение для размерностей имеет вид

$$L^1T^0 = \frac{L^0T^0 \cdot L^0T^0 \cdot L^2T^0}{L^1T^0} = \frac{L^2T^0}{L^1T^0}. \tag{7}$$

Поэтому, при обратном восстановлении формулы для физических величин из выражения (7) для размерностей, теряется не только значение электрической постоянной, но и диэлектрические свойства материала.

В тепловых процессах в LT-базисе безразмерной физической константой является постоянная Больцмана B= 1,38064852(79)$\cdot 10^{-23}$ Дж$\cdot$К^{1}, связывающая статистическую температуру и энергию. При безразмерной постоянной Больцмана размерности статистической температуры и энергии совпадают. Бартини их поместил в одну клетку L^5T^{-4}. Поэтому в уравнении (4) величина θ, может рассматриваться не только как температура плавления стекла в кельвинах, но и энергия, расходуемая на нагрев стекла до оплавления.

Вообще, в системе Бартини все мировые физические константы безразмерные, кроме скорости света и ускорения свободного падения, поскольку размерности скорости и ускорения могут быть записаны через метр и секунду.

4.4. Направления возможного численного решения КПД Х-элемента.

Подведем итог – в результате поиска в задаче о запайке по размерности L^3T^{-1} удалось определить пространственный ресурс Х-элемента (он должен быть в объёме), и временной (объём должен изменяться во времени, т.е. иметь ненулевую скорость). Вещественный ресурс определить не удаётся. Поставим вопрос: чем отличается одно вещество от другого? Очевидно, своими характеристиками, и, если говорить узко – о физических веществах, а не об изобретательских в целом, то своими физическими характеристиками. А в формуле (1) баланса ресурсов их нет. Следовательно, их надо включить туда в виде дополнительного фактора. Как следует из (2), размерность этого фактора (или факторов) должна быть $C= L^{-3}T^{3}$, тогда мы сохраним баланс для пространственно-временного решения. Какие именно ресурсы вставлять, определяется тем, что мы отыскиваем свойства Х-элемента. Поэтому желательно в балансе ресурсов иметь именно его свойства, уже установленные, и вновь введенные.

Рассмотрим более подробно баланс (2). Левая часть – расход Х-элемента естественно оставляем. В правой части размерность L^5T^{-4} - температура плавления стекла ампулы или, как уже указывалось, эквивалентная ей энергия, расходуемая на оплавление.

Введем понятие – коэффициент η полезного действия Х-элемента следующим образом:

$$\eta = \frac{D}{YK + D} \qquad (8),$$

где под усилением конфликта YK понимается выбор крайнего состояния инструмента на шаге 1.5 АРИЗ-85В, D - действие Х-элемента – это его действие на шаге 1.6 по устранению вредного эффекта. Сумма в знаменателе (8) будет действие всего решения задачи.

Тогда в задаче о запайке действию всего решения задачи можно сопоставить всю энергию, выделяемую горелкой, при максимальной температуре (или максимальной длине пламени). Действие Х-элемента в энергетическом смысле будем оценивать через отводимую им энергию вредного перегрева лекарства.

С учетом кпд Х-элемента баланс (2) можно записать в виде

$$L^{3}T^{-1} = C\cdot\eta\cdot L^{5}T^{-4}\cdot L^{1}T^{0}, \qquad (9),$$

где размерность L^5T^{-4} учитывает максимальную энергию пламени горелки

Похожим образом поступаем и со вторым сомножителем $L^{1}T^{0}$. Вместо размерности длины оплавляемой части капилляра рассматриваем его как размерность длины охлаждаемой части ампулы, т.е. как ресурс длины, относящийся к Х-элементу. Тогда (9) можно записать в виде

$$L^3T^{-1} = \frac{C\cdot\eta\cdot L^5T^{-4}\cdot L^3T^0}{L^2T^0} = \frac{C\cdot\eta\cdot L^5T^{-4}}{L^2T^0\cdot L^{-3}T^0}, \qquad (10)$$

где L^3T^0 - размерность пространственного ресурса Х-элемента, т.е. объёма V, L^2T^0 - размерность поперечного сечения.

Осталось составить размерность коэффициента C. Заметим, что Х-элемент не охарактеризован как физическое вещество или поле, по которому его и можно опознавать. Для опознания можно порекомендовать удельные характеристики, например, удельный вес. Обратим внимание, что в таблице Бартини удельный вес занимает клетку L^1T^{-4}, а объёмный расход L^3T^{-1}. Разница между ними в том, что удельный вес разных веществ разный, а объёмный расход разных веществ может быть одинаковым. Удельный вес величина табличная, по которой можно опознать вещество. Кажется, что таких табличных характеристик приведено совсем немного, однако это не так, просто они не вписаны в соответствующие клетки таблицы Бартини. Для табличной характеристики Х-элемента выберем удельную теплоёмкость, потому что считаем известным, что Х-элемент предназначен для переноса тепла.

В физике используются массовая удельная теплоёмкость, измеряемая в Дж$\cdot$кг$^{-1}$К^{1}, и объёмная теплоёмкость, измеряемая в Дж$\cdot$м$^{-3}$К^{1}. Обратим внимание, что размерность постоянной Больцмана имеет вид Дж$\cdot$К^{1}. Тогда размерности частных от деления теплоёмкостей на постоянную Больцмана представляются в виде кг$^{-1}$ - для массовой удельной теплоемкости, и м$^{-3}$ - для объемной теплоемкости. В базисе Бартини. размерность последнего частного представляется в виде $L^{-3}T^{0}$.

Замечаем, что в (10) уже имеется размерность $L^{-3}T^{\,0}$, её и будем считать размерностью частного от деления объёмной теплоёмкости U для Х–элемента на постоянную Больцмана. Подставляя U/B в (10), получаем

$$L^3T^{-1} = \frac{C\cdot\eta\cdot L^5T^{-4}\cdot L^3T^0}{L^2T^0} = \frac{C\cdot\eta\cdot B\cdot L^5T^{-4}}{L^2T^0\cdot U} \qquad (11)$$

Учтем ещё одну физическую характеристику Х-элемента, имеющуюся в таблице Бартини, а именно, вязкость W с размерностью L^2T^{-3}, и выберем размерность коэффициента C по формуле

$$C = \frac{1}{L^1T^0\cdot L^2T^{-3}} = \frac{1}{L^1T^0\cdot W}\quad . \qquad (12)$$

Подставляя (12) в (11), получаем

$$L^3T^{-1} = \frac{\eta\cdot L^5T^{-4}}{L^3T^0\cdot U\cdot W} = \frac{\eta\cdot B\cdot L^5T^{-4}}{V\cdot U\cdot W} \qquad (13)$$

Переходя в (13) от размерностей к самим физическим величинам, получаем

$$R = \frac{\eta\cdot B\cdot Э}{V\cdot U\cdot W} \qquad (14)$$

где полученные физические величины можно трактовать следующим образом: R – объемный расход Х-элемента, η – кпд Х-элемента, $Э$ – максимальная энергия пламени горелки, V – объём Х-элемента, U – удельная теплоёмкость Х-элемента, W – динамическая вязкость Х-элемента, измеряемая в Па·с, B – постоянная Больцмана.

Проверим размерности в (14) в системе СИ.

$$\frac{м^3}{с} = \frac{\frac{Дж}{К}\cdot Дж}{м^3\ \frac{Дж}{м^3\cdot К}\cdot Па\cdot с} = \frac{\frac{Дж}{К}\cdot Н\cdot м}{м^3\ \frac{Дж}{м^3\cdot К}\cdot\frac{Н}{м^2}\cdot с}$$

Размерности левой и правой частей совпадают. Но для численных расчетов Х-элемента формула (14) не годится. Она справедлива с точностью до постоянного безразмерного множителя, который может быть не равен единице, например, число Авогадро и т.п. константы. По формуле (14) можно судить о прямой и обратной пропорциональности ресурсов, о связи пространственных ресурсов, с вещественными. Назначая какие-то ресурсы в формуле постоянными, мы получаем связи между оставшимися ресурсами. Например, можно зафиксировать объём V Х-элемента, зная длину ампул и площадь поперечного сечения деревянной кассеты, в которой стоят ампулы при запайке в прототипе, а также энергию $\eta Э$, подводимую от горелки. Эта энергия определяется свойствами стекла ампулы. Тогда в формуле остаётся только связь между расходом Х-элемента и его свойствами, объёмной теплоёмкостью и динамической вязкостью. Отсюда вытекают и рекомендации к выбору Х-элемента. Если мы хотим минимизировать его расход, то необходимо выбирать такой Х-элемент, у которого произведение удельной объёмной теплоемкости на динамическую вязкость является максимальной величиной [17].

Математически такая задача поиска Х-элемента сводится к задаче нелинейного программирования Лагранжа, т.е. поиска минимума функции нескольких переменных при ограничениях в виде равенств на некоторые из них, либо к задаче Куна-Таккера – при ограничениях в виде неравенств [18].

4.5. Некоторые выводы по аналитическому поиску ресурсов

1.Использование таблицы Бартини не позволяет получить точные формулы для численного поиска свойств Х-Элемента. Собственно, это справедливо для любой системы измерений, хоть СИ, хоть LT, поскольку теория размерностей позволяет восстановить формулу только с точностью до постоянного множителя.

2. Подбор переменных в балансной формуле не однозначный. Действительно, если в формуле (2) $L^3T^{-1}=C{\cdot}L^5T^{-4}\cdot L^{1}T^{0}\ {}^{-1}T^{0}$ размерность фактора $C= L^{-3}T^3$ выберем в виде произведения $C = L^{-2}T^{3}{\cdot}L$, тогда получим минимальную формулу связи энергии горелки с расходом Х-элемента, учитывающую только его динамическую вязкость W, т.е. $R = Э/W$. Из выражения исключен пространственный ресурс, объем Х-элемента, который в этом случае может быть переменным, а минимум расхода R достигается при максимальной динамической вязкости Х-элемента.

3.Очевидно, что необходимо стараться включить в балансную формулу как можно больше физических величин, характеризующих свойства Х-элемента. Тогда можно поставить задачу оптимизации - нахождение минимума расхода, объёма, массы, энергии (и т.п.) Х-элемента в зависимости от других его свойств, которые являются константами веществ или табличными величинами (типа динамическая вязкость, удельная теплоёмкость, удельный вес и др.).

4.Задача минимизации показателей Х-элемента вытекает из общего подхода ТРИЗ на получение идеального решения, чем меньше затраты на Х-элемент, тем идеальнее решение. Введение такого показателя как коэффициент полезного действия Х-элемента (8) позволяет сравнивать в рамках АРИЗа решения разных изобретательских задач. Если задача решена до шага 1.5 АРИЗа включительно, тогда кпд Х-элемента получается равным нулю. Применительно к задаче о запайке это эквивалентно установлению максимального пламени горелки и 100%-му оплавлению капилляра ампулы. Но поскольку задача не решена, дальше вступает в действие Х-элемент по отводу лишний энергии, перегревающей ампулу с лекарством. И чем больше его вклад, тем хуже решение с точки зрения идеальности, затрат Х-элемента. Для его численной оценки в задаче о запайке можно использовать соответствующие количества энергии, т.е. отношение энергии охлаждения к энергии горелка. Иначе, как из конкретной задачи, численных значений взять неоткуда. Очевидно, что для других задач можно взять отношения других показателей, например, объёмов, масс и т.п., тех показателей, которые характеризуют состояние инструмента в техническом противоречии. Чем меньше кпд Х-элемента, тем идеальнее решение.

Приложение

Приведем краткие сведения из статьи [19] В.Викулина «Система физических величин в размерности LT без подгоночных коэффициентов», в которой предлагаются соотношения между физическими величинами в LT-системе Бартини и в системе СИ.

Таблица 2. Соотношения физических величин в системах СИ и LT

Величина	Значение в СИ	Формула преобразования	Значение в LT
M - Масса	1кг	$M' = 4\pi GM$	1кг=8.385023892$\cdot 10^{-10}$ $м^3/с^2$
a,g - ускорение напряженность гравитац.поля	$м/с^2$		инвариант
Ф – потенциал гравитац.поля	$м^2/с^2$		инвариант
F- Сила	1Н	$F' = 4\pi GF$	1Н=8.385023892 $\cdot 10^{-10}$ $м^4/с^4$
W – энергия	1Дж	$W' = 4\pi GW$	1Дж=8.385023892 $\cdot 10^{-10}$ $м^5/с^4$
Q-эл.заряд	1Кл	$Q' = Q\sqrt{\frac{4\pi G}{\varepsilon_o}}$	1Кл = 9.731456551 $м^3/с^2$
I-эл.ток	1А	$I' = I\sqrt{\frac{4\pi G}{\varepsilon_o}}$	1А= 9.731456551 $м^3/с^3$
Е-напряженность эл.поля	1 В/м	$E' = E\sqrt{4\pi G\varepsilon_o}$	1В/м = 8.616411993 $\cdot 10^{-11}$ $м/с^2$
U- потенциал эл.поля	1 В	$U' = U\sqrt{4\pi G\varepsilon_o}$	1В = 8.616411993 $\cdot 10^{-11}$ $м^2/с^2$
С-эл.емкость	1 Ф	$C' = C'/\varepsilon_0$	1Ф= 1.129409383 $\cdot 10^{11}$ м
R-резистивность	1 Ом	$R' = \varepsilon_0 R$	1Ом =8.854185340 $\cdot 10^{-12}$ с /м
L-индуктивность	1 Гн	$L' = \varepsilon_0 L$	1Гн =8.854185340 $\cdot 10^{-12}$ $с^2$ /м

Для механических величин В.Викулин использует выражение (5), из которого следует, что размерность массы M' в LT-базисе равна $M' = 4\pi GM$, где M – размерность массы в системе СИ [кг], G - гравитационная постоянная.

Закон обратных квадратов записывается в нормированном виде, с коэффициентом 4π. Поэтому все производные механические величины, в которые масса входит в первой степени, приобретают коэффициент $4\pi G$.

Для электрических величин используется закон Кулона, в котором роль гравитационной постоянной играет электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума) ε_0. Соотношения между некоторыми механическими и электрическими величинами приведены в таблице 2.

Литература

1. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. – Петрозаводск: "Скандинавия", 2004. –208 с.
2. Петров В.М. Теория решения изобретательских задач. – М.: "Солон - пресс" , 2017. – 224 с.
3. Бушуев А.Б. Математическое моделирование процессов технического творчества – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 181 с.
4. Рубин М.С., Курьян А.Г. ТРИЗ-навигатор по бизнес-моделям. «ТРИЗ в развитии»/ Сборник научно-исследовательских трудов. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ.Выпуск 9. Санкт-Петербург, Россия, 2017. – С.206-227.
5. Рубин М.С., Курьян А.Г. Противоречия и элепольный анализ в бизнес-системах. «ТРИЗ в развитии»/ Сборник научно-исследовательских трудов. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ.Выпуск 9. Санкт-Петербург, Россия, 2017. – С.227- 244
6. Петров В. М. АРИЗ-2010.– Тел-Авив, 2009. http://www.trizsummit.ru/file.php/id/f4626/name/АРИЗ-2010-1.pdf
7. Арнольд В.И. Теория катастроф. - М.: Наука, 1990. - 128 с.
8. Стюарт И. Тайны катастрофы – М.: Мир, 1987. – 76 с.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров, М.: Наука, 1968 г. — с. 47.
10. Гитин А.В. / ТРИЗ и теория катастроф. //Тезисы докладов Международной Научно-практической конференции по ТРИЗ. Петрозаводск,1999.
11. Бушуев А.Б. , Мансурова О.К. Катастрофа типа "сборки" в изобретательской задаче. Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). Выпуск 11. Актуальные проблемы анализа и синтеза сложных технических систем. /под ред. Никифорова В.О. – СПб. СПбГИТМО (ТУ). 2003.

12. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. В двух томах. М.: Мир, 1984. Т.2. - 286 с.
13. Бушуев А.Б. Скоростная инновация в рамках теории катастроф и ТРИЗ. «ТРИЗ в развитии»/ Сборник научно-исследовательских трудов. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ. Выпуск 9. СПб, Россия, 2017. – С.41- 54.
14. Бартини Р.О., Кузнецов П.Г. Множественность геометрий и множественность физик. // Материалы семинара "Кибернетика электроэнергетических систем". Брянск, 1974. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.metodolog.ru/01380/01380.html
15. Г.С. Альтшуллер, А.Б. Селюцкий. Крылья для Икара: Как решать изобретательские задачи.- Петрозаводск: Карелия, 1980. - 224 С.
16. А.Б.Бушуев. Применение методов технического творчества в инновационной деятельности – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 124 с.
17. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации . Учебное пособие. — 2 изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 368 с.
18. А.Б.Бушуев. Поиск количественных оценок ресурсов в базисе Бартини /Сборник докладов VII международной конференции "ТРИЗ: практика применения и проблемы развития", Москва. 2015. С. 221—225.
19. Викулин Владимир. Система физических величин в размерности LT без подгоночных коэффициентов. v1.21, 04-08-2011 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://electricaleather.com/d/358095/d/lt5_norm1.pdf

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

Кафедра Систем управления и Информатики

Основана в 1945 году как подразделение основанного в тот же год факультета Электроприборостроения ЛИТМО и именовалась кафедрой Электроприборостроения (№80). В отличие от существовавших к тому моменту кафедр аналогичного профиля в ЛПИ им. М.И. Калинина и ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), на кафедру автоматики и телемеханики ЛИТМО была возложена задача подготовки специалистов по автоматизации приборостроительной, оптической и оборонной промышленности, автоматических систем управления, систем телемеханики и телеизмерений. За прошедшие годы подготовлено более 4000 дипломированных специалистов. Свыше 100 молодых ученых закончили аспирантуру и защитили кандидатские диссертации, 20 сотрудников защитили диссертации на соискание ученой степени доктора наук Ежегодно кафедра выпускает до 150 человек, включающих в себя бакалавров, магистров и специалистов. Выпускники кафедры работают в ведущих научных центрах и учебных заведениях России, Европы, Азии и Америки. Педагогический штат включает 4 профессоров и 13 доцентов.

Ученые кафедры издают монографии, печатаются в журналах академий наук РФ и стран бывшего СССР, отраслевых журналах, известиях высших учебных заведений, а также зарубежных журналах и трудах международных конференций. Сотрудниками кафедры опубликовано более 120 монографий и учебников, 250 методических и учебных пособий, 3500 статей, из них более 380 в журналах академий наук, около 300 статей и докладов в зарубежных научных изданиях. Ученые кафедры являются авторами более 600 изобретений, постоянно принимают участие в работе российских и зарубежных семинаров, конференций и конгрессов. Кафедра поддерживает контакты с 20 техническими зарубежными университетами.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Бушуев А.Б., Литвинов Ю.В

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА В ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлениям подготовки 27.04.03, 15.04.06 , 27.04.04 в качестве учебного пособия для реализации основных образовательных программ высшего образования магистратуры

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

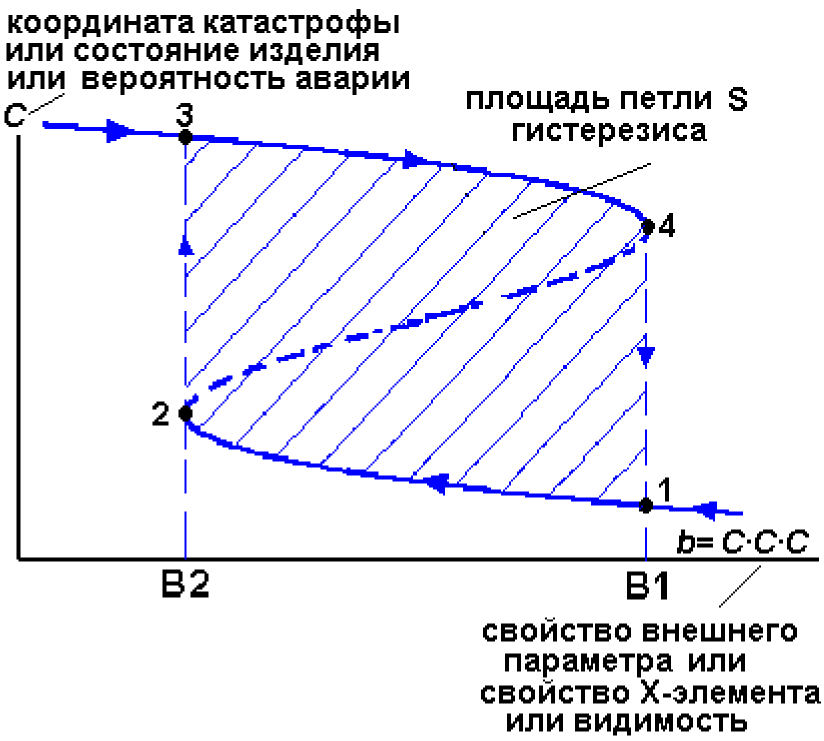
2017

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.Б. Бушуев, Ю.В.Литвинов

Применение методов технического творчества в экономических и технических задачах

Учебное пособие



Санкт-Петербург
2017

А.Б. Бушуев, Ю.В.Литвинов. Применение методов технического творчества в экономических и технических задачах – СПб, Университет ИТМО, 2017– 50 с.

Рецензенты:
Лямин А.В., к.т.н., доцент кафедры компьютерных образовательных программ Университета ИТМО.
Мансурова О.К., к.т.н., доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Санкт-Петербургского Горного Университета.

В учебном пособии рассмотрены методы системного анализа технических и организационно-экономических систем, основанные на едином подходе в рамках математической теории катастроф и теории решения изобретательских задач. Рассматривается модель так называемой «скоростной инновации» - скачкообразного изменения состояния фирмы, связанного либо с переходом к новой сфере деятельности, либо с банкротством. Для технических систем рассматривается задача аналитического поиска ресурсов при решении изобретательской задачи.

Учебное пособие может быть полезно для краткого первичного знакомства с основными положениями алгоритма решения изобретательских задач, и с некоторыми прикладными вопросами математической теории катастроф.

Рекомендовано к печати Экспертным советом Мегафакультета КТ и У, протокол №__5_от _04.12__2017 г

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО–ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 г статус национального исследовательского университета. С 2013 г Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентноспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как программа «5 в 100». Цель Университета ИТМО–становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

Оглавление

Предисловие

Цель пособия – показать, как можно простой математикой, на уровне студентов технических вузов, исследовать сложные процессы скачкообразных изменений в технических и экономических системах, и отыскивать ресурсы для этих изменений.

В первых двух разделах приводятся некоторые сведения из теории решения изобретательских задач, а также математической теории катастроф, необходимые для изучения последующих двух разделов. В частности, рассматривается укрупнено алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), понятия противоречий и ресурсы для их разрешения. В теории катастроф рассматривается каноническая катастрофа типа сборки, её бифуркационные диаграммы.

Третий раздел представляет собой оригинальный материал, в котором представлен анализ перехода производственно-экономической системы со старой на новую S-кривую развития как математическая катастрофа типа сборки. Установлена связь внутреннего и внешнего управляющих параметров катастрофы с объектами технического противоречия: инструментом и изделием, а также с Х-элементом и идеальным конечным результатом. Подробно рассмотрен скачок инновации на примерах транспортной системы и производственной фирмы.

В четвёртом разделе представлен аналитический поиск физических свойств решения изобретательской задачи в базисе Бартини. Используется аппарат теории размерностей для кодирования физических свойств и нахождения кода нового решения на качественном уровне.

Оригинальным материалом являются исследования по нахождению численного решения в LT-базисе. Показано, что численное решение получается с точностью до постоянного множителя. Для его точного определения предлагается решение сводить к экстремальной задаче нелинейного программирования.

Введено понятие коэффициента полезного действия Х-элемента, позволяющего оценивать работу изобретателя при решении задачи.

В приложении приведена таблица соотношений между физическими величинами в LT-системе Бартини и в системе СИ.

1. Некоторые сведения об алгоритме решения изобретательских задач

Авторами алгоритма решения изобретательских задач АРИЗ [1] являются советские ученые и исследователи Г.С.Альтшуллер и Р.Б. Шапиро. Первая их публикация АРИЗ появилась в 1956 г. в журнале «Вопросы психологии» № 6. В отличие от существовавших до того методов, АРИЗ относится к методам направленного поиска решения изобретательской задачи.

Изобретательская задача отличается от математической тем, что может иметь лишние исходные данные или не иметь некоторых данных необходимых для решения, а также иметь несколько ответов. В соответствии с известными законами диалектики (единства и борьбы противоположностей, перехода количественных изменений в качественные и отрицания отрицания) АРИЗ представляет собой цепочку последовательно обостряющихся противоречий: административное (АП) – техническое (ТП) – физическое (ФП) – идеальный конечный результат (ИКР) – решение задачи.

Процесс решения формируется решателем в виде этой цепочки, т.е. по сути, в виде словесной физико-диалектической модели. Модель описывает любую конкретную задачу на едином абстрактном уровне, затем на этом же уровне известными инструментами, образующими шаги АРИЗ, находится решение, которое и встраивается обратно в конкретную задачу.

Таким образом, можно оперировать одним алгоритмом с разными задачами. В то же время модели, формируемые разными решателями для одной и той же задачи, могут быть разными, поэтому и получается несколько решений. Это обстоятельство определяется тем, какие элементы задачи решатель выбирает противоречивыми. Первоначально АРИЗ создавался для технических задач, поэтому и термины противоречий пришли из техники.

АП – это противоречие между потребностью в решении задачи и отсутствием этого решения (нужно что-то сделать, но неясно как). Обычно это противоречие задается в виде так называемого нежелательного эффекта (НЭ), т.е. недостатка, который надо устранить. Например, есть потребность комфортно ездить в городском транспорте в часы пик, но она не решена, есть нежелательный эффект – «пробки» для индивидуального транспорта либо «давка» в общественном транспорте.

Следующее, более конкретное и обостренное противоречие – техническое. ТП отражает конфликт между свойствами или частями системы и проявляется в том, что при попытке улучшения одних свойств технической системы ухудшаются другие. Переход от АП к ТП может идти разными путями, один из них и должен выбрать решатель. Конкретика обостряет противоречие, значит, решение, по законам диалектики, становиться ближе. Из всего городского транспорта выберем, например, общественный, или более конкретно, пассажирский автобус. Его основные характеристики как транспортного средства – габариты, вместимость, скорость, дальность пробега с одной заправкой и некоторые другие. Если ставится задача комфортной перевозки, то можно ввести показатель комфортабельности, измеряемый, например, площадью салона автобуса, приходящейся на одно пассажира. Зависит комфортабельность от габаритов автобуса, чем больше автобус, тем комфортабельнее, может забрать всех пассажиров на остановке и перевести в комфортных условиях. Комфортабельность противоречит такому свойству автобуса как маневренность. Маневренность измеряется минимальным диаметром окружности, по которой автобус поворачивается на 360 градусов. Чем меньше габариты, тем меньше радиус, тем выше маневренность, зато меньше пассажиров может вместить автобус.

Техническое противоречие в АРИЗ формулируется в виде двух частей: ТП-1 и ТП-2 между двумя объектами системы, которые называются инструментом и изделием. ТП-1 отличается от ТП-2 разным состоянием инструмента. Например, выберем автобус инструментом.

Пусть в ТП-1 состояние инструмента – комфортабельный, а в ТП-2 маневренный автобус. Инструмент должен действовать (или бездействовать) на изделие хорошо (или полезно) и плохо (или вредно). Тогда ТП-1 формулируется следующим образом: если автобус комфортабельный, тогда он забирает много пассажиров (полезное действие на изделие – пассажиров), но мешает окружающему транспорту (врелное действие на изделие – окружающий транспорт).

Аналогично ТП-2 формулируется так: если автобус маневренный, то он забирает мало пассажиров (вредное действие на изделие – пассажиров), зато не мешает окружающему транспорту (полезное бездействие на изделие – окружающий транспорт).

Как видим, изделие получилось двойное: пассажиры + окружающий транспорт. Но так бывает не всегда, иногда изделие может состоять из одного объекта. Например, движущийся автобус перевозит пассажиров, но не позволяет им входить и выходить. Неподвижный автобус позволяет входить и выходить пассажирам, но не перевозит их.

Рисунок 1.1. Граф-схема ТП-1

На графической схеме технических противоречий инструмент и изделие обозначаются точками, полезное действие (или бездействие) инструмента на изделие показывается плавной линией, а вредное – волнистой. Состояние инструмента обозначается под его названием.

На рисунке 1.1. представлена граф-схема ТП-1 с подвижным автобусом (скорость V не равна нулю). На рисунке 1.2. представлена схема ТП-2 с неподвижным автобусом (скорость V=0).

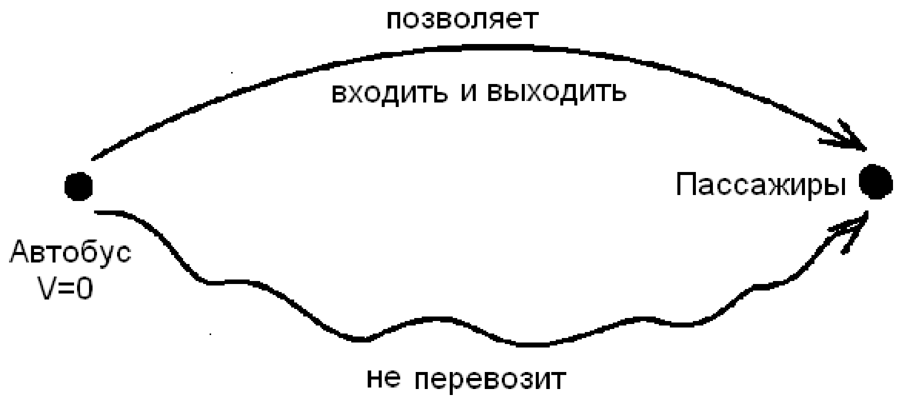


Рисунок 1.2. Граф-схема ТП-2

Если изделие двойное, то для него наносятся две точки, около каждой подписываются названия частей, например, пассажиры и окружающий транспорт, как в первом примере.

Правильная формулировка ТП важна с психологической точки зрения, она позволяет решателю понять задачу на уровне модели и заложить это понятие в свою память.

Решение задачи начинается с выбора технического противоречия ТП-1 или ТП-2. Выбор определяется названием задачи или нежелательным эффектом, который надо уменьшить. Если ставится задача о повышении комфортабельности, то выбирается ТП-1, а если маневренности, то ТП-1.

С математической точки зрения поиск решения в АРИЗ можно рассматривать как поиск некоторой неизвестной математической величины – x, или, как называется в АРИЗ, Х(икс)-элемента. Выбор ТП-1 или ТП-2 означает выбор знака этой величины, условно плюса или минуса. Остаётся только найти его величину, значение. Такой выбор, предложенный Г.С. Альтшуллером, реализует логику ИЛИ-ИЛИ, или ТП-1, или ТП-2. Выбор одной из альтернатив означает, что задача наполовину решена. Более того, дальше происходит усиление положительного свойства, рассматривается самый комфортабельный автобус, т.е. самых больших габаритов, какие только возможны. Ограничения заключаются в размерах гаража или парковочного места.

Далее осуществляется поиск Х-элемента среди веществ и полей задачи. Х-элемент это некоторое изменение в системе, некий Х вообще, это может быть и изменение уже существующих в системе элементов или, их состояний, или изменение внешней среды. Х-элемент должен быть такой, чтобы не мешать полезному действию выбранного ТП, выполняться и устранять вредное действие ТП или не давать ему выполняться.

Веществами называются элементы системы, а полями – действия веществ друг на друга. Такое разделение обязано формам существования материи в виде веществ и полей. Поля разделяются на механические, термические, химические, электрические и магнитные. Например, триада «Солнце греет Землю» имеет три элемента: два вещества – Солнце и Землю, и одно поле – термическое или нагрева. Графически изображается в виде веполя (вещество+поле). Веполь из трех элементов образует полную работоспособную структурную модель технической системы. (рисунок 1.3.)

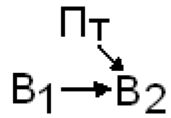


Рисунок 1.3. Полный веполь

В1 означает Солнце, В2 – Землю, а поле обозначено через Пт (термическое или тепловое). Рассмотрим еще пример получения структурной вепольной модели транспортной системы, которая словесно может быть задана высказыванием: автобус перевозит пассажиров.. Ясно, что веществом В1 можно назвать автобус, а веществом В2 пассажиров или пассажира. Действие – перевозит – относится к механическому перемещению, следовательно, надо выбрать механическое поле. Тогда структура системы будет представлять веполь на Рисунок 1.3, только поле будет механическим – Пмех.

Механических полей немного: поля давление, трения, поле действия центробежных сил, поле архимедовых сил, поле тяжести. Какое поле выбрать для модели автобуса с пассажирами? Очевидно, что самое подходящее из механических полей – поле давления, которое оказывает пол салона автобуса на ступни стоящего пассажира. Это поле по закону Ньютона противодействует силе тяжести человека. Обратите внимание, если бы не было поля давления на ступни, в невесомости, например, то пассажир в первый момент движения завис бы, и не перемещался вместе с автобусом, пока задняя стенка салона автобуса не оказала бы на него опять-таки поле давления.

Поля и вещества образуют так называемые вещественно-полевые ресурсы – ВПР, среди которых отыскивается Х-элемент. Кроме ВПР существуют ещё ресурсы пространства и времени. Пространственный ресурс (или оперативная зона - ОП) определяет место нахождения Х-элемента, его геометрию, форму, а временной ресурс (оперативное время – ОП) – время появления Х-элемента в системе, обычно рассматривается время до конфликта, время самого конфликт, либо время после конфликта.

Следующей важной частью АРИЗ является физическое противоречие – ФП. Физическое противоречие предъявляется к Х-элементу, это противоречие между двумя его противоположными физическими свойствами. Обратим внимание, что в отличие от предыдущей части АРИЗ, в которой определяется, что должен делать и не делать Х-элемент, т.е. в виде глагольных форм, то для определения ФП используются обычно прилагательные или причастия. Например, Х-элемент должен быть легким и тяжёлым, горячим и холодным, гладким и шероховатым, прозрачным и непрозрачным (или пропускающим газ, не пропускающим жидкость) и т.п. Строго два противоположных свойства обостряют конфликт в мышлении решателя. Решение ближе. Для разрешения ФП в АРИЗ имеются приемы, например, разрешение ФП в пространстве – в одной части оперативной зоны Х-элемент жесткий, а в другой –упругий.

Если в примере с автобусом мы выберем ТП-1, т.е. комфортабельный автобус, то он полезно действует на пассажиров в нутрии салона – комфортно перевозит их, зато вредно действует на окружающий транспорт вне своего салона, мешает ему своей плохой маневренностью. Сразу видно, что ОЗ являются боковые стенки салона. Именно там должен находиться Х-элемент. Сформулируем для него ФП, т.е. какой он должен быть, чтоб не мешать пассажирам комфортно проезжать, и не мешать городскому транспорту своими плохими манёврами. Как раз подходят два противоположных физических свойства – салон автобуса должен быть жестким для пассажиров, и гибким – для окружающего транспорта. Разрешение противоречия – в пространстве, центральная часть делается гибкой («гармошка»), а остальная – жесткой. Получается сочленённый автобус.

ФП могут также разрешаться и во времени, например, сначала Х-элемент жёсткий, потом гибкий. Даже в нашем примере можно эти свойства выявить–на остановке автобус жесткий, т.е. неподвижный (жесткость предполагает неподвижность), а во время поездки автобус гибкий (гибкость предполагает подвижность).

Кроме того, для разрешения ФП используются различные физические, химические, геометрические и другие эффекты. Базы данных с изобретательскими эффектами вместе с АРИЗ являются частью теории решения изобретательских задач - ТРИЗ, которая появилась позднее, чем АРИЗ, и в которую входят многие другие инструментальные средства решения.

Например, для разрешения ТП в ТРИЗ имеется таблица типовых приёмов. В левом столбце приводятся свойства, которые надо изменять при решении задачи, а в верхней строке - те же свойства, но которые ухудшаются при изменении. На пересечении строк и столбцов, в клетках приведены численные номера приемов, которые можно использовать для разрешения ТП. Содержание приёмов раскрывается в приложении к таблице, там же приводятся примеры из патентов, в которых разрешены подобные ТП. Фрагмент приведен в таблице 1.

Таблица 1. Приемы устранения типовых ТП

	1	2	3	4
Что ухудшается при изменении / Что нужно изменить по условиям задачи	Вес подвижного объекта	Вес неподвижного объекта	Длина подвижного объекта	Длина неподвижного объекта
1.Вес подвижного объекта			15, 8, 29, 34	
2.Вес неподвижного объекта				10, 1, 29, 35
3.Длина подвижного объекта	8, 15, 29, 34			
4.Длина неподвижного объекта		35, 28, 40, 29		

Всего таблица имеет 39 строк и столбцов со свойствами - длина, объем, время, скорость, давление, сила, температура и др.

Более подробно с ТРИЗ, и с АРИЗ, в частности, можно познакомиться в литературе [1-3].

За последние 30 лет методы ТРИЗ проникли в биологические, экономические, социальные системы. Начала складываться нетехническая ТРИЗ. В связи с этим названия противоречий стали изменяться.

В [4,5] для бизнес-систем техническое противоречие называется противоречием требований. Например, «нужно получить оплату после того, как продукт произведен и доставлен потребителю, чтобы потребитель при покупке осуществлял оплату привычным способом; но нужно получать оплату за продукт заранее, чтобы иметь средства для производства продукта». Физическое противоречие называется противоречием свойства: « Ассортимент должен быть узким, чтобы максимизировать доход на единицу; ассортимент должен быть широким, чтобы удовлетворять потребностям большего количества потребителей». Вепольный анализ называется элепольным, где элеполь рассматривается как элемент и поле.

В [6] В.М. Петров предлагает следующие названия противоречий: административное противоречие (АП) назвать поверхностным противоречием (ПП), техническое противоречие (ТП) – углубленным противоречием (УП), а физическое противоречие (ФП) – обостренным противоречием (ОП). Эти названия более универсальны и подходят как для технических, так и нетехнических систем, но единых названий, которых придерживается ТРИЗ, пока не выработано.

2. Некоторые сведения из математической теории катастроф

Первые публикации по этой теории [7,8] появились в 60-х годах XX века. В ее создании участвовали несколько ученых: Рене Том (Франция), К. Зиман и Дж. Мазер (США), В.И.Арнольд (СССР, затем Россия) и др.

Катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних или внутренних условий. Эти условия задаются управляющими параметрами. При катастрофе под действием управляющих параметров изменяется стационарное состояние системы, т.е. она переходит из одного стационарного состояния в другое. В простейшем случае под стационарным состоянием понимается неподвижное состояние равновесия. Как проходит переходный процесс - для теории катастроф, в сущности, неважно.

Р. Том доказал важную теорему в теории катастроф, которая помогла классифицировать катастрофы по типу, и ввел так называемые элементарные или канонические катастрофы. Одна элементарная катастрофа отличается от другой выражением потенциальной функции. Например, для катастрофы типа «складки» потенциальная функция $E(x,\lambda)$ задается математическим выражением

$$E(x,\lambda)=\frac{x^3}{3}-\lambda x$$

где x – координата катастрофы, λ – управляющий параметр. Для катастрофы типа «сборки» потенциальная функция имеет вид

$$E(x,\lambda,\mu)=\frac{x^4}{4}-\lambda\frac{x^2}{2}+\mu x$$

Сборка имеет два управляющих параметра λ и μ. Оба параметра λ и μ могут изменяться от $-\infty$ до $+\infty$. Графики изменения $E(x,\lambda,\mu)$ при некоторых постоянных значениях управляющих параметров приведены на рис. 2.1. Первый график (кривая 1 на рисунке 2.1) имеет одно стационарное состояние равновесия, в начале координат при x=0. Состояние равновесия устойчиво.

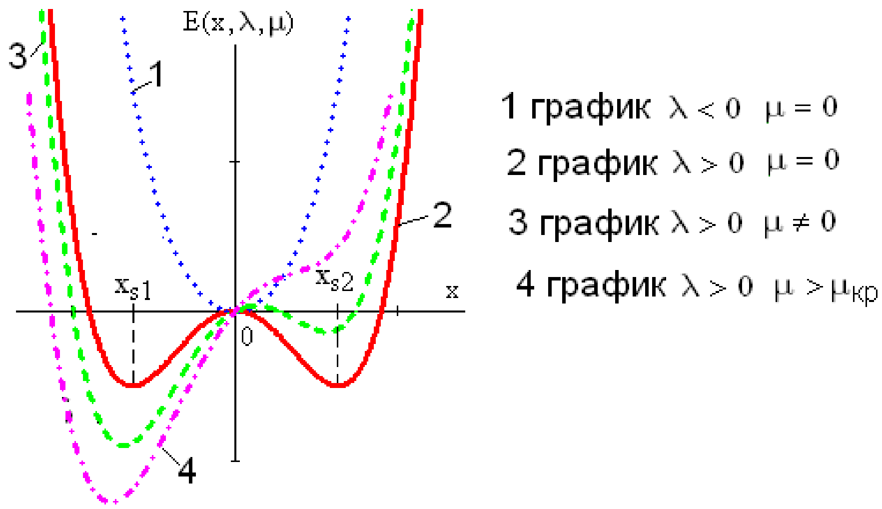


Рисунок 2.1. Графики потенциальной функции катастрофы типа «сборка»

Если мысленно бросить в ямку первого графика шарик, то он скатится на дно и там остановится. Как бы ни изменялся управляющий параметр λ, оставаясь отрицательным, на графике будет только изменяться наклон ветвей, но одно, устойчивое состояние равновесия, будет сохраняться.

Когда параметр принимает критическое значение λ=0, тогда и наступает катастрофа, на графике потенциальной функции появляются уже три состояния равновесия, два устойчивых x_{s1} и x_{s2}, расположенных симметрично относительно оси ординат, и одно неустойчивое состояние равновесия, в начале координат. Если λ увеличивать, то ямки симметрично раздвигаются и больше проваливаются, а центральный горбик растёт, но количество состояний равновесия и их качество (два устойчивых, одно неустойчивое) сохраняется. На третьем графике вступает в дело второй управляющий параметр μ (λ сохраняется постоянным и больше нуля), если μ>0, проваливается левая ямка, а правая подымается вверх, состояние симметрии нарушается. При критическом значении $\mu_{кр} = \pm\sqrt{\frac{4\lambda^3}{27}}$ правая ямка пропадает (4 график), снова наступает катастрофа – меняется число состояний равновесия, снова остаётся только одно, устойчивое состояние равновесия в левой ямке. При μ<0 левая и правая ямки меняются местами.

Как видно из рисунка 2.1. координаты стационарных состояний x_s передвигаются по оси абсцисс при изменении параметров λ и μ. Найдём зависимость x_s от λ и μ. Поскольку стационарные состояния определяют точки экстремумов потенциальной функции, то для их нахождения возьмём первую производную от потенциальной функции по координате x и приравняем её нулю

$$0 = x_s^3 - \lambda x_s + \mu$$

Корни, т.е. x_s, алгебраического уравнения, третьей степени можно найти по формуле Кардано [9]. Находить их не будем, а сразу построим зависимость x_s от μ при λ= Const>0 (рисунок 2.2.)

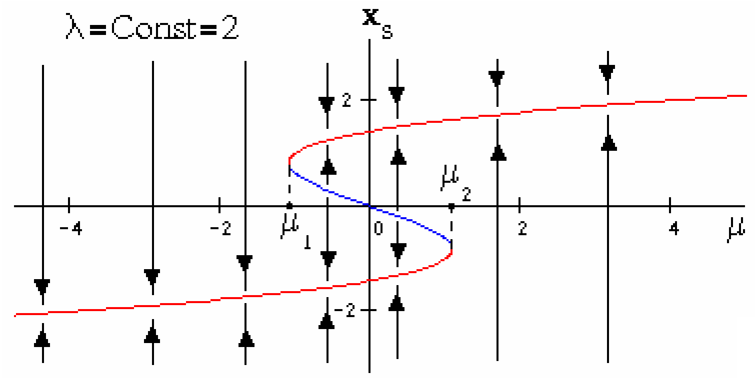


Рисунок 2.2. Бифуркационная диаграмма по параметру μ

Такой график называется бифуркационной диаграммой. Бифуркацией называется раздвоение, разветвление. Такое название дал французский математик Анри Пуанкаре, имея в виду переход от одного устойчивого состояния равновесия к двум устойчивым состояниям при критическом значении λ=0.

При $\mu_1<\mu<\mu_2$ график имеет 3 ветви, нижняя и верхняя означают устойчивые состояния равновесия, поэтому вертикальные стрелки к ним сходятся. Образно можно сказать, что шарик, брошенный в график потенциальной функции, сваливается в левую или правую ямки, или на нижнюю, или верхнюю ветки бифуркационной диаграммы. Центральная ветвь, с отрицательным наклоном, означает состояние неустойчивого равновесия, т.е. центральный горбик потенциальной функции. С него шарик скатывается в левую или в правую ямки потенциальной функции, или на нижнюю или на верхнюю ветки диаграммы. Поэтому вертикальные стрелки уходят от ветви неустойчивого равновесия. При $\mu_1<-\mu_{кр}$ и при $\mu_2>\mu_{кр}$ имеется по одной ветви устойчивого равновесия.

Кроме бифуркационных диаграмм для «сборки» строится также кривая катастроф, т. е. зависимость одного управляющего параметра от другого (рис. 2.3). Внутри заштрихованного острия находится закритичная область катастрофы, имеющая в потенциальной функции три состояния равновесия, две «ямки» и один «холм» между ними (графики 2,3,4 на рис. 2.1).

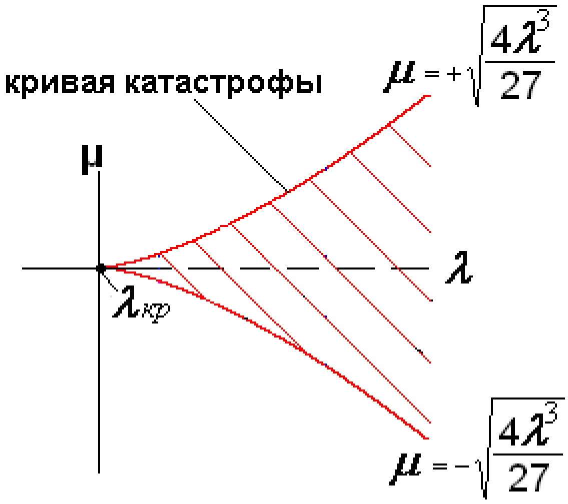


Рисунок 2.3. Кривая катастрофы «сборки»

Вне острия – докритичная область, где потенциальная функция имеет одно устойчивое состояние равновесия (график 1 на рис. 2.1).

Канонические катастрофы используются для получения математических моделей процессов, в которых могут происходить катастрофы. Выбор той или иной элементарной катастрофы, т.е. выражения для потенциальной функции $E(x,\lambda)$, зависит от того, сколько мы хотим учесть управляющих параметров или факторов, влияющих на катастрофу. Для физических систем потенциальная функция совпадает с их потенциальной энергией.

В изобретательских задачах используется катастрофа типа сборки, с двумя управляющими параметрами λ и μ. Она имеет в закритичной области два устойчивых равновесных состояния (рис.2.1), в левой ямке, условно говоря, находится «шарик» старого решения, прототипа, который в момент катастрофы перекатывается в правую ямку, что соответствует появлению нового решения [10]. Процесс получения нового решения рассматривается как мгновенный скачок мысли, «озарение» или инсайт.

Для моделирования ТП в АРИЗ тоже используется катастрофа типа сборки [11] В этом случае левая ямка функции $E(x,\lambda,\mu)$ рассматривается как минимум нежелательного, вредного действия в ТП-1, а правая ямка как минимум нежелательного, вредного действия в ТП-2, т.е. потенциальная функция представляет собой нежелательный эффект. Координата катастрофы *x* задает состояние изделия, параметр λ учитывает свойства инструмента, а параметр μ - свойство Х-элемента.

Для моделирования процесса единства и борьбы двух альтернативных свойств ТП используется двумерная катастрофа типа «гиперболическая омбилика» [3], у которой потенциальная функция $E(x,y, a, b, c)$ зависит от двух координат, например, *x* -маневренности, и *y* -комфортабельности в задаче об автобусе. Управляющих параметров три: *a* учитывает рождаемость новых идей, c и b учитывают забывание старых идей.

Для производственно-экономических задач также можно использовать катастрофу типа «сборка», в которой потенциальная функция рассматривается как издержки, затраты на производство продукции. Переход из состояния «высокой» ямки потенциальной функции в «низкую» ямку можно рассматривать как скоростную инновацию.

В заключение параграфа приведём так называемые «флаги катастроф». Это предупреждения, признаки, которые позволяют судить о возможной катастрофе в ходе моделируемого процесса. В книге [12] приводятся следующие флаги катастроф.

1. Несколько различных (устойчивых) состояний;
2. Существование неустойчивых состояний, из которых система выводится слабыми "толчками";
3. Возможность быстрого изменения системы при малых изменениях внешних условий;
4. Необратимость системы (невозможность вернуться к прежним условиям);
5. Гистерезис (когда процесс не полностью обратим, например, возврат в старое состояние требует больших затрат, чем затрачено на переход в новое);
6. ”Критическое замедление", когда множество усилий не приводит к сколько-нибудь заметному изменению системы.
7. Большой разброс результатов при одинаковых усилиях.

3.Скоростная инновация в производственно-экономической системе

3.1. S-кривая развития и катастрофы

Под скоростной инновацией будем понимать резкий скачок в изменении свойства производственно-экономической системы. Хорошо известно [1], что процесс эволюции любой системы отражается S-образной кривой развития (рис.3.1). Кривая развития имеет три характерных этапа: I – медленного роста, II – быстрого роста, III – медленного роста. На первом этапе медленное развитие объясняется тем, что скорости роста новой системы препятствует старая система, когда сильны противоречия между старым и новым. На втором этапе противоречия преодолеваются, и идёт быстрый рост новой системы.

Рисунок 3.1. Катастрофа на S-кривой

На третьем этапе система стареет, рост замедляется, силы уходят на борьбу с новой системой. Переход к новой системе в конце третьего этапа можно рассматривать с математической точки зрения как катастрофу, бифуркацию или разветвление процесса развития. Организацию сопротивления катастрофе (или движение по ветви 3), можно назвать усовершенствованием системы, технологического процесса, бизнеса, продукции и т.п. Если катастрофа неизбежна, то выбирается стратегия овладения катастрофой путем перехода к новому делу, новым процессам, новой продукции и т.п. (движение по ветви 1-2) с целью получения нового свойства системы, существенно превышающего старое свойство.

3.2. Катастрофа в производственно-экономической системе

Для наглядности рассмотрения S-кривую (рис.3.1) отразим сверху вниз и получим график потенциальной функции $E(x)$ для издержек (рис.3.2 а).

График потенциальной функции или издержек зависит, прежде всего, от координаты катастрофы, откладываемой по горизонтальной оси, в данном случае, это выпуск продукции.

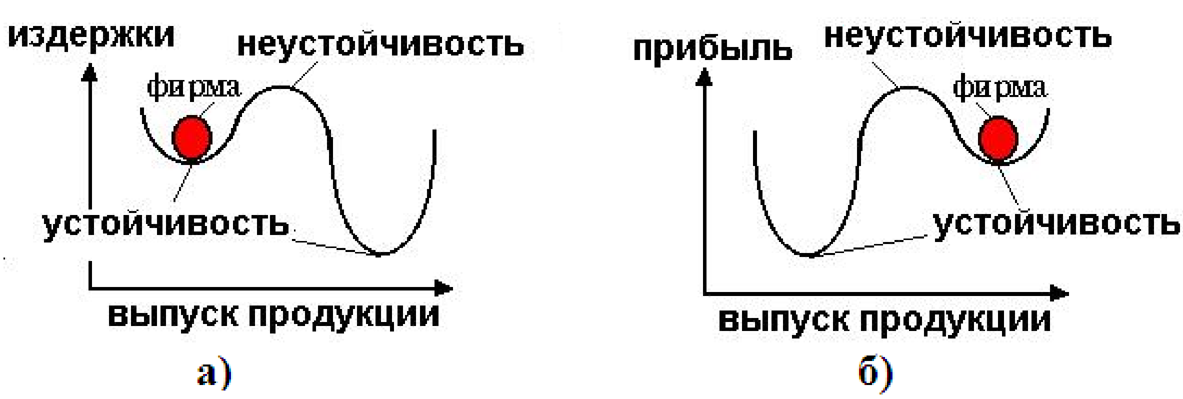


Рисунок 3.2. Потенциальные функции производственно-экономической системы

При меньшем выпуске фирма (шарик) работает устойчиво и находится в левой ямке. Так как имеется более выгодное, устойчивое рабочее состояние с меньшими издержками (правая ямка), то процесс внедрения инноваций можно рассматривать как повышение выпуска и переход фирмы в правую ямку. Этот переход можно назвать «хорошей» катастрофой, и ее надо хорошо организовать, преодолев холм неустойчивости.

Аналогично можно рассматривать и “плохую” катастрофу, когда фирма, снижая выпуск, переходит из правой устойчивой ямки в левую, тоже устойчивую ямку (рис. 3.2б). В этом случае в качестве потенциала можно использовать величину прибыли. Естественно, в этом случае главной задачей является противодействие катастрофе.

Чтобы организовать «хорошую» катастрофу, необходимо изменить конфигурацию графика потенциальной функции. Вид графика зависит от множества факторов, влияющих на работу фирмы или управляющих параметрам. Они могут отражать влияние внешней среды: стоимость сырья, налоги, действия конкурентов и т.д., а также и внутренние собственные решения по управлению фирмой, например, размер инвестиций в расширение выпуска продукции, затраты на разработку новой техники, перестройку структуры, обучение персонала и т.п.

Для простой математической модели выберем, рассмотренную выше, каноническую катастрофу типа сборки. Она зависит от двух управляющих параметров. Назовем их a и b, Какие именно показатели определяют параметры a и b, зависит от конкретной системы.

Рассмотрим пример транспортной системы и допустим, что необходимо получить модель перевозки груза на автомобиле [13], используя теорию катастроф.

В качестве потенциальной функции обычно выбирается та величина, которая характеризует качество процесса и должна принимать минимальное значение. В этом смысле для перевозки груза за потенциальную функцию можно выбрать время перевозки, т.е. $E(x)= T(x)$. Чем меньше время $T(x)$, тем выше качество перевозки (а в конечном итоге, и меньше затраты). Кстати, название “потенциальная функция” пришло из физики, так как предоставленная самой себе физическая система стремится занять положение минимума потенциальной энергии или минимума затрат на поддержание своего существования. Поэтому в экономической системе за потенциальную функцию и выбираются издержки. Считается, что нормально работающая фирма старается их уменьшить.

Множество факторов, влияющих на потенциальную функцию, это скорость поездки, выбранный маршрут (пройденный путь), возможные поломки и аварии, дорожное движение (“пробки” и объезды), погодные условия, состояния дорог и т.п. Обратим внимание, что эти факторы также влияют друг на друга: от состояния дороги зависят поломки и скорость, от окружающего дорожного движения зависит маршрут и скорость (и наоборот), дорожное движение влияет на погоду (выхлопы), и т.п. Чем точнее хотим получить модель, тем больше факторов надо учитывать. В этом случае используются типы катастроф, более сложные по сравнению со "сборкой".

Для сборки же нужно всего 3 фактора. Один из этих факторов выбираем в качестве координаты катастрофы, а именно тот, влияние которого на конечный результат мы хотим исследовать в модели. Допустим, мы хотим установить, как влияет вероятность аварий на сроки перевозки грузов. Тогда координатой x выбираем вероятность аварии $x=P$, которая может меняться от 0 до 1.

Теперь надо выбрать два управляющих параметра из тех факторов, которые влияют на координату катастрофы, т.е. на вероятность аварии.

Здесь можно только рекомендовать следующий подход.

Один управляющий параметр желательно выбирать внутренним, характеризующим внутренние свойства процесса, его "напряг", мощность, интенсивность и т.п., а другой управляющий параметр - внешним, характеризующим влияние на процесс окружающей среды.

Для рассматриваемого примера транспортного средства внутренним управляющим параметром выгодно выбрать скорость движения - a (км/час), а внешним параметром - влияние погодных условий, например, видимость - b (м).

Далее выбираются диапазоны изменения управляющих параметров, в которых координата катастрофы изменялась бы скачком.

Если построить бифуркационную диаграмму зависимости вероятности P аварии от видимости при постоянной скорости, то она будет иметь скачкообразный характер (рисунок 3.3). Как видно, она является зеркальным отражением бифуркационной диаграммы на рисунке 2.2. Отражение получается из-за того, что параметр b имеет другой знак, чем параметр μ ($b= - \mu$).

Если видимость большая (точка I), то вероятность аварии низкая. Потенциальная функция имеет одну ямку при низком значении вероятности аварии. По мере снижения видимости вероятность аварии равномерно растет до точки G. А вот в диапазоне видимостей от G до B (или от H до C) может быть как низкая, так и высокая вероятность аварии. Этому соответствуют нижняя и верхняя ветви графика. Оба эти состояния устойчивы, так как потенциальная функция имеет уже две ямки, разделенные неустойчивым холмом. Нахождение шарика на верхушке холма является неустойчивым и соответствует точке E средней ветви B-E-H графика.

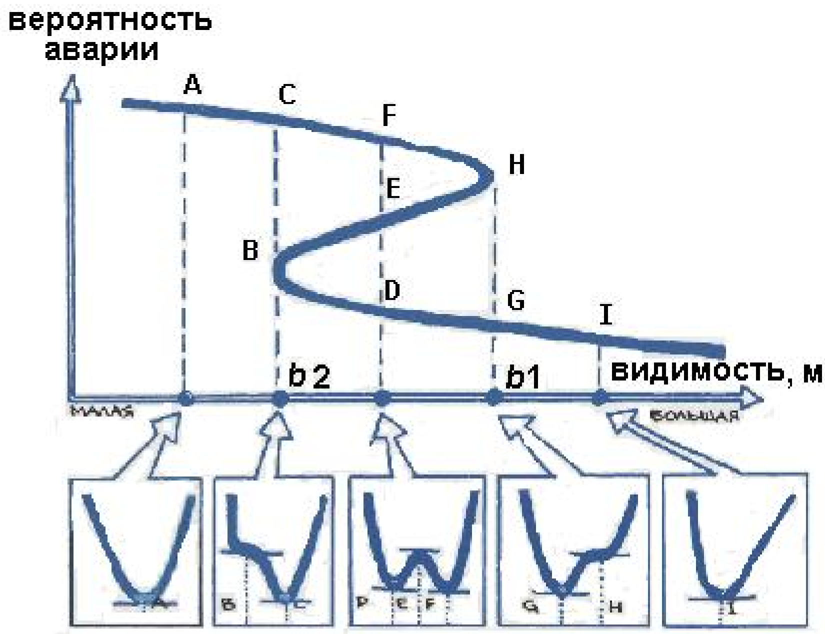


Рисунок 3.3. Бифуркационная диаграмма для транспортной системы

Поэтому шарик там не задерживается, а сваливается либо в левую, либо в правую ямки потенциальной функции, т.е. перескакивает в точку H верхней ветви A-C-F-H высокой аварийности, либо в точку B нижней ветви I-G-D-B низкой аварийности.

Таким образом, существует некоторая полоса видимости от *b*1 до *b*2, при которой может быть как высокая, так и низкая аварийность. По справедливости, именно эту полосу и надо бы назвать катастрофой.

Критическая полоса *b*1- *b*2 существует при вполне определенном значении второго управляющего параметра *a*, т.е. скорости движения. Если скорость движения изменится, то критическая полоса деформируется.

Рассмотрим, как это происходит.

При уменьшении скорости верхняя ветвь высокой аварийности будет появляться при меньшей видимости. Поэтому точка H графика должна перемещаться влево, к точке F. Точка B нижней ветки низкой аварийности должна смещаться вправо, к точке D, потому, что максимальная величина низкой аварийности при заданной видимости должна уменьшаться. Таким образом, уменьшение скорости снижает критическую полосу видимости. Образно эту ситуацию можно представить как вытягивание зигзага графика за его концы в разные стороны. В пределе, при нулевой скорости (a=0), которая называется критической, зигзаг пропадает совсем, остается только одна нижняя ветвь низкой вероятности аварии и только одна ямка потенциальной функции, независимо от того, как меняется видимость *b*. Поэтому параметр а называется расщепляющим, так как если он больше своего критического значения, то график расщепляется на две ветви. А если он меньше критического значения, то никакого расщепления нет. Параметр *b* (видимость) называется нормальным, потому, что при отсутствии расщепления изменение b влияет на график нормально: больше видимость – меньше аварийность, и наоборот. Нет никаких двойственностей, зигзагов.

При увеличении скорости происходит обратное явление: критическая полоса расширяется. Например, точка Н должна сдвигаться вправо, так как высокая аварийность должна наступать при большей видимости. Крайний случай, когда скорость равна бесконечности, рассматривать не будем, так как физически такой скорости не бывает.

3.3. Модель катастрофы в экономической системе

Рассмотрим работу некоторой фирмы, у которой координатой катастрофы будет вероятность банкротства, нормальным управляющим параметром b будет способность предвидения, оценки конъюнктуры рынка (т.е. внешней среды), а расщепляющим параметром a будет темп вложения инвестиций в расширение производства (внутреннее свойство) (рисунок 3.4) .

При некотором ненулевом темпе вложения инвестиций (a>0) и способности к предвидению, соответствующей точке I графика, наша фирма находится в положении светлого кружка с устойчивой низкой вероятностью банкротства pI. Если способность к предвидению у фирмы будет чуть-чуть меньше, то светлый кружок должен занять положение на кривой чуть-чуть левее состояния I. Это означает, что вероятность банкротства чуть-чуть увеличилась, а устойчивость к банкротству (т.е. глубина ямки устойчивости, в которой работает фирма) чуть-чуть уменьшилась. Если темп вложения инвестиций и способность к предвидению сохраняются постоянными, то такая работы фирмы теоретически может продолжаться бесконечно долго.

Теперь попробуем ввести в нашу модель время. Для этого предположим, что способность к предвидению начинает уменьшаться во времени. Тогда естественно предположить, что наш светлый шарик (фирма) будет также перемещаться по кривой по направлению к точке G. Движение будет проявляться в том, что глубина ямки устойчивости будет постоянно уменьшаться.

И все бы было ничего, но приближается критическое значение способности к предвидению b1. При этом значении наша фирма теоретически может либо остаться в точке G (на нижней ветви), либо перескочить в точку Н – на верхнюю ветвь, в возникшую новую ямку устойчивости. Такая двойственная ситуация сохраняется во всей критической полосе от b1 до b2.

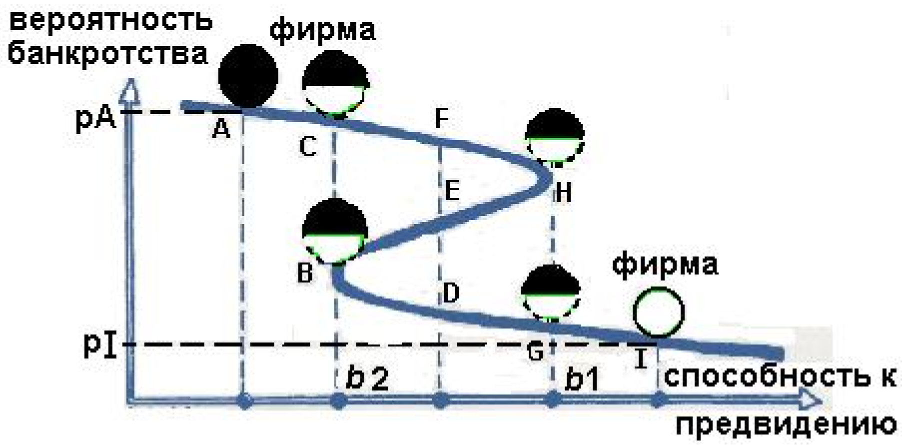


Рисунок 3.4. Бифуркационная диаграмма для работы фирмы

Где же будет находиться наша фирма? Математики выдвинули два принципа для ответа на этот вопрос. Первый называется принципом максимального промедления или запаздывания, а второй – принципом Максвелла [8].

При максимальном промедлении считается, что в критической полосе фирма продолжает как можно дольше оставаться в прежнем положении, в котором она была до входа в эту критическую полосу. Считается, что фирма максимально сопротивляется катастрофе, не хочет переходить на верхнюю ветвь и движется по нижней ветви, хотя глубина ямки устойчивости под ней все время уменьшается по мере приближения к другой границе *b*2 критической полосы. В данном случае этот принцип отражает грамотную организацию противодействия «плохой» катастрофе.

Если в исходном состоянии фирма находилась в положении А (черный кружок), т.е. на верхней ветви высокой опасности банкротства, то при увеличении способности к предвидению в критической полосе фирма по принципу максимального промедления будет оставаться на верхней ветви вплоть до точки Н. И только после точки Н она перескочит на нижнюю, более выгодную ветвь. Для такой ситуации принцип максимального промедления означает неграмотную организацию «хорошей» катастрофы.

Другой принцип, Максвелла, предполагает, что в критической полосе наша фирма может в любой момент перескочить с одной ветви на другую. Фирма не ждет, когда старая ямка под ней совсем пропадет, а перескакивает в новую, поскольку в критической полосе есть уже две ямки, есть альтернатива (рис. 3. 5).

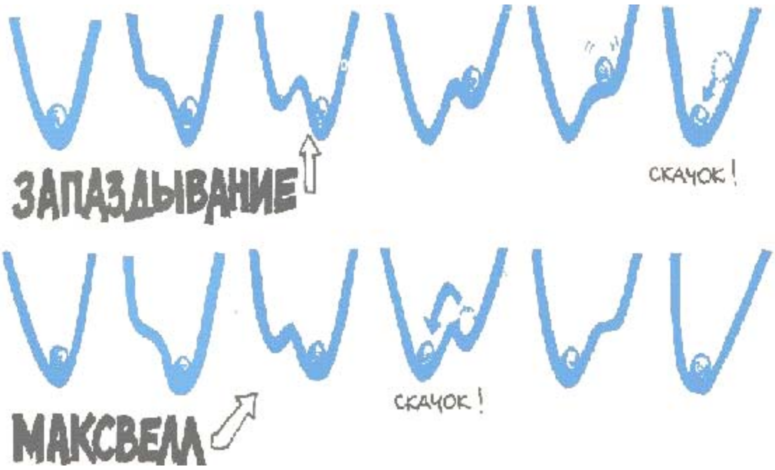


Рисунок 3.5. Принципы максимального запаздывания и Максвелла

Следовательно, можно грамотной стратегией фирмы считать принцип максимального промедления при противодействии «плохой» катастрофе, и принцип Максвелла – при организации «хорошей» катастрофы.

Таким образом, возможность «скачка» при грамотной организации «хорошей катастрофы» дает теоретическую основу для алгоритма скоростной инновации.

3.4. Возможности выхода модели на АРИЗ и ТП

Выход задачи скоростной инновации на АРИЗ связан с рассмотрением второго, расщепляющего, параметра катастрофы *a*. При $a<a$кр (aкр – некоторое критическое значение *a*) как бы не изменялся нормальный параметр *b*, в системе есть только одно устойчивое состояние равновесия, одна ямка, безальтернативность, отсутствует противоречие (применительно к АРИЗ-85В – это шаг 1.1., по сути, описание прототипа). В примере с автомобилем: если скорость автомобиля меньше или равняется нулю, то считается, что автомобиль имеет только одну нижнюю ветвь B-D-G-I (рис.3) зависимости низкой вероятности аварии от видимости.

Когда *a* становится более *a*кр, начинается расщепление: появляется вторая ветвь, вторая ямка, два альтернативных устойчивых возможных состояния равновесия, но не везде, а только в полосе перекрытия от одного критического значения нормального параметра до другого критического значения нормального параметра : от *b*1 до *b*2. Ширина полосы перекрытия или расщепления зависит от параметра *a* , принципиально, чем больше *a*, тем шире полоса катастрофы, причем зависимость не пропорциональная, ширина полосы в зависимости от *a* растет гораздо быстрее, чем прямая линия (по полукубической параболе).

В АРИЗ расщепление задачи обычно начинается с формулировки ТП-1 и ТП-2. Считаем, что до этого расщепления нет, есть только потенциальная посылка к нему - нежелательный эффект прототипа.

Следовательно, начало конфликта есть момент расщепления (a>aкр). В АРИЗ расщепление определяется состоянием инструмента: если инструмент в одном состоянии, тогда ТП-1, если в противоположном состоянии, тогда ТП-2. Конфликт растет, если противоположные состояния инструмента удаляются друг от друга. Если увеличивать в полосе катастрофы параметр a , то увеличивается не только полоса катастрофы, но и расстояние между ветвями.

Для примера с автомобилем: управляющий параметр a есть скорость автомобиля V. При увеличении скорости от $V1$ до $V2$ растет ширина полосы и растет расстояние между понятиями малой и большой вероятности аварии, причем $V2 > V1$ >Vкр. Рассмотрим случай, когда скорость равна $V1$ (график 1-2-7-8 на рис.6). При видимости от В21 до В11 автомобиль находится ни низкой ветви вероятности аварии между точками 1 и 2, катастрофа отсутствует.

Что будет, если при этой видимости В (В=Const, В11<В<В21), увеличить скорость до $V2$? Появляется катастрофа (график 3-4-11-12-5-6-9-10 на рис.3.6). Автомобиль может находиться либо на ветви 3-4, либо на ветви 5-6. Причем важно отметить следующее обстоятельство: ветвь 3-4 лучше, чем прежняя ветвь 1-2, а ветвь 5-6 хуже, чем прежняя ветвь 1-2.

Возможна парадоксальная ситуация: при той же самой видимости автомобиль имеет большую скорость, а находится на ветви с меньшей вероятностью аварии.

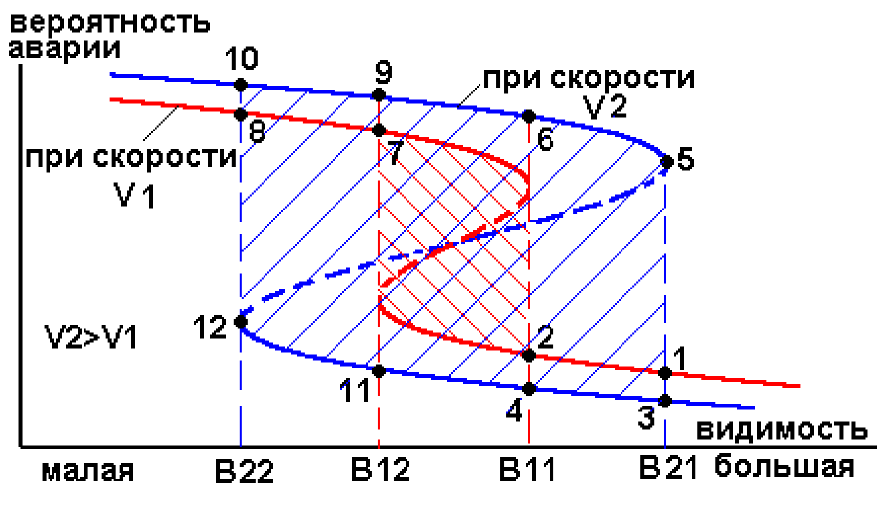


Рисунок 3.6. Бифуркационные диаграммы для двух значений скоростей

Объясняется это следующим. При меньшей скорости *V*1 участок 1-2 означает функционирование без риска, осторожную стратегию езды, без альтернативы перескока на опасную верхнюю ветвь. При большей скорости *V*2 и этой же видимости стратегия езды уже рискованная. Можно сказать, что при увеличении скорости идет «перекачка» осторожной стратегии в стратегию с риском, или единственная ветвь низкой аварийности «размазывается» в две ветви: еще лучшую, чем прежняя, и гораздо хуже, чем прежняя.

Практика езды показывает, что автомобилисты часто рискуют в надежде, «авось пронесет!» И часто проносит: даже при большой скорости можно проехать по кривой 3-4-11-12 с меньшей вероятностью аварии (самая лучшая ситуация), чем по красной кривой 1-2-7-8 с меньшей скоростью. Раз риск существует, то он должен быть как-то оправдан, иначе никто бы не рисковал. Но уж если не повезет при большой скорости, то попадешь на верхнюю ветвь 5-6-9-10 и при гораздо лучшей видимости (в точке 1 перескок в точку 5- самая худшая ситуация). Это расплата за риск: при большой скорости полоса видимости, в которой может случиться катастрофа, гораздо шире, чем при малой скорости.

Возвращаясь к АРИЗ можно сказать, что нижняя ветвь 3-4-11-12 дает в этой задаче формулировку идеального конечного результата (ИКР): большая скорость при малой аварийности или высокое быстродействие (время выполнения работы) при высокой же безопасности. Естественно, ИКР находится в результате задачи максимизации. Сразу же из понятия ИКР автоматически находим величину, ему противоположную, которую надо минимизировать: низкое быстродействие при малой безопасности. В задачах теории катастроф минимизируется потенциальная функция, отражающая качество плохого функционирования, плохой работы, нежелательный эффект. Это и есть низкое быстродействие при малой безопасности.

Тогда грамотная формулировка ТП должна звучать так:

ТП-1: если скорость большая, то быстродействие высокое, а безопасность низкая;

ТП-2: если скорость малая, то быстродействие низкое, а безопасность высокая.

Фактически формулировка ТП является моделью системы, состоящей из инструмента и изделия, а конфликт возникает между расщепляющим (внутренним) параметром и координатой катастрофы, которая задает состояние системы, а вовсе не между внутренним и внешним (нормальным) параметрами.

Получается сначала система и конфликт внутри нее, а уж потом должна появиться внешняя среда. Применительно к автомобилю: есть конфликт между скоростью и аварийностью, а внешней среды (видимости) нет.

В общем виде ТП можно записать так:
ТП-1: если инструмент плохой, то состояние изделия хорошее ,
ТП-2: если инструмент хороший, то состояние изделия плохое.
Как видно, ИКР не достигается ни при ТП-1, ни при ТП-2.

Формулировка ТП позволяет построить эквивалентную модель катастрофы (рисунок 3.7) и, тем самым, создает возможность выхода катастрофы на таблицу противоречий 39х39 и больше, если добавлять свои новые строки и столбцы,

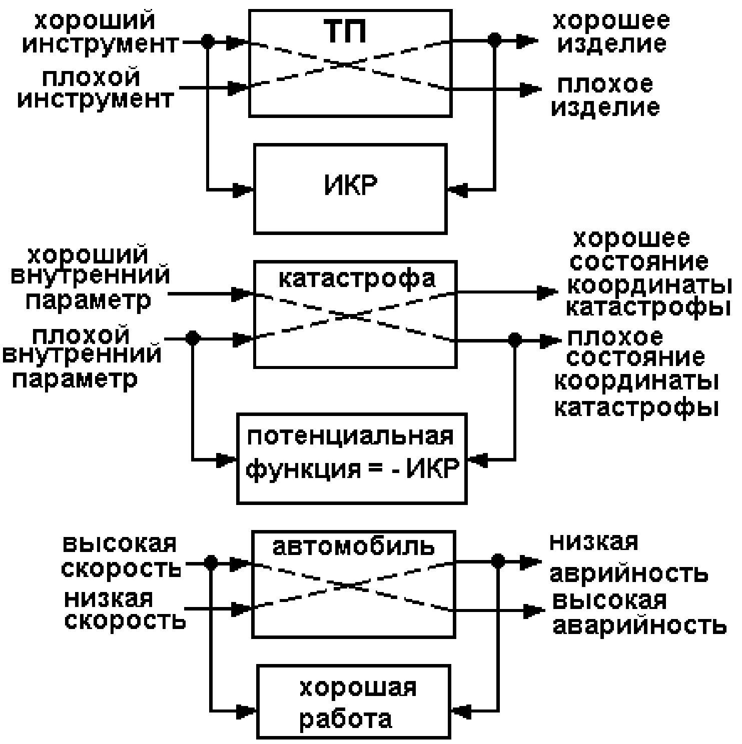


Рисунок 3. 7. Эквивалентные схемы ТП, катастрофы и транспортной системы

3.5. Структурная модель изобретательской задачи

С точки зрения АРИЗ координата катастрофы является свойством изделия, внутренний управляющий параметр влияет на свойство (состояние) инструмента, потенциальная функция задает нежелательный эффект (отрицательный ИКР). В катастрофе типа сборки между координатой катастрофы, потенциальной функцией и управляющими параметрами существует определенная размерная зависимость.

Аналогично в электричестве координатой является ток (или сила тока), т.е. количество электрических зарядов, прошедших через проводник за единицу времени. Поэтому за координату катастрофы можно выбирать поток ресурсов, хотя это и необязательно, поскольку могут быть и другие координаты катастрофы.

Внутренний управляющий параметр *a* (расщепляющий) пропорционален квадрату координаты, можно сказать, что он задает мощность потока ресурсов. Так и мощность электрического тока пропорциональна квадрату тока. Следовательно, внутренний параметр, характеризующий свойства инструмента, должен быть пропорционален его мощности, его “напрягу», его риску. На качественном уровне можно записать, что свойство внутреннего управляющего параметра равно a=С • C, где C - свойство координаты катастрофы (или свойство изделия).

Что ухудшается при изменении / Что нужно изменить по условиям задачи	Скорость подвижного объекта	Аварийность	Быстродействие (время)	Безопасность
Скорость подвижного обьекта	-	п.т.	-	п.т.
Аварийность	п.т.	-	п.т.	
Быстродействие (время)	-	п.т.	-	п.т.
Безопасность	п.т.	-	п.т.	

Рисунок 3. 8**.** Фрагмент матрицы разрешения типовых противоречий

Теперь можно заполнить клетки матрицы разрешения технических противоречий (рис. 3.8), т.е. вместо m.n. записать приемы повышения видимости для случая, когда увеличивается скорость автомобиля и падает безопасность поездки. Примерами могут быть улучшение зрения водителя (витамины для глаз), модернизация оптики автомобиля (зеркал заднего и бокового вида, противотуманных фар, сигналов габарита и стоп-сигнала и т.п.), модернизация дороги (выявление и обозначение крутых поворотов, т.е. установка флагов катастрофы, спрямление, модернизация освещения и п.), разгон туч и борьба со смогом.

Свойство нормального (внешнего) управляющего параметра b равно кубу от свойства координаты катастрофы, т.е. b=C • C • C. Параметр b появляется после формирования модели системы в виде ТП, т.е. этот параметр является внешним по отношению к ТП и появляется он в АРИЗ как средство разрешения противоречия, а таким средством является Х-элемент. Таким образом, свойство Х-элемента определяет свойство внешнего управляющего параметра b.

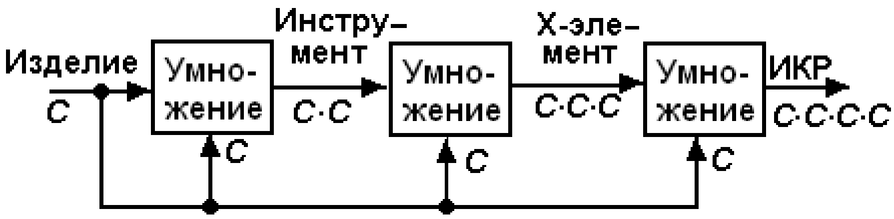


Рисунок3.9. Структурная модель изобретательской задачи

Свойство идеального конечного результата имеет размер четвертой степени координаты катастрофы (свойства изделия), т.е. ИКР= $C \bullet C \bullet C \bullet C = a \bullet C \bullet C = b \bullet C$.

Таким образом, ИКР или близкий к нему результат, или вообще положительный результат решения задачи, по размерности будет равен потенциальной функции катастрофы типа «сборки», взятой с отрицательным знаком. Она же является нежелательным эффектом изобретательской задачи, который необходимо минимизировать.

Для движения автомобиля при изменении видимости, свойством изделия будет вероятность аварии, свойством инструмента будет скорость автомобиля, свойством Х-элемента будет видимость, а свойством ИКР будет качество хорошей работы (рис. 3.9).

3.6. Скоростная инновация в рамках катастрофы типа "сборки"

Определим скоростную инновацию как режим самого быстрого стремления системы к идеальному конечному результату (ИКР). ИКР для катастрофы типа "сборки" можно представить не только в виде схемы для размерностей, но и в виде схемы, отражающей влияние координаты и управляющих параметров на ИКР. Например, для примера с автомобилем эту схему можно представить в виде рис. 3.10.

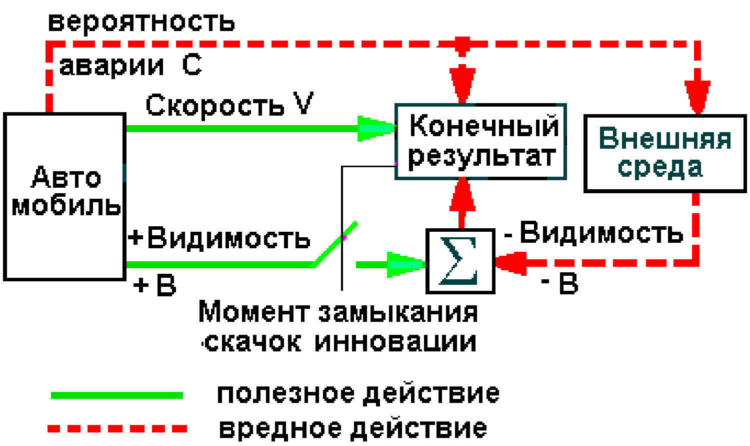


Рисунок 3.10. Влияние управляющих параметров и координаты катастрофы на ИКР

Из схемы видно, что идеальный конечный результат зависит от координаты катастрофы, задающий свойство С – вероятность аварии, и двух управляющих параметров: скорости V и видимости B. До замыкания ключа инновации видимость задаётся внешней средой и рассматривается как вредное действие, например, туман. Поэтому видимость внешней среды отрицательная.

В момент скачка инновации (включения противотуманных фар на автомобиле, например) общая видимость уже будет равна суммарной, с учетом положительной видимости от фар. Если конечный результат нас не устраивает, надо готовиться к скоростной инновации.

Как уже отмечалось, скоростная инновация должна представлять собой скачок из одного состояния системы (от одного свойства изделия), которое мы считаем плохим, в другое, которое мы считаем хорошим. Для организации скачка в нашем распоряжении имеется два управляющих параметра: внутренний и внешний. Ранее уже рассматривались скачки при постоянном одном параметре и изменении другого параметра, например, рисковая стратегия увеличения скорости автомобиля при постоянной низкой видимости в окружающей среде.

Однако можно ли считать эту стратегию скоростной инновацией? Очевидно, нет, поскольку во время рисковой инновации внешняя среда может увеличить противодействие, т.е. видимость может не оставаться постоянной, а снижаться. Тогда возрастает риск перехода на опасную верхнюю ветвь высокой вероятности аварии.

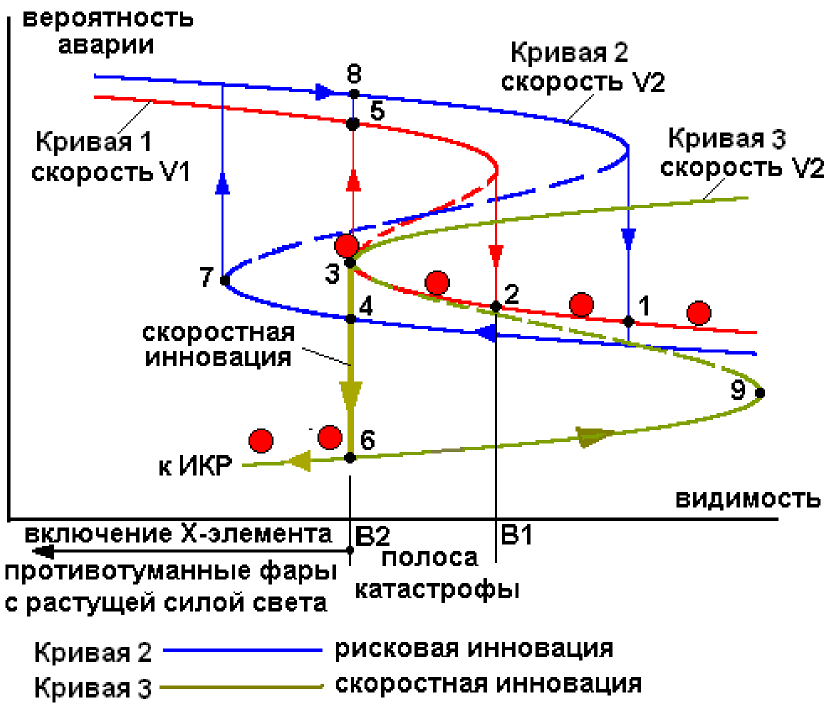


Рисунок3. 11. Сравнение рисковой и скоростной инноваций

На рис. 3.11 график рисковой инновации представлен кривой 2 (синий цвет), кривая 3 – скоростная (коричневый цвет). В исходном состоянии система (красный кружок) находится на нижней красной ветви 1-2-3 кривой 1 при малой скорости V1. При уменьшении видимости до В2 в критической точке 3, если не предпринять инноваций, будет скачок на опасную верхнюю ветвь в точку 5. Для исключения "плохой" катастрофы в точке 3 организуется либо рисковая инновация либо скоростная инновация При скоростной инновации увеличивается скорость до V2. При скорости V2 конечный результат улучшается, система переходит в точку 4, однако при ухудшении видимости вероятность аварии все-таки растет, когда система будет двигаться по нижней синей ветви 4-7, кривой 2. Возможный же переход в точку 8 при рисковой инновации вообще никуда не годится.

При **скоростной инновации** в критической точке 3 **одновременно меняются оба управляющих параметра: внутренний и внешний**. Скорость увеличиваем также с V1 до V2, а у внешнего управляющего параметра меняем знак. Тогда бифуркационная кривая 3 зеркально отражается относительно кривой 2 в другую сторону, и становится как кривая на рисунке 2.2. Применительно к автомобилю это означает, например, включение противотуманных фар с увеличивающейся силой света по мере сгущения тьмы. Система проваливается в точку 8 и дальнейшее положение (от точки 6 влево к ИКР) будет соответствовать стремлению к идеальному конечному результату, потому что и скорость увеличилась, и вероятность аварии падает. Если тьма не сгущается, то можно не увеличивать силу света и оставаться в точке 6. Если тьма будет сгущаться, а силу света не увеличивать, то система будет от точки 6 сдвигаться вправо к точке 9, при этом будет возрастать вероятность аварии. Кроме того, появится альтернатива перескочить на верхнюю, более опасную ветвь коричневой кривой 2 скоростной инновации.

Необходимо отметить, что в рассмотренном анализе использован принцип наибольшего промедления. Если использовать принцип Максвелла, тогда скоростную инновацию надо начинать раньше, пока не наступила полоса катастрофы, т.е. в точке 2 нижней ветви красной кривой 1 (рисунок 3.12). В остальном анализ ничем не отличается от предыдущего случая.

Скоростная инновация при использовании принципа Максвелла более надежная. Она начинается прежде, чем система попадает в полосу катастрофы. и может быть применена, когда не учтённые случайные флюктуации могут нарушить принцип максимального промедления и "выбить" систему из лучшего состояния.

Естественно возникает вопрос, зачем же тогда использовать максимальное промедление? Принцип Максвелла имеет свои недостатки, поскольку внедрение инноваций начинается раньше, чем оценены и выявлены эти самые случайные флюктуации. Например, еще светло, а мы уже разработали, поставили на автомобиль и включили нашу противотуманную фару с переменной силой света.

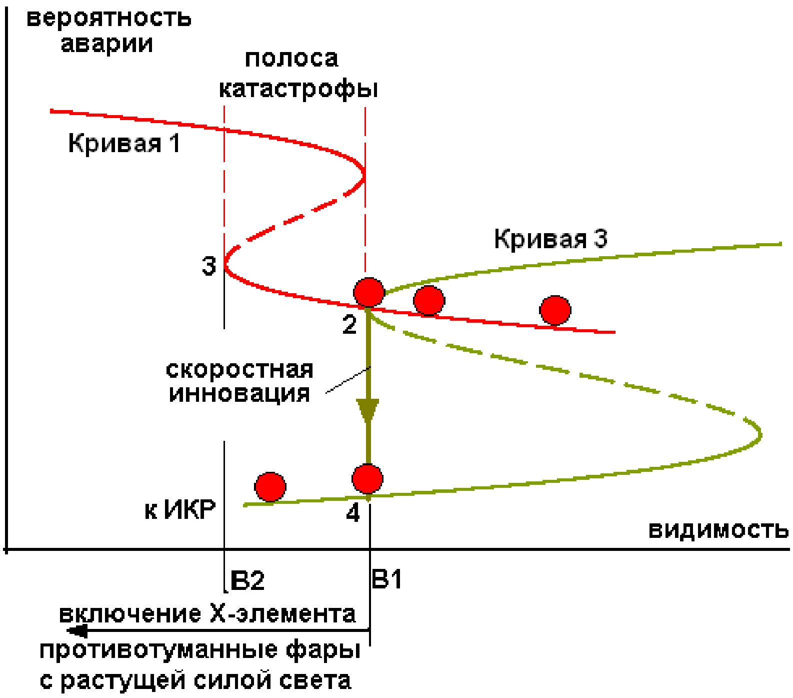


Рисунок 3.12. Скоростная инновация с принципом Максвелла

В этот момент произошли случайные флюктуации: поставили столбы освещения на дороге или заменили перегоревшие лампы на них и т.п. Тогда наша преждевременная инновация не принесет нам дохода.

В принципе максимального промедления, уже в полосе катастрофы, мы можем исследовать и оценить эти случайные флюктуации, хотя бы потому, что они там уже есть, и разработать свои инновации, которые либо устраняли бы вредные флюктуации, либо подхватывали и развивали полезные флюктуации.

Отсюда вытекают некоторые рекомендации по использованию принципа максимального промедления, связанные уже не с теорией катастроф, а с синергетикой, принципами самоорганизации систем.

Система, желающая хорошо пройти катастрофу, должна иметь случайные, хаотические колебания поисковые движения, пусть даже небольшой интенсивности, но много разных. В соответствии с принципами синергетики переход от хаотических движений к одному, согласованному движению всей системы осуществляется под действием небольшого числа (даже одного) так называемых параметров порядка.

Параметры порядка – это те движения из общей массы хаотических, которые улавливают ведущую флюктуацию, главную тенденцию внешней среды и резонируют с ней, вынуждая все остальные хаотические движения подстраиваться под параметры порядка. В этот момент в системе нужно включить положительную обратную связь, т.е. параметры порядка (подразделения фирмы, процессы, люди, резонирующие с главной флюктуацией внешней среды) должны быть поставлены на первое место в системе. Они и определят дальнейшее движение системы. Собственно, это и будет момент хорошей катастрофы, т.е. переход в новое качество.

3.7. Соотношения между параметрами катастрофы

Для управления катастрофой, как уже отмечалось, в нашем распоряжении имеется два управляющих параметра: внутренний и внешний. Встает вопрос, какое же соотношение между ними может быть, т.е. проще, какой больше, а какой меньше?

Рассмотрим вопрос более подробно. Катастрофу типа "сборки" определяют 4 показателя: свойство C (или координата системы), внутренний a и внешний b управляющий параметры, и потенциальная функция, задающая нежелательный эффект. В результате катастрофы нежелательный эффект должен быть скомпенсирован. Чем больше нежелательный эффект, тем больше мы должны затратить усилий для его компенсации. Следовательно, расход управляющих параметров должен быть больше. Величина нежелательного эффекта, взятая с другим знаком, может считаться положительным эффектом. Действительно, устранение нежелательного эффекта - это хорошо. И чем больше мы устраним нежелательного эффекта, тем больше получим положительного.

Однако в теории катастроф численное значение минимума потенциальной функции не существенно, поскольку любая потенциальная функция определяется с точностью до некоторой аддитивной константы.

Например, в физической системе потенциальная энергия камня массой m, поднятого на высоту h от уровня земли, равна $П=mgh$, где g - ускорение свободного падения. За уровень отсчёта потенциальной функции принята поверхность земли. Но уровень поверхности в разных точках земного шара разный, есть горы, есть впадины. И если размещать камень на одинаковом расстоянии от центра земного шара, то в разных географических точках потенциальная энергия камня будет разной. Всё зависит от точки отсчёта, которая появляется только в конкретной задаче. Для самой же теории важно только наличие «ямки» или «холма», т.е. устойчивого или неустойчивого состояний равновесия. Глубина «ямки» или высота «холма» не существенны. В этом смысле АРИЗ похож на теорию катастроф. В АРИЗ также не задаются какие-либо численные показатели, только выбираются их некоторые крайние состояния. Например, в задаче об автобусе в качестве состояния инструмента можно выбрать очень большие габариты, как бы «крайнюю» длину автобуса для обеспечения комфортабельности. Что значит крайняя в сторону увеличения? Крайняя длина ограничена размерами гаража. Но автобус можно хранить и без гаража, на открытой стоянке. Тогда крайние размеры будут определяться шириной перекрёстков улиц, где автобусу придётся поворачиваться. Это обстоятельство необходимо учитывать при численном моделировании конкретных изобретательских задач.

В общем случае, без численных значений управляющих параметров, их влияние на конечный результат или на потенциальную функцию, можно оценить следующим образом.

Обратимся снова к бифуркационной диаграмме, задающей катастрофу (рисунок. 3.13). Для принципа максимального промедления при уменьшении видимости движемся по кривой 1-2-3. При увеличении видимости движемся по кривой 3-4-1.Границы этих кривых образуют петлю гистерезиса. Качественно, на размерном уровне оценим площадь петли S. Очевидно, площадь петли оценивается произведением ординаты на абсциссу графика, т.е. $S = C \bullet b$.

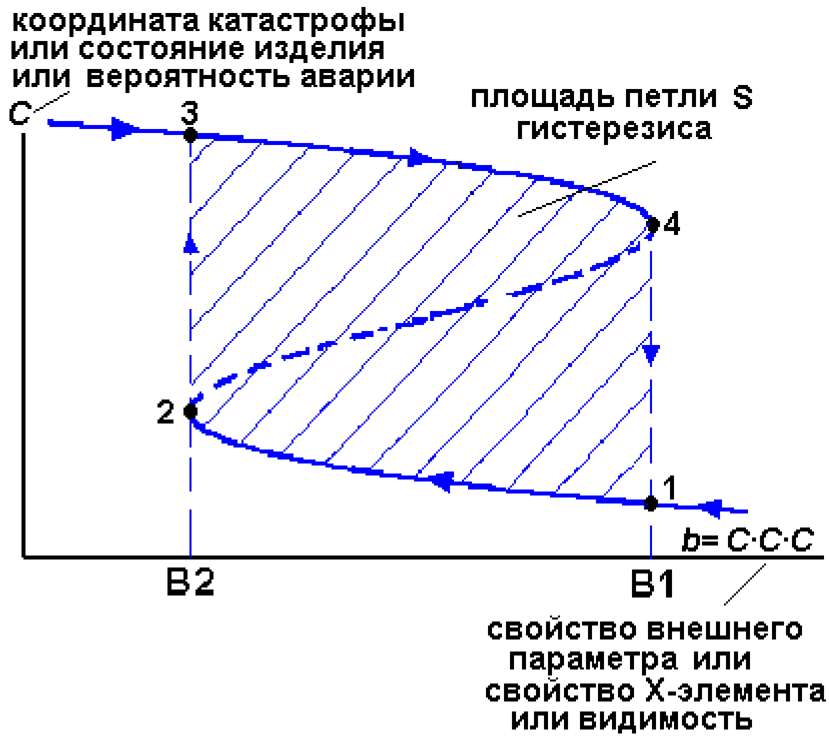


Рисунок 3.13. Нежелательный эффект как площадь петли гистерезиса бифуркационной кривой

Таким образом, можно сделать вывод, что площадь петли гистерезиса по величине определяет потенциальную функцию катастрофы, или нежелательный эффект, или, взятый с другим знаком, положительный конечный результат КР= *C* • *C* • *C* • *C*= *a* • *C* • *C*= *b* • *C*.

Следовательно, для скоростной инновации или для исключения банкротства фирмы, надо затратить энергию, равную площади гистерезиса. На энергетические усилия расходуются управляющие параметры, от которых зависит площадь петли. Но реализовать одну и ту же площадь можно разными способами, можно сделать узкую и высокую петлю (рисунок 3.14), а можно - широкую и низкую (рисунок 3.15).

Как оказывается, на площадь петли влияет внутренний управляющий параметр *a,* при его увеличении растет высота и ширина петли, а при его уменьшении высота и ширина петли уменьшаются. Внешний управляющий параметр *b* влияет на ширину петли Δb=B1- B2, он устанавливает ее ширину своими критическими значениями B1 и B2, но влияние это косвенное, так как критические значения зависят от внутреннего управляющего параметра *a*.

Будем считать, что внутренний управлявший параметр означает наш собственный “напряг”, наши усилия, нашу мощь, а внешний управляющий параметр означает действия противника, конкурента, Пока наша мощь ниже некоторого критического значения *a*кр, противник не имеет большой возможности испортить наш бизнес, какой бы силы он ни был. Как ни сгущайся темнота, но если автомобиль стоит, никакой аварии не будет. Естественно, противник - только темнота, а тихонько ехать можно и при сильной темноте, но немножко все-таки он портит нам дело.

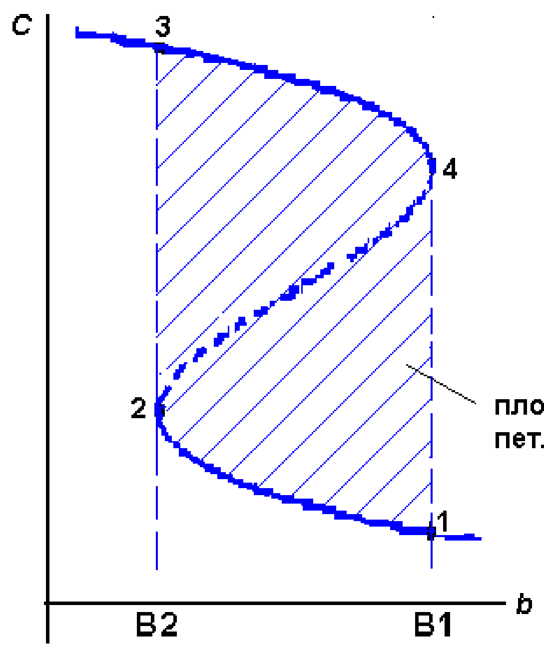


Рисунок 3.14. Узкая и высокая петля гистерезиса

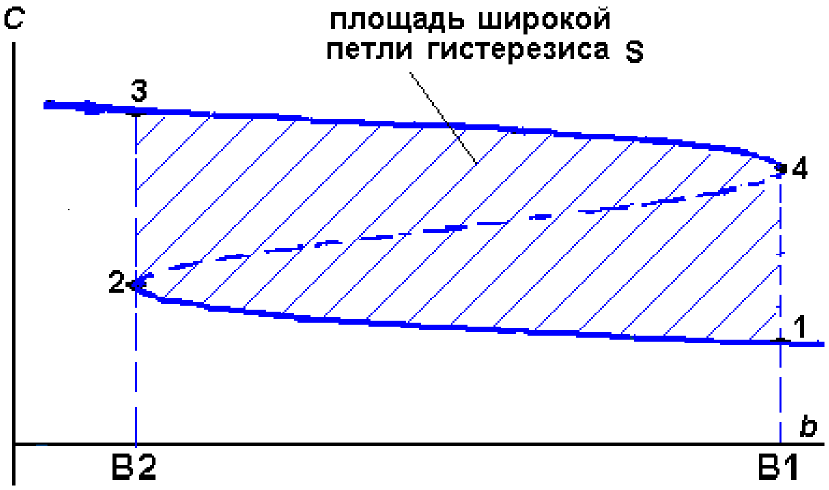


Рисунок 3.15. Широкая и низкая петля гистерезиса

Как только мы увеличили свою мощь выше *акр* для получения большей прибыли, то тем самым открыли **сами** возможность противнику более сильно влиять на наш бизнес. Например, если $a = a1$, а противник слабый – уровня $b1$, то он не имеет возможности нам сильно вредить (рис. 3.16), потому что точка $a1$,$b1$ далеко от кривой катастрофы. Но если противник сильный - уровня $b2$, то он уже создает для нас риск, пусть в узкой, но существующей уже полосе гистерезиса.

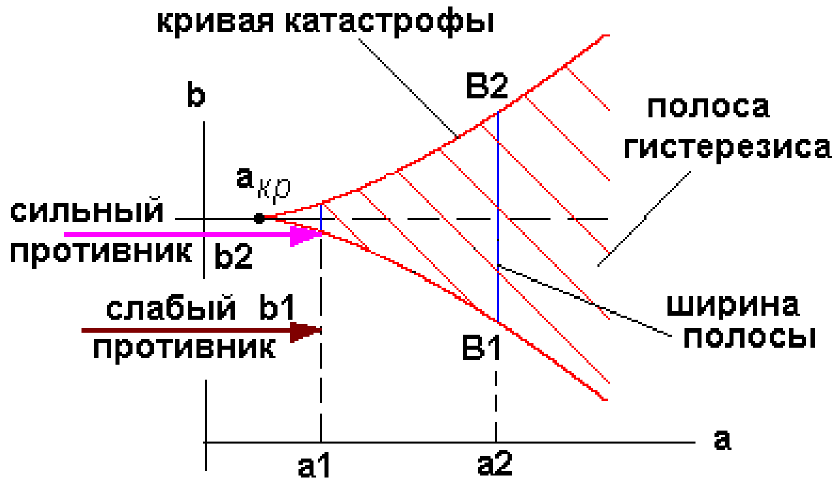


Рисунок 3.16. Кривая катастроф

Если мы еще больше усилим свою мощь до $a2$, тогда уже и слабый противник $b1$может повлиять на наш бизнес. Эта ситуация позволяет оценить уровень флюктуаций, при которых возможна катастрофа. Если считать слабого противника теми самыми случайными флюктуациями, тогда при нашем собственном “напряге”, равном $a1$, уровень флюктуаций, которые могут привести нас к катастрофе, оценивается величиной $b1$.

Если мы не хотим попадать в полосу петли, полосу риска, необходимо снижать свой «напряг», тогда падает чувствительность к изменениям, правда, тогда сам становишься случайной флюктуацией из-за падения выпуска продукции. Например, если видимость на дороге снизилась немного, а мы также снизили скорость автомобиля из расчета не попадать в полосу риска, тогда действительно вероятность аварии будет очень маленькой, практически, нулевой, зато мы больше проиграем во времени перевозки груза из-за снижения скорости, чем выиграем от безаварийности. Поэтому имеется некоторое критическое значение *С*кр свойства *С* системы (выпуска продукции, уровня аварийности и т.п.), ниже которого не стоит опускаться (рисунок 3.17). Собственно, эта величина и задает самую малую высоту петли гистерезиса. Самая большая высота петли будет ограничена малым значением параметра *а,* т.е. нашими малыми усилиями. В случае катастрофы падать будет не так больно, ведь чем выше забрался - тем сильнее упадешь.

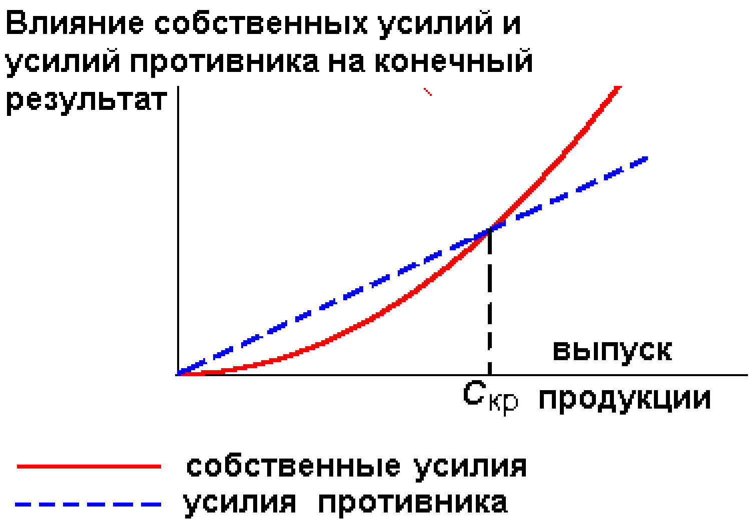


Рисунок 3.17. Критическое значение выпуска продукции

3.8. Некоторые выводы по скоростной инновации

1.Для режима скоростной инновации необходимо напрягать собственные усилия фирмы, свой внутренний управляющий параметр, свой инструмент (в рамках АРИЗ). Тем самым расширяется полоса риска, и даже малые по силе, свои собственные, внутренние случайные поиски, могут привести к скачку инновации.

2. Относительная сила своей мощности и сила случайных поисков может быть оценена по кривой катастрофы типа «сборки»

3. Чем выше напряжение, усилие системы, тем выше будет скачок в результате инновации, так как высота петли гистерезиса при этом возрастает.

4. При скоростной инновации получается широкая и высокая петля гистерезиса, поэтому площадь петли будет большой. Это означает, что конечный результат, выигрыш будет также большим.

4.Аналитический метод поиска свойств ресурсов в изобретательской задаче

В результате решения изобретательской задачи по первой части АРИЗ-85В[1] формируется модель технической системы в виде технического противоречия с двумя конфликтными свойствами и неизвестного пока Х-элемента, который и должен разрешить противоречие. Во второй части анализируются пространственно-временные, а также вещественно-полевые ресурсы, из которых в дальнейшем и выбирается Х-элемент. Таким образом, в сознании формируется некоторый образ Х-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.

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 Х-элемент в определенном пространстве и времени. Эта задача решается в третьей части АРИЗ при формулировке физического противоречия. Например, Х-элемент должен быть горячим и холодным, или легким и тяжелым и т.п. Но понятия свойств в нашем сознании дискретны. Конечно, Х-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. 4.1. 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 Х-элемента.

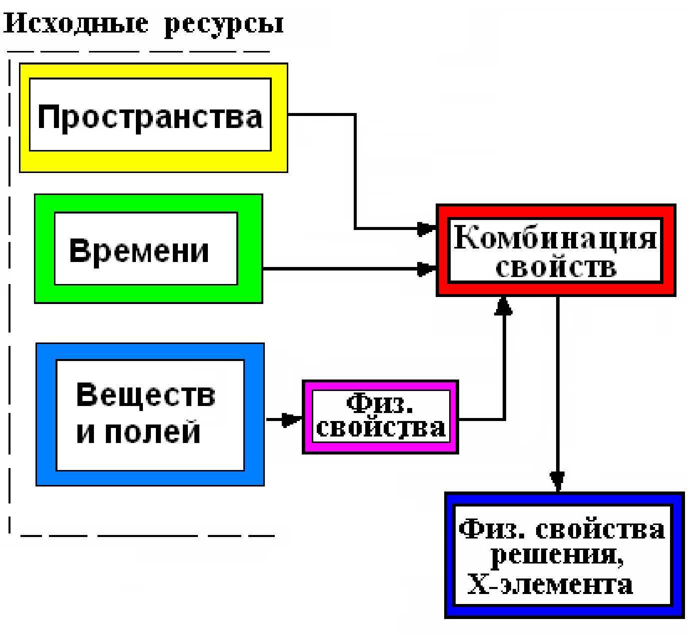


Рисунок 4.1. Структурная модель преобразования ресурсов физических свойств

Для математического представления операции комбинирования физических свойств и получения решения рассмотрим систему кинематических величин Р.О. Бартини [14].

4.1. Система кинематических величин Р.О. Бартини

Система Бартини сведена в таблицу 1, в которой представлены размерности физических величин в LT-базисе. Основными единицами в LT-базисе являются метр и секунда, т.е. размерности длины и времени (рис. 4.2).

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} [$м^4/с^4$], давление - L^2T^{-4} [$м^2/с^4$], энергия и статистическая температура – L^5T^{-4} [$м^5/с^4$] и т.д. Числа m и n - любые целые, и для реального трехмерного пространства $|m+n|\leq 3$.

Входными данными при поиске являются факторы, влияющие на выполнение производственной функции. Например, альтернативные свойства технических противоречий, такие, как в таблице 1 типовых приемов устранения ТП (вес, длина, объем, скорость, давление, температура и т.п).

Выходом являются аналогичные свойства X-элемента, разрешающего противоречие. Решение ищется на пересечении трендов. Строки таблицы Бартини образуют пространственные тренды, столбцы – временные тренды, а диагонали – тренды вещественно-полевых ресурсов (ВПР).

D.	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5	L^6
T^{-5}	L^1T^{-5}	L^2T^{-5}	Поверхн. мощности	L^4T^{-5}	Мощность	L^6T^{-5}
T^{-4}	Удельный вес Градиент давления	Давление	Поверхн. натяжение Жесткость	Сила	Энергия Темпера – тура	L^6T^{-4}
T^{-3}	Плотность потока	Вязкость	Ток Массовый расход	Импульс	L^5T^{-3}	L^6T^{-3}
T^{-2}	Линейное ускорение	Разность потенциалов	Масса	Магнитный момент	Момент инерции	L^6T^{-2}
T^{-1}	Линейная скорость	Обильность двумерная	Расход объемный	Скорость смещения объема	L^5T^{-1}	L^6T^{-1}
T^0	Длина Емкость	Поверхность (площадь)	Объем	Момент инерции плоской фигуры	L^5T^0	L^6T^0

Рисунок 4.2. Фрагмент таблицы Бартини

4.2. Пример решения задачи в LT-базисе

Напомним, как решается известная в АРИЗ задача о запайке стеклянных ампул с жидким лекарством язычком пламени газовой горелки [15].

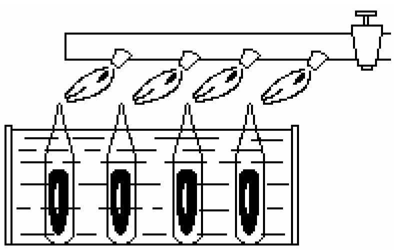


Рисунок 4.3. Задача о запайке ампул с лекарством

Нежелательным эффектом является брак – перегрев лекарства при слишком длинном язычке пламени и плохая запайка капилляра ампулы при слишком коротком язычке (рисунок 4.3). Решение задачи известно, Х-элементом является дешевый ресурс – вода, в которую устанавливаются ампулы перед запайкой. При решении задачи по АРИЗ инструментом выбирается язычок пламени, изделием – ампула с лекарством.

Поиск пространственного свойства Х-элемента происходит следующим образом. За состояние изделия выбираем длину оплавленного капилляра. Длина как кинематическая величина имеет в таблице Бартини следующую размерность $L^{n}T^{m} = L^{1}T^{0}$, где для физически реализуемых в трехмерном пространстве величин выполняется условие $|n+m|\leq 3$. За геометрический образ инструмента выбираем поверхность, т.е. пространство, на единицу больше, чем длина. Поверхность может рассматриваться как место контакта пламени и стекла ампулы и имеет размерность $L^{2}T^{0}$. Тогда геометрическое пространство Х-элемента должно быть на единицу больше, чем у инструмента, т.е. объём с размерностью $L^{3}T^{0}$. Пространственный тренд $L^{1}T^{0} \rightarrow L^{2}T^{0} \rightarrow L^{3}T^{0}$ показан в таблице красной стрелкой и является частью хорошо известного в ТРИЗ тренда «точка-линия-поверхность-объём». Таким образом, Х-элемент должен в пространственно-геометрическом смысле быть не точкой, не линией, не поверхностью, а именно объёмом.

Далее ищем временной ресурс Х-элемента на временном тренде $L^{3}T^{m}$, двигаясь по синей стрелке вверх или вниз. Никаких соображений, насколько двигаться и куда, или остаться в найденной клетке, нет. Однако ясно, что решение должно находиться в одной из клеток этого столбца $L^{3}T^{m}$.

Для окончания поиска найдем диагональный тренд ВПР. Воспользуемся логикой Бартини «И-И» и учтем два фактора, влияющих на производственную функцию: «И» длина оплавленного капилляра должна быть хорошей, «И» температура оплавления тоже должна быть хорошей (хорошими в смысле отсутствия брака). При логическом «И-И» размерности факторов перемножаются:

$$L^{n1}T^{m1} = C \cdot L^{5}T^{-4} \cdot L^{1}T^{0}, \qquad (1)$$

где $L^{n1}T^{m1}$ - размерность клетки диагонального тренда, на котором находится ВПР ресурс Х-элемента, $L^{5}T^{-4}$ - размерность температуры, $L^{1}T^{0}$ - размерность длины , C - в общем случае, произведение размерностей некоторых неучтенных факторов, например, третьего, четвертого и т.д. При размерности C, равной $L^{0}T^{0}$, получаем клетку с размерностью

$$L^{n1}T^{m1} = L^{0}T^{0} \cdot L^{5}T^{-4} \cdot L^{1}T^{0} = L^{6}T^{-4}$$

на диагональном тренде ВПР, который называется родительским, и характерен тем, что для всех элементов тренда сумма $S=n+m=+2$. В таблице Бартини клетки этого тренда закрашены голубым цветом. Можно сказать, что длина и температура, конкурирующие свойства в ТП, являются как бы «родителями», передающими по наследству Х-элементу значение S=+2, Движение по родительскому тренду вниз влево по сиреневой стрелке даёт клетку пересечения с временным трендом L^3T^m. Клетка пересечения имеет размерность L^3T^{-1}, т.е. $м^3$/с, и является объёмным расходом. Это свойство и является результатом поиска. Таким образом, решение по таблице Бартини несколько отличается от решения по Альтшуллеру и Селюцкому, Х- элемент должен быть и/или получается расходуемым. Действительно, вода при запайке ампул испаряется, и для поддержания нужного уровня воды или длины торчащего из воды капилляра, воду надо в объём добавлять. Кроме того, лучше, если она будет проточной, отводящей тепло. Прямого указания на воду нет, охладителем может быть и другая жидкость, газ или даже, твердое тело типа льда. Решение получается на качественном уровне. Более подробно рассмотренный метод поиска решения приведен в [16].

4.3 Проблема численной оценки ресурсов

Поставим вопрос, возможно ли получить численные оценки ресурсов, например, количество кубических метров охладителя, и не просто охладителя, а именно, воды, расходуемых в секунду в процессе запайки ампул? В принципе, ответ положительный. Можно провести исследования задачи и получить дифференциальные уравнения процесса тепло- и массообмена в частных производных, что является трудоёмкой задачей. Да и не будут изобретатели этого делать. Не их это задача. Но если процесс установился, устойчив, то существует установившееся решение дифференциальных уравнений, которое является алгебраическим уравнением, связывающим входные и выходные величины. Возможно ли его получить, используя размерности Бартини?

Продолжим рассмотрение примера и составим формулу баланса размерностей ресурсов. Для этого в (1) подставим найденное решение

$$L^3T^{-1} = C \cdot L^5T^{-4} \cdot L^1T^0, \qquad (2)$$

откуда находим размерность фактора $C = L^{-3}T^3$. В таблице Бартини название такой физической величины не приведено, хотя она существует и физически реализуема, поскольку находится на диагональном тренде с показателем S=0, если продолжить тренд вниз влево. Зато существует величина с обратной размерностью L^3T^{-3} . Это ток или массовый расход. Поэтому выражение (2) для физической трактовки выгоднее записать в виде

$$L^1T^0 = \frac{L^3T^{-1} \cdot L^3T^{-3}}{L^5T^{-4}} \qquad (3)$$

Переходя в (3) от размерностей к самим физическим величинам, получаем формулу:

$$\ell = \frac{R \cdot Q}{\theta} \qquad (4)$$

где полученные физические величины можно трактовать следующим образом: ℓ – длина оплавленного кончика капилляра, R – объемный расход охладителя, Q – массовый расход охладителя или просто поток, θ – температура плавления стекла ампулы.

Оценим физику процесса. Чем выше температура плавления стекла, тем меньшей длины можно оплавить кончик ампулы при постоянных потоках охладителя. Следовательно, обратная пропорциональность выполняется. Аналогично выполняется и прямая пропорциональность, чем выше расход охладителя, тем большую длину капилляра можно оплавить без порчи лекарства.

Однако численные расчеты по формулам, полученным из размерностей, могут быть не верными, потому что не учитывают безразмерные физические константы. Действительно, для получения размерности массы Бартини использовал подход Максвелла, который приравнял ньютоновские силы

$$F = ma = G\frac{M \cdot m}{R^2}, \qquad (5)$$

где F - сила всемирного тяготения и инерционная сила, G – гравитационная постоянная, M и m – первая и вторая массы, a – ускорение, R – расстояние между центрами первой и второй масс. Назначая гравитационную постоянную безразмерной и, сокращая размерности масс в левой и правой частях, получаем выражение для размерности массы $[m] = L^3T^{-2}$. Размерность ускорения $[a] = L^1T^{-2}$, размерность расстояния $[R] = L^1T^0$.

Аналогично, как в механике, в электричестве назначается безразмерной электрическая постоянная ε_0. Например, емкость C плоского конденсатора рассчитывается по формуле

$$C = \varepsilon_o \varepsilon \frac{S}{d}, \qquad (6)$$

где S - площадь пластин, d – расстояние между ними, ε – относительная диэлектрическая проницаемость. В системе СИ электрическая постоянная имеет размерность фарада/метр, а в системе Бартини она безразмерная, и уравнение для размерностей имеет вид

$$L^1T^0 = \frac{L^0T^0 \cdot L^0T^0 \cdot L^2T^0}{L^1T^0} = \frac{L^2T^0}{L^1T^0}. \qquad (7)$$

Поэтому, при обратном восстановлении формулы для физических величин из выражения (7) для размерностей, теряется не только значение электрической постоянной, но и диэлектрические свойства материала.

В тепловых процессах в LT-базисе безразмерной физической константой является постоянная Больцмана B= 1,38064852(79)·10^{-23} Дж·$К^{1}$, связывающая статистическую температуру и энергию. При безразмерной постоянной Больцмана размерности статистической температуры и энергии совпадают. Бартини их поместил в одну клетку L^5T^{-4}. Поэтому в уравнении (4) величина θ, может рассматриваться не только как температура плавления стекла в кельвинах, но и энергия, расходуемая на нагрев стекла до оплавления.

Вообще, в системе Бартини все мировые физические константы безразмерные, кроме скорости света и ускорения свободного падения, поскольку размерности скорости и ускорения могут быть записаны через метр и секунду.

4.4. Направления возможного численного решения КПД Х-элемента.

Подведем итог – в результате поиска в задаче о запайке по размерности L^3T^{-1} удалось определить пространственный ресурс Х-элемента (он должен быть в объёме), и временной (объём должен изменяться во времени, т.е. иметь ненулевую скорость). Вещественный ресурс определить не удаётся. Поставим вопрос: чем отличается одно вещество от другого? Очевидно, своими характеристиками, и, если говорить узко – о физических веществах, а не об изобретательских в целом, то своими физическими характеристиками. А в формуле (1) баланса ресурсов их нет. Следовательно, их надо включить туда в виде дополнительного фактора. Как следует из (2), размерность этого фактора (или факторов) должна быть $C= L^{-3}T^3$, тогда мы сохраним баланс для пространственно-временного решения. Какие именно ресурсы вставлять, определяется тем, что мы отыскиваем свойства Х-элемента. Поэтому желательно в балансе ресурсов иметь именно его свойства, уже установленные, и вновь введенные.

Рассмотрим более подробно баланс (2). Левая часть – расход Х-элемента естественно оставляем. В правой части размерность L^5T^{-4} - температура плавления стекла ампулы или, как уже указывалось, эквивалентная ей энергия, расходуемая на оплавление.

Введем понятие – коэффициент η полезного действия Х-элемента следующим образом:

$$\eta = \frac{D}{YK + D} \qquad (8),$$

где под усилением конфликта *УК* понимается выбор крайнего состояния инструмента на шаге 1.5 АРИЗ-85В, *D* - действие Х-элемента – это его действие на шаге 1.6 по устранению вредного эффекта. Сумма в знаменателе (8) будет действие всего решения задачи.

Тогда в задаче о запайке действию всего решения задачи можно сопоставить всю энергию, выделяемую горелкой, при максимальной температуре (или максимальной длине пламени). Действие Х-элемента в энергетическом смысле будем оценивать через отводимую им энергию вредного перегрева лекарства.

С учетом кпд Х-элемента баланс (2) можно записать в виде

$$L^3T^{-1} = C \cdot \eta \cdot L^5T^{-4} \cdot L^1T^0, \qquad (9),$$

где размерность L^5T^{-4} учитывает максимальную энергию пламени горелки

Похожим образом поступаем и со вторым сомножителем L^1T^0. Вместо размерности длины оплавляемой части капилляра рассматриваем его как размерность длины охлаждаемой части ампулы, т.е. как ресурс длины, относящийся к Х-элементу. Тогда (9) можно записать в виде

$$L^3T^{-1} = \frac{C \cdot \eta \cdot L^5T^{-4} \cdot L^3T^0}{L^2T^0} = \frac{C \cdot \eta \cdot L^5T^{-4}}{L^2T^0 \cdot L^{-3}T^0}, \qquad (10)$$

где L^3T^0 - размерность пространственного ресурса Х-элемента, т.е. объёма *V*, L^2T^0 - размерность поперечного сечения.

Осталось составить размерность коэффициента *С*. Заметим, что Х-элемент не охарактеризован как физическое вещество или поле, по которому его и можно опознавать. Для опознания можно порекомендовать удельные характеристики, например, удельный вес. Обратим внимание, что в таблице Бартини удельный вес занимает клетку L^1T^{-4}, а объёмный расход L^3T^{-1}. Разница между ними в том, что удельный вес разных веществ разный, а объёмный расход разных веществ может быть одинаковым. Удельный вес величина табличная, по которой можно опознать вещество. Кажется, что таких табличных характеристик приведено совсем немного, однако это не так, просто они не вписаны в соответствующие клетки таблицы Бартини. Для табличной характеристики Х-элемента выберем удельную теплоёмкость, потому что считаем известным, что Х-элемент предназначен для переноса тепла.

В физике используются массовая удельная теплоёмкость, измеряемая в Дж·кг$^{-1}$К^{1}, и объёмная теплоёмкость, измеряемая в Дж·м$^{-3}$К^{1}. Обратим внимание, что размерность постоянной Больцмана имеет вид Дж·К^{1}. Тогда размерности частных от деления теплоёмкостей на постоянную Больцмана представляются в виде кг$^{-1}$ - для массовой удельной теплоемкости, и м$^{-3}$ - для объемной теплоемкости. В базисе Бартини. размерность последнего частного представляется в виде $L^{-3}T^0$.

Замечаем, что в (10) уже имеется размерность $L^{-3}T^{0}$, её и будем считать размерностью частного от деления объёмной теплоёмкости U для X–элемента на постоянную Больцмана. Подставляя U/B в (10), получаем

$$L^3T^{-1} = \frac{C\cdot\eta\cdot L^5T^{-4}\cdot L^3T^0}{L^2T^0} = \frac{C\cdot\eta\cdot B\cdot L^5T^{-4}}{L^2T^0\cdot U} \qquad (11)$$

Учтем ещё одну физическую характеристику X-элемента, имеющуюся в таблице Бартини, а именно, вязкость W с размерностью L^2T^{-3}, и выберем размерность коэффициента C по формуле

$$C = \frac{1}{L^1T^0\cdot L^2T^{-3}} = \frac{1}{L^1T^0\cdot W}\;. \qquad (12)$$

Подставляя (12) в (11), получаем

$$L^3T^{-1} = \frac{\eta\cdot L^5T^{-4}}{L^3T^0\cdot U\cdot W} = \frac{\eta\cdot B\cdot L^5T^{-4}}{V\cdot U\cdot W} \qquad (13)$$

Переходя в (13) от размерностей к самим физическим величинам, получаем

$$R = \frac{\eta\cdot B\cdot Э}{V\cdot U\cdot W} \qquad (14)$$

где полученные физические величины можно трактовать следующим образом: R – объемный расход X-элемента, η – кпд X-элемента, $Э$ – максимальная энергия пламени горелки, V – объём X-элемента, U – удельная теплоёмкость X-элемента, W – динамическая вязкость X-элемента, измеряемая в Па·с, B – постоянная Больцмана.

Проверим размерности в (14) в системе СИ.

$$\frac{м^3}{с} = \frac{\frac{Дж}{К}\cdot Дж}{м^3\,\frac{Дж}{м^3\cdot К}\cdot Па\cdot с} = \frac{\frac{Дж}{К}\cdot Н\cdot м}{м^3\,\frac{Дж}{м^3\cdot К}\cdot\frac{Н}{м^2}\cdot с}$$

Размерности левой и правой частей совпадают. Но для численных расчетов X-элемента формула (14) не годится. Она справедлива с точностью до постоянного безразмерного множителя, который может быть не равен единице, например, число Авогадро и т.п. константы. По формуле (14) можно судить о прямой и обратной пропорциональности ресурсов, о связи пространственных ресурсов, с вещественными. Назначая какие-то ресурсы в формуле постоянными, мы получаем связи между оставшимися ресурсами. Например, можно зафиксировать объём V X-элемента, зная длину ампул и площадь поперечного сечения деревянной кассеты, в которой стоят ампулы при запайке в прототипе, а также энергию $\eta Э$, подводимую от горелки. Эта энергия определяется свойствами стекла ампулы. Тогда в формуле остаётся только связь между расходом X-элемента и его свойствами, объёмной теплоёмкостью и динамической вязкостью. Отсюда вытекают и рекомендации к выбору X-элемента. Если мы хотим минимизировать его расход, то необходимо выбирать такой Х-элемент, у которого произведение удельной объёмной теплоемкости на динамическую вязкость является максимальной величиной [17].

Математически такая задача поиска Х-элемента сводится к задаче нелинейного программирования Лагранжа, т.е. поиска минимума функции нескольких переменных при ограничениях в виде равенств на некоторые из них, либо к задаче Куна-Таккера – при ограничениях в виде неравенств [18].

4.5. Некоторые выводы по аналитическому поиску ресурсов

1.Использование таблицы Бартини не позволяет получить точные формулы для численного поиска свойств Х-Элемента. Собственно, это справедливо для любой системы измерений, хоть СИ, хоть LT, поскольку теория размерностей позволяет восстановить формулу только с точностью до постоянного множителя.

2. Подбор переменных в балансной формуле не однозначный. Действительно, если в формуле (2) $L^3T^{-1}=C{\cdot}L^5T^{-4}\cdot L^1T^{0}\ {}^{-1}T^0$ размерность фактора $C= L^{-3}T^3$ выберем в виде произведения $C = L^{-2}T^{3}{\cdot}L$, тогда получим минимальную формулу связи энергии горелки с расходом Х-элемента, учитывающую только его динамическую вязкость W, т.е.
$R = Э/W$. Из выражения исключен пространственный ресурс, объем
Х-элемента, который в этом случае может быть переменным, а минимум расхода R достигается при максимальной динамической вязкости Х-элемента.

3.Очевидно, что необходимо стараться включить в балансную формулу как можно больше физических величин, характеризующих свойства Х-элемента. Тогда можно поставить задачу оптимизации - нахождение минимума расхода, объёма, массы, энергии (и т.п.) Х-элемента в зависимости от других его свойств, которые являются константами веществ или табличными величинами (типа динамическая вязкость, удельная теплоёмкость, удельный вес и др.).

4.Задача минимизации показателей Х-элемента вытекает из общего подхода ТРИЗ на получение идеального решения, чем меньше затраты на Х-элемент, тем идеальнее решение. Введение такого показателя как коэффициент полезного действия Х-элемента (8) позволяет сравнивать в рамках АРИЗа решения разных изобретательских задач. Если задача решена до шага 1.5 АРИЗа включительно, тогда кпд Х-элемента получается равным нулю. Применительно к задаче о запайке это эквивалентно установлению максимального пламени горелки и 100%-му оплавлению капилляра ампулы. Но поскольку задача не решена, дальше вступает в действие Х-элемент по отводу лишний энергии, перегревающей ампулу с лекарством. И чем больше его вклад, тем хуже решение с точки зрения идеальности, затрат Х-элемента. Для его численной оценки в задаче о запайке можно использовать соответствующие количества энергии, т.е. отношение энергии охлаждения к энергии горелка. Иначе, как из конкретной задачи, численных значений взять неоткуда. Очевидно, что для других задач можно взять отношения других показателей, например, объёмов, масс и т.п., тех показателей, которые характеризуют состояние инструмента в техническом противоречии. Чем меньше кпд Х-элемента, тем идеальнее решение.

Приложение

Приведем краткие сведения из статьи [19] В.Викулина «Система физических величин в размерности LT без подгоночных коэффициентов», в которой предлагаются соотношения между физическими величинами в LT-системе Бартини и в системе СИ.

Таблица 2. Соотношения физических величин в системах СИ и LT

Величина	Значение в СИ	Формула преобразования	Значение в LT
M - Масса	1кг	$M' = 4\pi GM$	1кг=8.385023892· 10^{-10} $м^3/с^2$
a,g - ускорение напряженность гравитац.поля	$м/с^2$		инвариант
Ф – потенциал гравитац.поля	$м^2/с^2$		инвариант
F- Сила	1Н	$F' = 4\pi GF$	1Н=8.385023892 · 10^{-10} $м^4/с^4$
W – энергия	1Дж	$W' = 4\pi GW$	1Дж=8.385023892 · 10^{-10} $м^5/с^4$
Q-эл.заряд	1Кл	$Q' = Q\sqrt{\frac{4\pi G}{\varepsilon_o}}$	1Кл = 9.731456551 $м^3/с^2$
I-эл.ток	1А	$I' = I\sqrt{\frac{4\pi G}{\varepsilon_o}}$	1А= 9.731456551 $м^3/с^3$
E-напряженность эл.поля	1 В/м	$E' = E\sqrt{4\pi G\varepsilon_o}$	1В/м = 8.616411993 · 10^{-11} $м/с^2$
U- потенциал эл.поля	1 В	$U' = U\sqrt{4\pi G\varepsilon_o}$	1В = 8.616411993 · 10^{-11} $м^2/с^2$
C-эл.емкость	1 Ф	$C' = C'/\varepsilon_0$	1Ф= 1.129409383 · 10^{11} м
R-резистивность	1 Ом	$R' = \varepsilon_0 R$	1Ом =8.854185340 · 10^{-12} с /м
L-индуктивность	1 Гн	$L' = \varepsilon_0 L$	1Гн =8.854185340 · 10^{-12} $с^2$ /м

Для механических величин В.Викулин использует выражение (5), из которого следует, что размерность массы *M'* в LT-базисе равна $M' = 4\pi GM$, где *M* – размерность массы в системе СИ [кг], *G* - гравитационная постоянная.

Закон обратных квадратов записывается в нормированном виде, с коэффициентом 4π. Поэтому все производные механические величины, в которые масса входит в первой степени, приобретают коэффициент $4\pi G$.

Для электрических величин используется закон Кулона, в котором роль гравитационной постоянной играет электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума) ε_0. Соотношения между некоторыми механическими и электрическими величинами приведены в таблице 2.

Литература

1. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. – Петрозаводск: "Скандинавия", 2004. –208 с.
2. Петров В.М. Теория решения изобретательских задач. – М.: "Солон - пресс" , 2017. – 224 с.
3. Бушуев А.Б. Математическое моделирование процессов технического творчества – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 181 с.
4. Рубин М.С., Курьян А.Г. ТРИЗ-навигатор по бизнес-моделям. «ТРИЗ в развитии»/ Сборник научно-исследовательских трудов. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ.Выпуск 9. Санкт-Петербург, Россия, 2017. – С.206-227.
5. Рубин М.С., Курьян А.Г. Противоречия и элепольный анализ в бизнес-системах. «ТРИЗ в развитии»/ Сборник научно-исследовательских трудов. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ.Выпуск 9. Санкт-Петербург, Россия, 2017. – С.227- 244
6. Петров В. М. АРИЗ-2010.– Тел-Авив, 2009. http://www.trizsummit.ru/file.php/id/f4626/name/АРИЗ-2010-1.pdf
7. Арнольд В.И. Теория катастроф. - М.: Наука, 1990. - 128 с.
8. Стюарт И. Тайны катастрофы – М.: Мир, 1987. – 76 с.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров, М.: Наука, 1968 г. — с. 47.
10. Гитин А.В. / ТРИЗ и теория катастроф. //Тезисы докладов Международной Научно-практической конференции по ТРИЗ. Петрозаводск,1999.
11. Бушуев А.Б. , Мансурова О.К. Катастрофа типа "сборки" в изобретательской задаче. Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). Выпуск 11. Актуальные проблемы анализа и синтеза сложных технических систем. /под ред. Никифорова В.О. – СПб. СПбГИТМО (ТУ). 2003.

12. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. В двух томах. М.: Мир, 1984. Т.2. - 286 с.
13. Бушуев А.Б. Скоростная инновация в рамках теории катастроф и ТРИЗ. «ТРИЗ в развитии»/ Сборник научно-исследовательских трудов. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ. Выпуск 9. СПб, Россия, 2017. – С.41- 54.
14. Бартини Р.О., Кузнецов П.Г. Множественность геометрий и множественность физик. // Материалы семинара "Кибернетика электроэнергетических систем". Брянск, 1974. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.metodolog.ru/01380/01380.html
15. Г.С. Альтшуллер, А.Б. Селюцкий. Крылья для Икара: Как решать изобретательские задачи.- Петрозаводск: Карелия, 1980. - 224 С.
16. А.Б.Бушуев. Применение методов технического творчества в инновационной деятельности – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 124 с.
17. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации . Учебное пособие. — 2 изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 368 с.
18. А.Б.Бушуев. Поиск количественных оценок ресурсов в базисе Бартини /Сборник докладов VII международной конференции "ТРИЗ: практика применения и проблемы развития", Москва. 2015. С. 221—225.
19. Викулин Владимир. Система физических величин в размерности LT без подгоночных коэффициентов. v1.21, 04-08-2011 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://electricaleather.com/d/358095/d/lt5_norm1.pdf

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

Кафедра Систем управления и Информатики

Основана в 1945 году как подразделение основанного в тот же год факультета Электроприборостроения ЛИТМО и именовалась кафедрой Электроприборостроения (№80). В отличие от существовавших к тому моменту кафедр аналогичного профиля в ЛПИ им. М.И. Калинина и ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), на кафедру автоматики и телемеханики ЛИТМО была возложена задача подготовки специалистов по автоматизации приборостроительной, оптической и оборонной промышленности, автоматических систем управления, систем телемеханики и телеизмерений. За прошедшие годы подготовлено более 4000 дипломированных специалистов. Свыше 100 молодых ученых закончили аспирантуру и защитили кандидатские диссертации, 20 сотрудников защитили диссертации на соискание ученой степени доктора наук Ежегодно кафедра выпускает до 150 человек, включающих в себя бакалавров, магистров и специалистов. Выпускники кафедры работают в ведущих научных центрах и учебных заведениях России, Европы, Азии и Америки. Педагогический штат включает 4 профессоров и 13 доцентов.

Ученые кафедры издают монографии, печатаются в журналах академий наук РФ и стран бывшего СССР, отраслевых журналах, известиях высших учебных заведений, а также зарубежных журналах и трудах международных конференций. Сотрудниками кафедры опубликовано более 120 монографий и учебников, 250 методических и учебных пособий, 3500 статей, из них более 380 в журналах академий наук, около 300 статей и докладов в зарубежных научных изданиях. Ученые кафедры являются авторами более 600 изобретений, постоянно принимают участие в работе российских и зарубежных семинаров, конференций и конгрессов. Кафедра поддерживает контакты с 20 техническими зарубежными университетами.

А.Б. Бушуев, Ю.В. Литвинов

Применение методов технического творчества в экономических и технических задачах

Учебное пособие

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе