

**А.Б. Бушуев, Ю.В.Литвинов**

**Моделирование  
процессов технического творчества**



**Методические указания  
к домашнему заданию**

Санкт-Петербург  
2016

А.Б.Бушуев, Ю.В.Литвинов Домашнее задание по курсу  
«Математическое моделирование процессов технического творчества» –  
СПб: Университет ИТМО, 2016. – 39с.

Пособие предназначено для магистров мегафакультета Компьютерных технологий и управления Университета ИТМО, специализирующихся по направлениям подготовки «Системный анализ и управление».

Домашнее задание является практической работой по курсу «Математическое моделирование процессов технического творчества», и использует знания, полученные студентами в философии, физике механике, электротехнике, электронике. Может быть полезно студентам при разработке систем управления различными объектами.



**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.

Рекомендовано к печати Ученым советом мегафакультета  
КТиУ\_24.05.2016\_, протокол №\_\_5\_\_

© Университет ИТМО, 2016

© А.Б.Бушуев, Ю.В.Литвинов, 2016

## Оглавление

|     |   |    |
|-----|---|----|
|     | Список сокращений .....   | 5  |
|     | Введение.....   | 6  |
| 1.  | Пример описания прототипа.....  | 7  |
| 2.  | Анализ и синтез по закону полноты частей системы.....                             | 8  |
| 3.  | Анализ и синтез по закону энергетической и<br>информационной проводимости ТС..... | 11 |
| 4.  | Закон согласования-рассогласования технических систем..                           | 14 |
| 5.  | Анализ и синтез ТС по закону увеличения степени<br>идеальности .....              | 16 |
| 6.  | Закон неравномерного развития технических систем.....                             | 20 |
| 7.  | Закон повышения динамичности и управляемости ТС.....                              | 22 |
| 8.  | Закон развертывания – свертывания ТС.....   | 25 |
| 9.  | Закон перехода ТС на микроуровень. Использование<br>полей.....                    | 27 |
| 10. | Статическая модель технического противоречия.....                                 | 30 |
| 11. | Одномерная динамическая модель технического<br>противоречия.....                  | 32 |
| 12. | Список литературы.....  | 38 |

## **Список сокращений**

АРИЗ - алгоритм решения изобретательских задач

ВПр – вещественно-ролевые ресурсы

Дв - двигатель

Изд - изделие

ИКР - идеальный конечный результат

ИЭ - источник энергии

Оу - органы управления

Ро - рабочий орган

ТП - техническое противоречие

Тр - трансмиссия, передача

ТРИЗ - теория решения изобретательских задач

ТС - техническая система

Фп - полезная функция

Фр - факторы расплаты

## **Введение**

Каждый студент получает индивидуальное задание от преподавателя, представляющее собой описание прототипа, т.е. патента изобретения с его названием и номером, как исходный материал для анализа и синтеза технических систем и математического моделирования процесса изобретательства. Изобретения относятся к устройствам или способам с развитой электромеханической и оптической частью (во всяком случае, связанные с передачей энергии того или иного рода через пространство). Такого рода изобретения являются характерными в изобретательской деятельности по направлениям "Управление и информатика», «Приборы точной механики», «Информационно-измерительная техника» и т.п.

Материалы, представляемые на защиту домашнего задания, оформляются в виде пояснительной записки со всеми необходимыми чертежами.

### Порядок выполнения домашнего задания.

1. Внимательно ознакомиться с описаниями изобретений и уяснить принцип действия заявленного устройства или устройства, реализующего заявленный способ.

2. Изложить принцип действия устройства в пояснительной записке с приведением всех необходимых рисунков и графиков.

3. Проанализировать устройства с точки зрения проявления в них основных законов развития технических систем (ТС), а именно:

закона полноты частей системы;

закона энергетической и информационной проводимости ТС;

закона согласования-рассогласования ТС;

закона увеличения степени идеальности ТС;

закона неравномерности развития ТС;

закона повышения динамичности и управляемости ТС;

развертывания и свертывания ТС;

закона перехода ТС на микроуровень и использования полей;

комбинация законов развития технических систем.

4. Используя вышеперечисленные законы развития ТС, дать прогноз развития технической системы из описаний авторских свидетельств и синтезировать новые технические решения.

5. На основе анализа и синтеза (по п.п.4 и Б) выявить несколько технических противоречий в ТС. Выбрать одно из них и разрешить его, решив задачу по алгоритму решения изобретательских задач.

6. Построить вепольную структуру одной из рассматриваемых задач. Произвести синтез или разрушение веполей.

7. Провести морфологический анализ одной из задач. Получить и проанализировать наиболее интересные 2-3 решения.

8. На основании решения, полученного в п.5, составить учебную формулу изобретения.

9. Составить статическую модель технического противоречия при помощи катастрофы типа «сборка».

10. Получить динамическую модель, построить её фазовый портрет и переходные процессы

## 1. Пример описания прототипа

В описании к авторскому свидетельству № III24, МКИ G02 D 3/14 (по заявке № 3527983/18-10 от 27.12.82 г., автор И. К. Мешковский) представлено устройство "Перестраиваемая оптическая система", функциональная схема которой приведена на рис. 1.

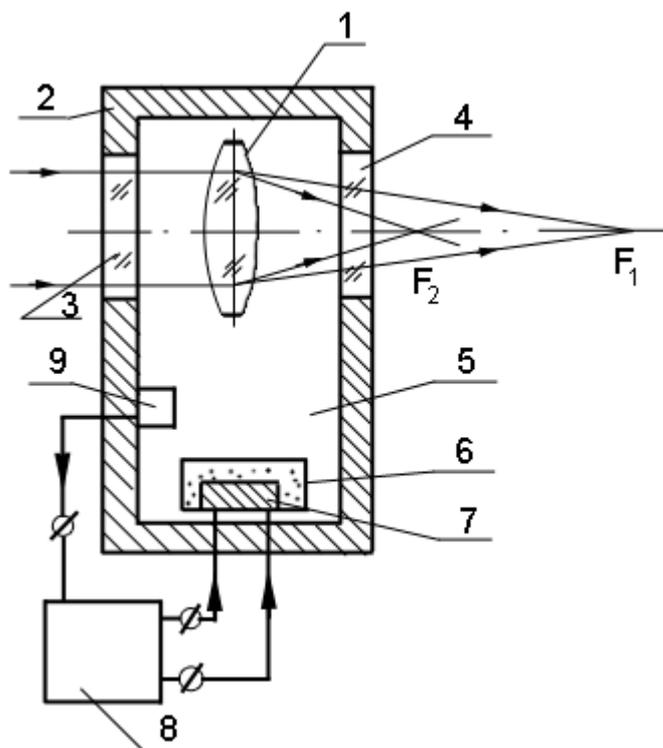


Рисунок 1. Функциональная схема оптической системы

Симметричная двояковыпуклая линза 1, выполненная из монодисперсного пористого стекла, размещена в полости 5 корпуса 2,

имеющего окна 3,4. в виде плоскопараллельных пластин из оптического стекла. В полость 5 корпуса 2 введены пары жидкости (вода, бензол и др.).

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

При уменьшении концентрации паров в полости 5 пары выходят из пор линзы 1 и фокусное расстояние снова изменяется (увеличивается).

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

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

## **2. Анализ и синтез по закону полноты частей системы**

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

Полную ТС можно представить в виде структурной схемы, как показано на рис.2, где ЕЭ - источник энергии, а Изд. - изделие. Ро - это то, что непосредственно взаимодействует с изделием, "обрабатывает" его, Тр подводит энергию к Ро от Дв, которых зачастую является и ИЭ или же преобразует энергию, поступающую от ИЭ. Оу управляет работой всех или хотя бы одной частью системы.

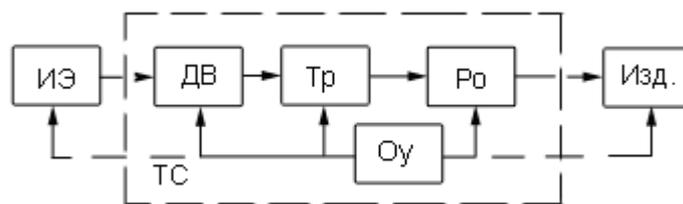


Рисунок 2. Структурная схема полной технической системы

Первые ТС развились из орудия труда - Ро. Например, сначала появился резец, мастер просто "ковырял" им изделие и выполнял функции и ИЭ, и Дв, и Тр, и Оу. Затем появились станки, приводимые в движение самим мастером, т.е. появились Тр. Потом станки стали соединять с водяными колесами, паровыми машинами, используемыми в качестве ИЭ и Дв. За человеком оставались только функция Оу. Наконец, появились станки с автоматической системой управления - появилась полная система.

Вытеснение человека из ТС - это одно из основных направлений развития техники. Оно идет обычно в том же порядке, что и в разобранный пример: Ро - Тр - Дв - ИЭ - Оу. Очень часто один и тот же элемент технической системы выполняет одновременно несколько функций. Чтобы ТС была управляемой, необходимо, чтобы хотя бы одна ее часть была управляемой, т.п. изменяющей свои параметры в соответствии с потребностями того, кто управляет.

Определим, что же является основными частями системы, представленной на рис. 1. Сначала определим рабочий орган - Ро. Система предназначена для изменения положения фокуса  $F$  в пространстве. Ясно, что рабочим органом будет линза 1, именно она изменяет положение своего фокуса. Это соответствует и линии вытеснения человека из ТС. Самые первые линзы перемещал человек, наводя фокус для получения четкого изображения.

Далее определим Дв как часть системы, вырабатывающую энергетику. Здесь двигателем является электронагреватель 7. Тогда трансмиссией является пластина 6 адсорбента, жидкость в порах адсорбента, пары в полости 5, жидкость в порах линзы 1. К органам управления Оу можно отнести блок управления 8 и датчик давления 9. Таким образом, с точки зрения закона система является полной.

Чтобы получить новые технические решения с использованием закона полноты частей системы, можно использовать линию на вытеснение человека из ТС. Как это сделать, когда все работает автоматически? Как найти действия человека, которые необходимо вытеснить? В соответствии с линией вытеснения действия человека необходимо искать на окончании этой линии - в органах управления - блоке 8 и датчике давления 9.

Как уже отмечалось, блок 8 на основании информации от датчика 9 вырабатывает электрический ток, идущий на нагрев нагревателя 7. Определенному давлению паров соответствует вполне определенное фокусное расстояние линзы 1 и, с другой стороны, вполне определенный режим нагрева нагревателя 7, т.е. в этом смысле система направлена на поддержание постоянного фокусного расстояния или постоянного положения точки фокуса на оптической оси. Какое устройство определяет этот режим? Ясно, что это блок 8, а точнее, алгоритм, заложенный в памяти блока 8. А кто установил именно такой алгоритм? Ясно, что человек, т.е. разработчик этой системы. Для вытеснения этой функции человека алгоритм работы блока 8 должен устанавливаться сам. Для этого на блок 8 необходимо подать еще один входной сигнал, несущий информацию об изменении алгоритма. Этот сигнал может поступить из надсистемы. Например, если рассматриваемая система предназначена для работы в оптическом устройстве слежения за подвижной целью, то на блок 8 может поступить сигнал о движении цели. С изменением расстояния до цели будет изменяться и фокусное расстояние линзы, чтобы цель все время наблюдалась в фокусе.

Сигнал на блок 8 может поступить также и из одной из подсистем данной системы, например, можно изменять алгоритм работы блока 8 в соответствии с изменением фокусного расстояния. Для этого датчик ТО смещения фокуса ставится на оптическую ось и сигнал с него подаётся на блок 8 (рис.3).

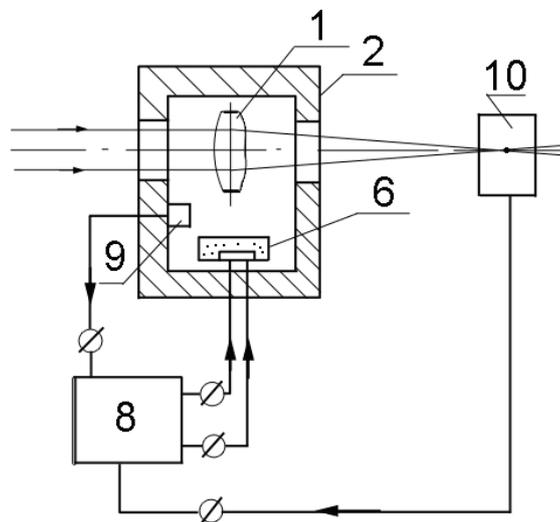


Рисунок 3. Структурная схема замкнутой оптической системы

С точки зрения автоматического управления, система получается замкнутой по положению фокуса на оптической оси. Такая система обладает меньшими ошибками и работает быстрее, чем система без обратной связи. Однако ее реализация затрудняется тем, что датчик 10

мешает прохождению светового луча на цель. Таким образом, выявляется противоречие: чтобы измерять смещение фокуса датчик должен быть на оптической оси, и одновременно не должен быть на оптической оси, чтобы не мешать прохождению света. Это противоречие может быть основой для разбора задачи по АРИЗу.

### **3. Анализ и синтез по закону энергетической и информационной проводимости ТС**

Закон формулируется следующим образом: необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является сквозной проход энергии и информации по всем частям технической системы. Так как перенос информации неизбежно связан с переносом энергии, то в дальнейшем будем говорить только об энергетической проводимости.

Передача энергии в ТС может быть вещественной (вал, шестерни и т.п.), полевой (магнитное поле, гравитационное и т.п.) и вещественно-полевой (поток заряженных частиц). Многие задачи сводятся к подбору поля и вида передачи, наиболее эффективных в данных условиях. При этом следует руководствоваться тремя основными правилами:

- При синтезе ТС надо стремиться к использованию одного поля (вида энергии) на все процессы работы и управления, т.к. преобразование информации или энергии из одного вида в другой ведет к ее потере, ошибкам, снижению надежности, усложнению.

- Если ТС состоит из веществ, менять которые нельзя, то используется хорошо проводимое этими веществами поле. Например, для связи в воде попользуется ультразвук, а не радиоволны, быстро затухающие в воде.

- Если вещества, входящие в ТС, можно менять, то необходимо использовать самое эффективное поле, а к нему уже подобрать вещество, хорошо проводящее поле. Например, использование для передачи информации вместо электрического тока оптического излучения влечет замену металлических проводников световодами.

Для анализа технической системы по этому закону необходимо построить линию сквозного прохода энергии через систему. В принципе, таких линий в одной ТС может быть несколько, они могут частично совпадать, пересекаться, начинаться или заканчиваться в одном и том же месте системы. Главное - чтобы все части системы входили в ту или иную линию. Построение линии сквозного прохода энергии связано с

предыдущим законом полноты частей системы, поскольку энергия от двигателя проходит через трансмиссию к рабочему органу.

Проанализируем адаптивную оптическую систему (рис.1) по закону энергетической проводимости. Построение линии можно начинать с любого элемента система. Например, в системе есть электрический нагреватель 7, он выделяет тепловую энергию. Можно начать с него. Тепловое поле действует на адсорбент 6, который выделяет пары в полость 5. Информативный параметр теплового поля в данном случае - это температура нагрева адсорбента 6. По закону проводимости температура должна преобразовываться в информационный параметр выходящих паров. Очевидно, что чем больше температура нагрева, тем больше выходит паров. Количество паров можно характеризовать либо их давлением, либо их концентрацией, т.е. количеством паров линии, то к нагревателю 7 подводится электрический ток от блока 8 управления, а на него поступает информация с датчика 9 давления паров. Поэтому линия прохода может быть выстроена следующим образом (рис.4).

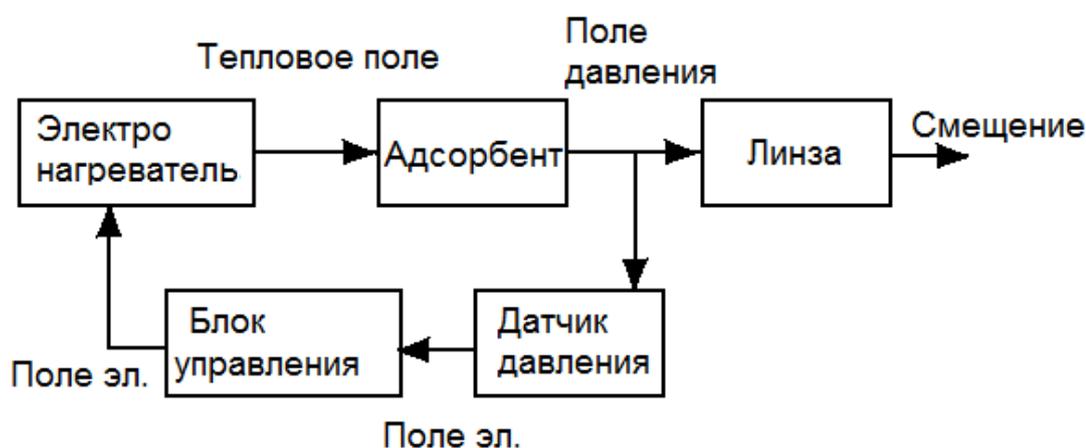


Рисунок 4. Линия прохода энергии/информации

Зададим себе вопрос, все ли элементы охвачены этой линией? Очевидно, нет, например, есть окна в корпусе 2 для прохождения излучения. Следовательно, есть еще одна линия, связанная с прохождением излучения (рис.5а). Очевидно, эти две линии пересекаются на пористой линзе (рис.5б).

Для синтеза новых решений можно замкнуть линию прохождения энергии, получив кольцо. Для этого энергия (информация) должна с одного из выходов снова поступить на вход (или на входы).



Рисунок 5. Проход линий а) сквозного излучения, б) пересечения

По этому закону можно, например, на выход второго окна, как и в решении на рис.3, поставить фотодатчик фокусного расстояния, информация с которого может поступить не только на блок управления, но и на входное (первое) окно корпуса. Таким образом, в зависимости от изменения фокусного расстояния можно менять информационные параметры излучения, проходящего через линзу, например, мощность или частоту.

В этом пункте задания необходимо проанализировать различные варианты. Для этого примера, если взять частоту излучения, проходящего через линзу в качестве изменяемого параметра, то по сравнению с прототипом (рис.2), работающим в оптическом диапазоне, нужно менять частоту во всем спектре излучений и показать новые решения. Например, если увеличивать частоту по сравнению с оптическим диапазоном, то придем, к инфракрасному (тепловому) диапазону, меняющему условия конденсации паров жидкости внутри линзы, т.к. проходящее тепловое излучение будет нагревать линзу. Если уменьшать частоту излучения и менять вид поля, то приходим к ультразвуковому капиллярному эффекту, влияющему на скорость проникновения жидкости в поры линзы. Так или иначе, новые решения приводят к изменению коэффициента преломления в зависимости от смещения фокусного расстояния. Выход на термокапиллярный или ультразвуковой капиллярный эффекты показывают высокий уровень управляемости полученной системы, а, следовательно, повышают и ценность решения. Вообще, появление управляемых физических и других эффектов в технической системе показывает на проявление закона повышения динамичности и управляемости, о котором будет еще сказано далее.

#### **4. Закон согласования-рассогласования технических систем**

Составляющие техническую систему части должны быть согласованы или, наоборот, рассогласованы между собой.

Под согласованием понимается придание основным параметрам частей системы определенных, соответствующих основным параметрам других частей, значений. Под рассогласованием понимается целенаправленное нарушение соответствия различных частей ТС по каким-либо параметрам, позволяющее улучшить ее работу.

Например, для согласования по магнитным параметрам входной и выходной обмоток электрических трансформаторов используются ферромагнитные сердечники, по которым замыкается магнитный поток. Сердечники обычно изготавливаются из электротехнических сталей, обладающих относительно невысоким электрическим сопротивлением. Чтобы избежать потерь от вихревых токов, прибегают к рассогласованию по электрическим параметрам путем изготовления сердечников из отдельных пластин, изолированных друг от друга.

Согласованию-рассогласованию подлежат различные параметры частей ТС, в том числе:

ритмика работы, темп различных движений (например, настройка собственных частот колебаний частей ТС в резонанс или целенаправленное устранение резонансов в системе);

материалы (подбор материалов, контакт между которыми не вызывает вредных явлений, например, гальванического окисления, либо преднамеренное использование контактных явлений, например, в термопарах);

структура (системы с резко отличающимся уровнем сложности плохо взаимодействуют друг с другом);

формы и размеры, время жизни, энергетические параметры, информационные потоки и т.п.

ТС в своем развитии проходит этапы:

принудительного согласования, когда эффективность более развитых подсистем вынужденно снижается до наименее развитых (например, производительность вычислительных машин определяется самыми медленными устройствами - ввода-вывода); буферного согласования, осуществляемого с помощью специальных согласующих элементов (трансформаторы, эмиттерные повторители, коробка передач и т.п.); свернутого согласования, осуществляемого за счет возможностей самих

подсистем, вещественно-полевых ресурсов (очки, меняющие прозрачность в зависимости от уровня освещенности).

Согласование-рассогласование частей ТС должно проявляться как в статике, так и в динамике (при изменении параметров). С точки зрения закона согласования-рассогласования, можно проверить, например, согласованность по темпу процессов, проходящих в основных частях системы. В адаптивной оптической системе процессы конденсации паров (превращения их в жидкость) в пористых капиллярах линзы протекают существенно медленнее, чем электрический ток от блока 8 управления к нагревателю 7. Поэтому решения по увеличению быстродействия электрических цепей этой системы не дадут должного эффекта. В этом смысле система согласована плохо. То же самое можно сказать и о согласованности движений: оптического излучения через линзу и смещения фокуса линзы вдоль оптической оси. "Обрабатываемое" движение (смещение фокуса) гораздо медленнее, чем "обрабатываемое" (частота излучения, проходящего через линзу).

Плохое согласование не всегда означает, что система плоха. Например, если сделать линзу, у которой фокусное расстояние менялось с частотой, совпадающей с частотой проходящего излучения (или хотя бы с соизмеримой частотой), то в этом случае проявились бы нежелательные, с точки зрения фокусировки, изображения, явления дифракции и интерференция. Однако такую систему можно создать. Очевидно, она будет пригодна для каких-то других целей. Для получения нового решения можно использовать АРИЗ.

Чтобы все-таки ускорить перемещение фокуса в этой системе, т.е. повысить согласованность электрической части и пористой линзы, возможны разные пути. Например, по закону повышения управляемости системы можно использовать ультразвуковой или термокапиллярный эффекты, ускоряющие процесс проникновения паров в поры линзы и их вывода. Какой управляемый эффект более пригоден? Ультразвуковые колебания - механические. Действуя ими на линзу, можно повысить управляемость, но при этом возможны механические колебания самой линзы, которые приведут к размытию изображения.

Более пригоден термокапиллярный эффект. Ясно, что если линзу охлаждать, то пары в капиллярах линзы будут быстрее конденсироваться в жидкость, а если нагревать, то жидкость будет быстрее превращаться в пар и выходить из пор линзы. Тем более что для этого эффекта система более приспособлена, поскольку в ресурсах ее есть источник тепловой энергии (электронагреватель). Таким образом, нагреватель должен нагревать адсорбент, чтобы повысить концентрации паров и не должен нагревать линзу (а лучше охлаждать), чтобы пары быстрее конденсировались. С

другой стороны, для снижения коэффициента преломления надо нагревать линзу и не надо нагревать адсорбент (а лучше охлаждать). Как видно, задача выходит на противоречия, которые необходимо разрешить по АРИЗу.

## 5. Анализ и синтез ТС по закону увеличения степени идеальности

Закон повышения степени идеальности является одним из основных законов развития ТС. Под увеличением степени идеальности  $I$  в ТРИЗ понимается рост отношения суммы выполняемых системой полезных функций  $\Phi_n$  к сумме факторов расплаты  $\Phi_p$

$$I = \frac{\sum \Phi_n}{\sum \Phi_p}$$

Закон гласит, что в процессе развития степень идеальности увеличивается либо за счет увеличения выполняемых системой, функций (полезных), либо за счет уменьшения факторов расплаты (либо соответствующего изменения того и другого одновременно). Факторы расплаты включают затраты на создание, эксплуатацию, утилизацию системы, а также все создаваемые системой вредные функции.

Конечно, формула отражает тенденции развития лишь качественным образом, так как количественная оценка всей совокупности  $\Phi_n$  и  $\Phi_p$  очень сложна.

Повышение идеальности ТС может происходить как в рамках существующей конструктивной концепции, так и в результате ее радикального изменения, перехода к новому принципу действия.

Одним из важнейших механизмов повышения идеальности является использование вещественно-полевых ресурсов системы.

На базе понятия идеальности в ТРИЗ вводится понятие об идеальном конечном результате (ИКР) - одном из главных понятий при решении задач по АРИЗ. ИКР достигается в идеальной системе, т.е. той, которой нет, а ее полезные функции выполняется. Сравнивая ИКР с техническими противоречиями, можно выявить физические противоречия в системе. В процессе развития ТС стремится к ИКР, т.е. степень ее идеальности повышается. Но поскольку ИКР соответствует степени идеальности  $I$ , равной бесконечности, то достичь ИКР никогда не удастся.

Законы развития ТС, формулируемые в последующих параграфах, указывают конкретные направления повышения идеальности ТС, хотя

повышение идеальности можно использовать и напрямую "в лоб" для получения новых технических решений.

Рассмотрим в качестве примера задачу о поплавковом наклонном измерителе (рис.6). Наклономер определяет угол наклона  $\alpha$  основания и используется, например, для измерения качки судов на морском волнении. При наклоне основания на угол  $\alpha$  поплавок стремится всплыть в жидкости вверх, поддерживая вертикальное положение штока. При этом ось шарнира поворачивается на тот же угол  $\alpha$ . Измеряя поворот оси относительно нулевого наклона, можно измерить и угол  $\alpha$ .

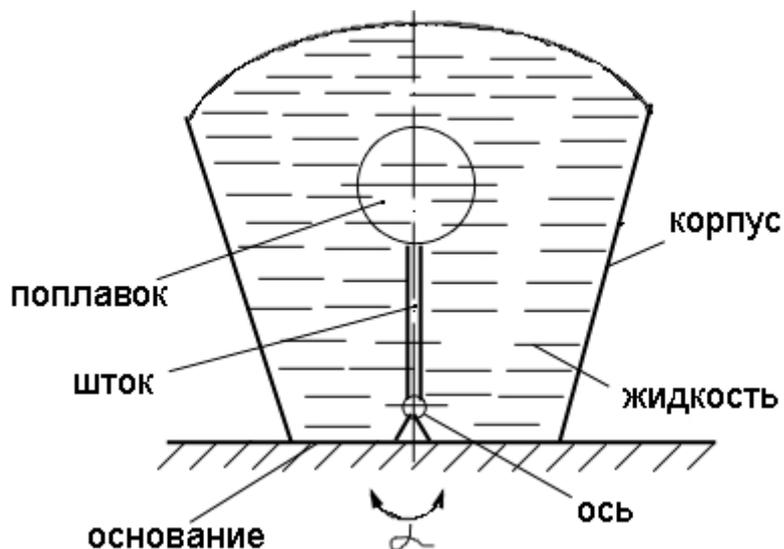


Рисунок 6. Поплавковый наклонномер

Для повышения степени идеальности можно использовать формулу. Попробуем и уменьшить знаменатель, т.е.  $\Phi_p$ . Для этого выкинем из системы какую-либо часть ее, например, корпус. Жидкость утекает, поплавок падает на бок влево или вправо. Измерять нельзя. Чтобы поплавок со штоком сохранял вертикальное положение в окружающей среде (уже в воздухе, а не в жидкости), его надо наполнить газом легче воздуха подобно взлетающему воздушному шару (рис.7). Получили новое техническое решение для той же функции. Повысилась ли степень идеальности - оценить трудно. Хотя и пропали два элемента системы - корпус и жидкость, однако в факторах расплаты появился газ легче воздуха. Возможны и ухудшения точностных и эксплуатационных характеристик измерительного устройства. Однако новое решение получено.

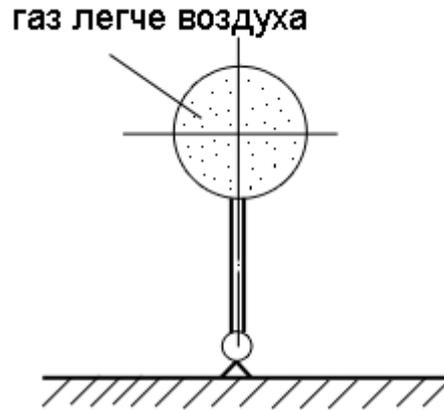


Рисунок 7. Поплавок в воздухе

Попробуем выкинуть из системы другой элемент – поплавок (вместе со штоком). Система опять не работоспособна. Возникает противоречие между повышением идеальности и работоспособностью, т.е. выполнением полезной функции. Противоречие может быть разрешено по АРИЗу. Одно из решений - жидкость заливать в корпус не полностью, оставив пузырек воздуха в виде поплавка. Положение пузырька относительно меток на прозрачном корпусе укажет наклон основания (рис.8). Такой прибор в строительстве называется уровнем.

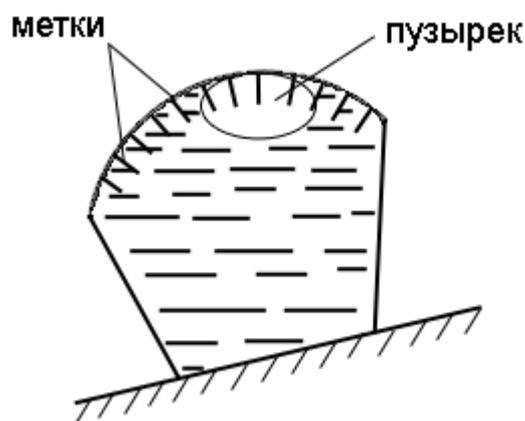


Рисунок 8. Уровень

Для повышения степени идеальности путем увеличения числителя формулы необходимо возложить на систему еще одну или несколько функций, ею ранее не выполнявшихся. Желательно, чтобы при этом факторы расплаты не увеличивались. Например, поплавковый наклономер при постоянном наклоне основания (пусть нулевом) может измерять уровень, жидкости в сосуде. Действительно, при уменьшении уровня

жидкости в корпусе поплавков будет плавать на поверхности жидкости, и чем ниже уровень, тем больше угол поворота оси.

Также при постоянном уровне жидкости и наклоне основания можно измерять плотность жидкости, т.к. от плотности жидкости зависит степень погружения поплавка в жидкость, а, следовательно, и угол поворота оси.

Не обязательно, чтобы новые функции также были измерительными. Например, поплавки движутся в жидкости, поэтому, так или иначе, действует на нее. Если в корпусе несколько разных жидкостей, то движение поплавка может способствовать их перемешиванию, можно получать более однородные взвеси твердых частиц в жидкости, коктейли и т.п.

Как уже отмечалось, сильные решения получаются при использовании вещественно-полевых ресурсов задачи вместо исключаемых факторов расплаты. Если в адаптивной оптической системе (рис. 1) убрать электронагреватель 7, то для нагрева адсорбента можно использовать ВПР (вещественно-полевые ресурсы) задачи. Действительно, излучение, пропускаемое через линзу, несет энергию, поэтому оно может использоваться для нагрева адсорбента. Для этого (а. с. № I48I73I, класс G 05 D 11/00, БИ № 19, I989) адсорбент помещается на оптическую ось системы внутри корпуса. Получается новое техническое решение (рис.9), предназначенное для другой полезной функции - регулирования концентрации паров.

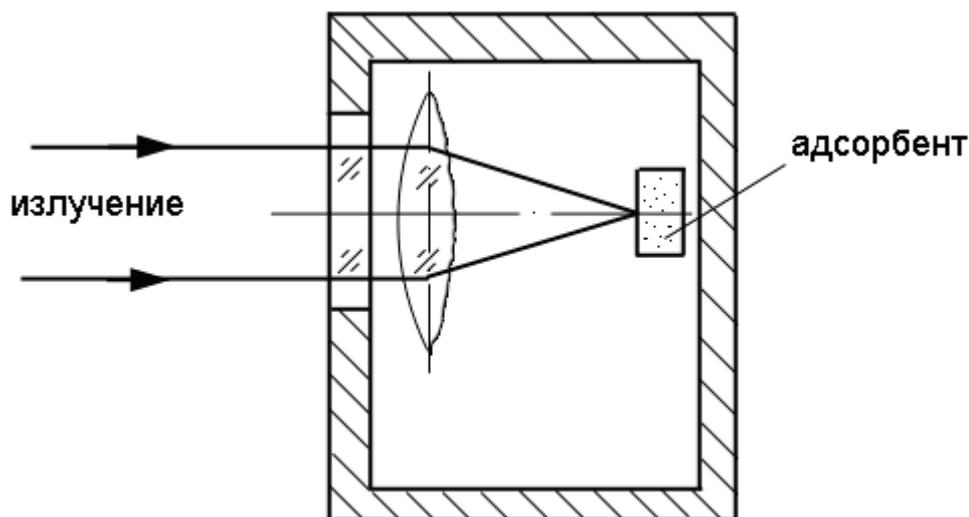


Рисунок 9. Регулирование концентрации паров

Этот пример показывает удачное использование ВПР.

## 6. Закон неравномерного развития технических систем

В развитии технической системы в соответствии с законами диалектики происходит чередование этапов количественного роста и качественных скачков. В процессе количественного роста в результате неравномерного развития характеристик технической системы появляются противоречия: административные, технические, физические. В процессе количественного роста происходит накопление и обострение противоречий. Скачок в развитии - это преодоление, разрешение в определенной степени того или иного противоречия, т.е. появление нового технического решения.

Содержание противоречия проявляется в характеристиках, параметрах, свойствах технической системы, а форма противоречия - в конкретной конструкции технической системы. Например, в транспортном средстве для увеличения скорости необходимо увеличивать мощность двигателя. Собственно, так и делали. Увеличение мощности давало увеличение скорости, шел этап количественного роста характеристик (скорости, мощности). Но наступил момент, когда увеличение мощности привело к такому увеличению веса в габаритов двигателя и топливных баков, а следовательно, и транспортного средства, что средняя скорость начала падать (из-за увеличения сопротивления движению в установившемся режиме и из-за увеличения времени разгона и торможения в переходных режимах). Таким образом, резко проявилось противоречие между скоростью и мощностью (характеристиками, параметрами). Дальнейшее развитие возможно через скачок - качественное изменение. Но качественное изменение чего? Ясно, что формы, т.е. конструкции транспортного средства. Тогда изменится и содержание - количественные характеристики, параметры, свойства (скорость, например). Одно из возможных решений - отделение от транспортного средства отработанных топливных баков, т.е. переход к многоступенчатым конструкциям (моно-би-полисистемы).

В домашнем задании при анализе и синтезе системы в этом пункте необходимо найти противоречие между содержанием и формой, т.е. между характеристиками, параметрами, свойствами и конструкцией, частями ТС. Противоречие необходимо сформулировать и разрешить по АРИЗу. Как это сделать конкретно, покажем на примере поплавкового наклономера.

Сначала необходимо выбрать содержательную характеристику, которую будем улучшать, т.е. цель. Цели изобретения должны быть общественно полезными. Для задач автоматики, электромеханики, измерительной техники чаще всего встречаются цели: повышение точности, чувствительности, быстродействия, КПД, надежности ТС,

упрощение конструкции, расширение динамического диапазона работы, расширение функциональных возможностей и некоторые другие.

Для поплавкового наклономера (рис.6) выберем, например, повышение чувствительности.

Если наклонить основание на какой-то очень малый угол  $\Delta\alpha$ , то поплавков его как бы "не почувствует", т.е. останется вертикальным и ось шарнирно закрепленного штока поплавок не повернется на угол  $\Delta\alpha$ . Почему? Очевидно, из-за трения в шарнире. Как повысить чувствительность? Здесь могут быть разные решения. В курсовой работе необходимо найти их. Например, можно увеличить выталкивающую силу поплавок. Тогда и составляющая выталкивающей силы, направленная в сторону поворота оси на угол  $\alpha$ , будет больше. Следовательно, чувствительность повысится. Для увеличения выталкивающей силы по закону Архимеда нужно увеличить объем поплавок (одно из возможных решений). Таким образом, содержание количественного развития ТС - это повышение чувствительности, а форма количественного развития - увеличение объема поплавок.

Но увеличение объема поплавок, например увеличение радиуса шарового поплавок, не дает нового технического решения. Изобретения нет, так как не прерывается постепенность. Задача остается "линейной" (по аналогии с линейными дифференциальными уравнениями, которыми в этом случае можно описать движение поплавок). Необходим выход на скачок, на "нелинейность", на противоречие, тогда появятся объективные предпосылки для изобретения. Как это сделать? Можно поступить по-разному. Вариантность решений отражает множественность переходов от одного административного противоречия к различным техническим решениям.

Например, пусть радиус поплавок увеличивается до тех пор, пока увеличивающийся поплавок не упрется в корпус прибора. Вот тогда будет перерыв постепенности количественного развития. Сразу же формулируется техническое противоречие: поплавок должен быть большим для увеличения чувствительности и не большим, чтобы он мог поворачиваться, т.е. измерять угол наклона. Дальше задачу можно решать по АРИЗу.

Ясно, что просто увеличение размеров корпуса прибора не дает нового решения задачи, так как не нарушается постепенность. А вот получение такого корпуса прибора, который бы задерживал жидкость и не задерживал поплавок, очевидно, будет новым техническим решением. Техническое противоречие можно получить и сравнивая выбранную характеристику - чувствительность - с другими параметрами, свойствами, которые определяют указанные цели изобретений. Например, при

увеличении объема поплавок увеличивается и его поверхность, а следовательно, и сопротивление его движению со стороны жидкости. Сразу же формулируем техническое противоречие: чем больше поплавок, тем выше чувствительность, зато хуже быстродействие при измерении быстро меняющихся наклонов из-за увеличения сопротивления движению, т.е. тем ниже точность работы в динамике. Это одно из ТИПИЧНЫХ противоречий технических систем - между точностью в статике, т.е. чувствительность (при измерении постоянных наклонов) и точностью в динамике, т.е. быстродействием. Противоречие опять может быть разрешено с помощью АРИЗа. Одно из возможных решений - поплавок в виде крыла.

В заключение заметим, что поскольку содержание, так или иначе отражается в форме, то неравномерность развития ТС можно выводить и из неравномерности развития частей технической системы. Об этом уже говорилось в законе согласования-рассогласования ТС, где электрическая часть (электронагреватель, блок управления) адаптивной оптической системы (рис.1) более развита по быстродействию, чем физико-оптическая часть (пористая линза). Неравномерность развития этих двух частей также приводит к противоречию между ними.

## **7. Закон повышения динамичности и управляемости ТС**

Закон заключается в том, что в процессе развития ТС повышается способность ее к целенаправленным изменениям, обеспечивающим наилучшее приспособление к изменяющейся внешней среде. Система как бы "встраивается" в окружающую среду с наименьшими затратами, "притирается" к ней.

Главное проявление этого закона и разрешение противоречий, возникающих при встраивании развивающейся системы в среду ее функционирования, заключается в превращении неизменных прежде параметра, свойства, характеристики, части системы в изменяющиеся согласно нашим требованиям. Тем самым повышается и идеальность системы.

### ***Основные линии проявления закона следующие.***

#### ***1. Переход к мультифункциональности:***

заключается в переходах в сменяемым элементам в системе или к переходам к системе с изменяемым элементом (пример - фотоаппарат со сменными объективами или фотоаппарат с одним объективом, но у которого меняется фокусное расстояние).

2. Увеличение числа степеней свободы:

а) на макроуровне - за счет создания механически изменяемых систем (например, самолет, у которого изменяется геометрия крыла за счет механического изменения площади);

б) на микроуровне - за счет использования свойств, входящих в систему веществ (например, ограничений электрического тока через р-п переход при полностью открытом переходе из-за отсутствия свободных носителей тока);

в) на микроуровне - за счет использования свойств полей (например, электронный поворот луча радиолокатора в пространстве вместо механического поворота антенны локатора).

3. Повышение управляемости за счет введения:

а) программного управления, т.е. введения в систему извне управляющего сигнала в виде веществ или полей (пример - разомкнутые системы управления);

б) управления с обратной связью (пример - замкнутые системы автоматического управления).

Рассмотрим применение закона на примере устройства для сигнализации о наличии примесей в топливе (а.с.№ 1522097, Кл. G 01 N 33/22, БИ № 42, 15.11.89). Функциональная схема устройства приведена на рис.10.

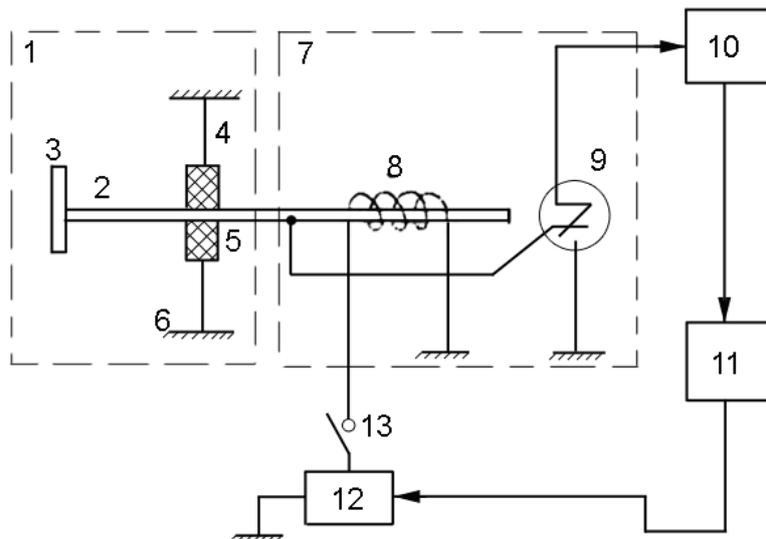


Рисунок 10. Устройство сигнализации наличия примесей в жидкости

Устройство определяет наличие жидких и твердых примесей в жидком топливе, например в бензине, и работает следующим образом. Стержень 2 чувствительного элемента I в исходном состоянии изолирован от корпуса изоляционными прокладками 5. Для определения жидких примесей стержень 2 помещается в топливо. Если в топливе есть примесь воды, то топливо с водой становится проводником и стержень 2 за счет проводимости воды электрически соединяется с корпусом 6. Тогда появляется электрический сигнал через стержень 2, нормально замкнутый контакт геркона 9 на усилитель 10 и индикатор 11 к источнику питания 12 и далее на землю. В этом случае индикатор 11 дает звуковой или световой сигнал. В режиме обнаружения твердых примесей в топливе замыкается ключ 13. Если есть твердые примеси в топливе, то электромагнитная катушка 6 не сможет развить достаточного усилия для перемещения стержня 2, поскольку движению стержня 2 будут препятствовать твердые частицы, упирающиеся в насадок 3, жестко связанный со стержнем 2. Ток в катушке 8 подбирается так, что электромагнитное усилие было меньше, чем суммарная сила сопротивления твердых частиц и сила упругости мембраны 4, на которой подвешен стержень 2. Стержень 2 остается неподвижным и не сможет воздействовать на нормально замкнутый контакт геркона 9 и, следовательно, это приводит к отсутствию сигнала в усилителе 10, а индикатор II остается в исходном состоянии (значит, твердые примеси есть).

При отсутствии твердых примесей после включения выключателя 13 электромагнитная сила катушки 8 превысит силу упругости мембраны 4. Катушка 8 втягивает сердечник 2 до соприкосновения с герконом 9, что приводит к замыканию нормально разомкнутого контакта, и на выходе усилителя 10 появляется сигнал, воспроизводимый индикатором 11.

Отметим особенности этой системы. Система имеет развитые электромагнитную и электронную части. Уровень динамичности и управляемости достаточно высок, хотя бы потому, что используются управляемые физические эффекты (электромагнитный эффект Фарадея, например). Кроме того, особенностью являются два четко разграниченных режима: обнаружение жидких и обнаружение твердых примесей. В каждом из этих режимов работают свои части, свои элементы системы, хотя есть и элементы, работающие в обоих режимах: стержень 2, прокладка 5 (изолирующая стержень 2 в одном режиме и поддерживающая в другом), геркон 9, усилитель 10, индикатор 11 и источник питания 12. Можно считать, что в такой системе продляется закон повышения степени идеальности за счет расширения количества выполняемых функций, т.е. обнаружение как жидких, так и твердых примесей, хотя свернута система еще недостаточно.

Для повышения динамичности и управляемости этой системы необходимо найти статические, неподвижные в том или ином отношении части, элемента, параметры системы, а затем в соответствии с проявлениями закона сделать их динамическими, т.е. подвижными.

Например, насадок 3 на стержне 2 можно сделать съемным, различным по конфигурации и размерам в зависимости от типа обнаруживаемых твердых частиц, с которыми он соприкасается, т.е. с внешней средой.

Тем самым можно повысить точность обнаружения твердых частиц разного рода. Если дальше развивать линию перехода к multifunctionality, надо перейти от сменных насадков к насадку, изменяющему свои размеры в зависимости от внешней среда.

Если обратиться к стержню 2, то он работает в режиме определения жидких примесей как проводник электрического тока и в режиме определения твердых примесей как сердечник электромагнита 6, совершающий горизонтальное перемещение. Величина тока, протекающего через стержень 2, зависит от количества ВОДЫ в топливе: чем больше вода, тем больше ток. Электромагнитная сила, действующая на стержень 2, зависит от величины напряжения источника питания 12.

В соответствии с законом повышения динамичности и управляемости попробуем ввести обратную связь в этой системе. Обратная связь - это передача информации (энергии) с выхода системы (конца информационного или энергетического потока) на ее вход или куда-либо в середину информационного (энергетического) потока или системы.

Выходным сигналом при обнаружении жидкой примеси является ток, протекающий через стержень 2, геркон, усилитель, индикатор. Следовательно, этот сигнал должен поступить на вход. Что же является входом системы? В этом режиме входом является вода в топливе, именно она вызывает появление тока. Поэтому в принципе можно воздействовать током на воду в направлении ее устранения из топлива. Здесь возможны различные варианты.

## **8. Закон развертывания и свертывания ТС**

Повышение идеальности ТС осуществляется путем развертывания - увеличения количества и качества выполняемых функций, приносящих пользу, но за счет увеличения сложности системы, и свертывания - упрощения системы при сохранении или увеличении количества и качества полезных функций.

На всех этапах развития эти два процесса могут чередоваться, перекрываться, но обычно на начальных этапах преобладают процессы развертывания, а на более поздних - свертывания.

Развертывание ТС в момент ее рождения начинается с создания функционального центра - минимально необходимого для выполнения основной функции совокупности подсистем (элементов). В простейшем случае функциональный центр определяется законом полнота частей системы (двигатель, трансмиссия, рабочий орган и орган управления).

Развертывание ТС происходит от функционального центра к периферии и предусматривает введение дополнительных подсистем, которые выполняют новые полезные функции или повышают качество уже выполняемых полезных функций.

Развертывание осуществляется также переходом в надсистему. Одна из линий этого развертывания - переход от моно- к би- а далее к полисистемам (или 1-2-много). В би- и полисистему могут объединяться как однородные системы, так и системы с несколько сдвинутыми характеристиками (набор цветных карандашей), системы с противоположными характеристиками (карандаш с резинкой для стирания на противоположном конце), а также альтернативные системы, т. е, соединение нескольких систем, выполняющих одну и ту же функцию, но действующих на разных принципах. Наибольший эффект дает в соединении альтернативных систем вариант, когда недостатки их взаимно компенсируются, а достоинства складываются.

Однако развертывание может привести к излишнему усложнению и снижению надежности работы, эффективности ТС. Чтобы этого не происходило, надо повышать качество и количество полезных функций путем использования новых принципов действия, изобретательских решений. Накопление изобретательских решений в ТС может привести к ее свертыванию.

Свертывание обычно начинается с совмещения функций: одна из подсистем начинает выполнять функцию соседней, которая исчезает за ненадобностью, и, в конечном итоге, завершается заменой всей системы некоторым идеальным веществом (или полем). Свертывание гораздо сильнее изменяет исходную систему, чем развертывание, а дает изобретения более высокого уровня.

Хороший пример развертывания Р<sub>0</sub> можно привести в адаптивной оптической системе. Это типичный пример би-системы, поскольку по линии прохождения энергии нагреватель-адсорбент-линза стоят два (би-) капиллярно-пористых материала (КПМ) - адсорбент и пористая линза, но с несколько сдвинутыми характеристиками. И линза, кроме свойства пористости, обладает еще и оптическими свойствами. Дальнейшее

развертывание по этой линии должно привести к полисистеме, т.е. к нескольким пористым линзам или/и адсорбентам. Развертывание в полисистему может осуществляться в пространстве или (и) во времени. Например, пусть во времени разворачивается пористая линза. Это может означать, что в системе должно быть множество пористых линз, сменяющих друг друга, и именно на том месте, где прежде стояла одна линза.

Таким образом, адсорбент при нагреве выделяет пар, пар конденсируется в порах линзы в жидкость. При достижении определенного фокусного расстояния подается сигнал на убирание линзы из системы вместе с паром, вернее, с жидкостью. Получается новая система - дозатор пара, потому что при определенном фокусном расстоянии в линзе запасается вполне определенное количество пара.

Примером развертывания и одновременного свертывания является устройство для обнаружения в топливе примесей. Развертывание заключается в том, что соединяются две функции - обнаружение жидких и обнаружение твердых примесей, а свертывание - в использовании для двух функций некоторых общих элементов, как уже указывалось ранее.

Можно указать также дальнейшее возможное свертывание этой ТС, т.е. переход к "умному", идеальному веществу. Таким веществом может быть, например, какой-либо индикатор воды. Кусочек его бросают в бензин и, если индикатор изменил цвет, то вода есть (индикатор может впитывать влагу).

Примером соединения альтернативных систем является, например, тот же индикатор воды и пропускание тока через топливо, как в устройстве на рис. 11. Пусть под действием тока не только обнаруживается вода, но и растворяется индикатор. Тем самым устраняется недостаток - засорение топливного бака индикатором. Из полезных свойств альтернативных систем можно указать следующие: одна система, например, индикатор, определяет наличие воды быстро и просто, но не точно. Другая же система определяет более точно количество воды, но менее надежна.

## **9. Закон перехода ТС на микроуровень. Использование полей**

Переход на микроуровень - это основной путь свертывания ТС, вообще развитие техники в целом идет в направлении все большего использования глубинных уровней строения материи.

Можно выделить ряд уровней строения систем, отличающихся размерами типовых элементов, видами связи между ними, применяемыми эффектами и явлениями:

1) макроуровень - системы из элементов специальной геометрической формы (стержень, шестеренка, катушка, магнит, рычаг и т.п.);

2) полисистемы из элементов простой геометрической формы (конструкции из нитей, шариков, листов металла и т.п.);

3) полисистемы из высокодисперсных элементов (порошки, эмульсии, аэрозоли, суспензии);

4) системы на надмолекулярном уровне, использующие физические эффекты, связанные со структурой веществ - кристаллические перестройки, фазовые переходы;

5) системы на молекулярном уровне, использующие различные химические превращения;

6) системы на атомном уровне, использующие физические эффекты, связанные с изменением атомарных состояний (ионные, электронные, радиоактивные и прочие явления);

7) системы с использованием вместо веществ физических полей - тепла, света, радиоволн и т.п.

Понятие "поля" в ТРИЗ имеет несколько иное значение, чем в физике. Под ним понимается любое взаимодействие между объектами. Анализ патентного фонда позволил выявить ряд наиболее эффективных в технике полей, а также определенную последовательность их применения по мере развития ТС:

1. Механические поля - перемещение объектов, гравитационные, центробежные силы, давление, механическое напряжение, трение, акустика и т.д.

2. Тепловые поля - нагрев, охлаждение.

3. Химические поля - синтез и разрушение молекул, использование особо активных и инертных веществ, запах, вкусовые ощущения.

4. Электрическое поле: электростатика, электрический ток.

5. Магнитное поле.

Для удобства запоминания линии развития полей часто пользуются аббревиатурой М(а)ТХЭМ - механическое (акустическое), тепловое, химическое, электрическое и магнитное поля.

С точки зрения закона перехода на микроуровень устройство для определения примесей в топливе (рис 10) находится на самом первом уровне - на макроуровне, поскольку содержит элементы специальной геометрической и другой форм, отличающиеся друг от друга. Стержень 2, прокладка 5, насадок 3, мембрана 4, катушка 8, геркон 9, индикатор П и т. д. имеют специальную форму (не только геометрическую) и все отличаются друг от друга. Возможности перехода на микроуровень этой структуры пока не ясны. Поэтому для получения новых решений можно взять отдельные подсистемы, например, мембрану 4. Почему взять механический элемент? Потому что в связи с линией развития полей М(а)ТХЭМ ему есть куда развиваться.

Мембрана 4 представляет собой твердое упругое плоское тело - монолит, по форме - металлический лист. Мембрану, в принципе, можно отнести к 1-2 уровням. Для перехода на третий уровень в соответствии с законом надо перейти к порошкам и одновременно использовать поля. Представим себе мембрану из порошка. Очевидно, порошок должен каким-то образом держаться в пространстве и удерживать и направлять движение стержня 2. Необходимо использовать одно из полей. Наиболее пригодно магнитное поле как наиболее развитое и способное удерживать ферропорошок в пространстве. Кроме того, в системе уже используются магнитные поля катушки 8,двигающие стержень 2. Желательно использовать уже имеющиеся вещественно-полевые ресурсы системы. Тогда на катушку 8 возложим функции движения стержня 2 и поддержания его в определенном положении вместо мембраны 4. Мембрану можно выкинуть вместе с прокладкой 5. Естественно, катушка 8 должна быть соответствующим образом изменена, чтобы создать необходимое распределение магнитного поля в пространстве и во времени. Расчет катушки - это уже не изобретательская задача, а конструкторская.

Далее можно выкинуть и геркон 9, поскольку металлический стержень 2 сам может быть подвижным контактом, вместе того, чтобы своим магнитным полем действовать на подвижный контакт геркона.

Таким образом, использование закона перехода на микроуровень и полей тесно связано и приводят к повышению степени идеальности, т.к. из системы выпадает ряд элементов. Кроме того, использование вещественно-полевых ресурсов приводит к свертыванию система, т.е. действуют одновременно несколько законов развития технических систем.

## 10. Статическая модель технического противоречия

Для получения статической модели технического противоречия необходимо решить изобретательскую задачу по АРИЗу и получить диалектико-логическую модель задачи. Рассмотрим пример построения статической модели для задачи о транспортировке шариков в трубе. Техническая система для транспортировки шариков состоит из трубы с коленом, изогнутым на  $90^\circ$ , и шариков, подаваемых под давлением. Транспортировка заключается в повороте шариков на  $90$  градусов. Недостатком является износ трубы в месте поворота. Он существенно больше, чем в остальных частях трубы. Инструментом является труба с коленом, а изделием являются шарики. Состояние инструмента задаем радиусом изгиба колена.

Сформулируем техническое противоречие следующим образом.

Техническое противоречие следующее. ТП-1: если радиус изгиба трубы в колене большой, то труба слабо тормозит шарики, но плохо поворачивает их; ТП-2: если радиус изгиба трубы в колене маленький, то труба хорошо поворачивает шарики, но сильно тормозит их.

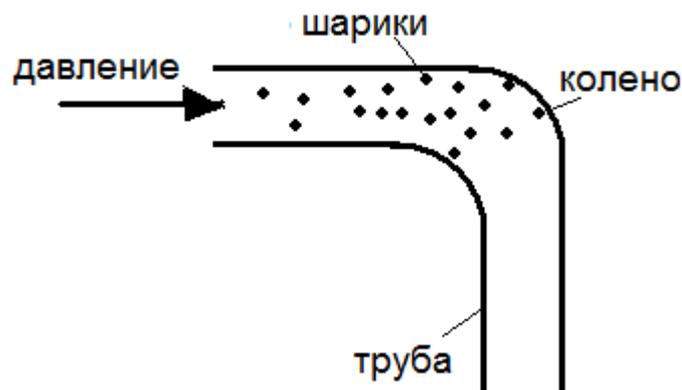


Рисунок 11. Транспортировка шариков в трубе с коленом

Для моделирования из таблицы канонических катастроф выбираем катастрофу типа «сборка», так как в модели имеется два состояния устойчивого равновесия ТП-1 и ТП-2.

Этой катастрофе соответствует потенциальная функция:

$$E(x) = 0.25 \cdot x^4 - 0.5\lambda \cdot x^2 - \mu \cdot x$$

За координату  $x$  выбираем состояние инструмента. Применительно к нашей задаче потенциальная функция  $E(x)$  характеризует качество работы

системы. Выбираем за эту величину скорость истирания трубы ( $мм/год$ ). Допустим, у прототипа эта величина равна  $c=const=15 мм/год$ .

Выберем исходный радиус трубы равным 10 см. Запишем потенциальную функцию для нашей задачи с учетом того, что любая потенциальная функция определяется с точностью до константы  $c$

$$E(x) = [0.25 \cdot (x - 10)^4 - 0.5\lambda \cdot (x - 10)^2 - \mu \cdot (x - 10)]d + c$$

где  $d$  – коэффициент пропорциональности, выравнивающий размерности между  $x$  и  $E(x)$ . Действительно, размерность  $[x]=см$ , а размерность  $[E(x)]=мм/год$ . Отсюда размерность  $[d]=\frac{мм/год}{см^4}$ .

Тогда при  $x=10 см$  получаем для прототипа  $E(x)=c=15 мм/год$ .

Пусть  $R_m=8.5 см$  – малый радиус,  $R_o=11.5 см$  – большой радиус изгиба трубы. Тогда можно рассчитать мощность конфликта:  $R_o - R_m = 2\sqrt{\lambda} = 3 см$  и  $\lambda=2.25 см^2$ .

Для усиления конфликта выбираем очень малый радиус и очень большой радиус изгиба трубы. Пусть  $R_{mm}=7.5 см$  – очень малый радиус,  $R_{oo}=12.5 см$  – очень большой радиус. Рассчитываем мощность  $R_{oo} - R_{mm} = 2\sqrt{\lambda} = 5 см$ , и  $\lambda=6.25 см^2$ . Предположим, что для этой мощности конфликта находим решение задачи, т.е. X-элемент. Найдем критическое значение параметра  $\mu$ , задающего величину X-элемента по формуле:

$$\mu_{кр} = \pm \frac{2\lambda}{3} \sqrt{\frac{\lambda}{3}} = \pm \frac{2 \cdot 6.25}{3} \sqrt{\frac{6.25}{3}} = \pm 6.014 см^3.$$

Допустим, что при решении задачи по АРИЗу выбирается состояние с очень малым радиусом. Тогда знак параметра будет отрицательным, т.е.  $\mu = - 6.014 см^3$ . Также будем считать, что в результате решения задачи скорость износа уменьшилась до  $E(x)=2.6 мм/год$ .

Подставляем принятые значения в формулу для потенциальной функции, и находим коэффициент  $d$

$$2.6 = [0.25 \cdot (7.5 - 10)^4 - 0.5 \cdot 6.25 \cdot (7.5 - 10)^2 + 6.014 \cdot (7.5 - 10)]d + 15$$

$$\text{Откуда } d = 0,5 \frac{мм/год}{см^4}.$$

Теперь можно построить графики потенциальной функции для всех трех случаев набора управляющих параметров (рис. 12). Как уже указано, применительно к этой задаче, это будут графики изменения скорости износа трубы. Окончательное решение задачи моделирует график с  $\lambda=6.25$

$см^2$  и  $\mu = -6.014 см^3$ . Из этого графика видно, что таком выборе управляющих параметров  $\lambda$  и  $\mu$ , а также масштабирующего коэффициента  $d$ , получаем скорость износа  $2.6 мм/год$ . Однако это не является минимальным значением, как следует из графика. Видно, что при выборе радиуса изгиба  $7.125 см$  получаем минимальный износ  $1.9802 мм/год$ .

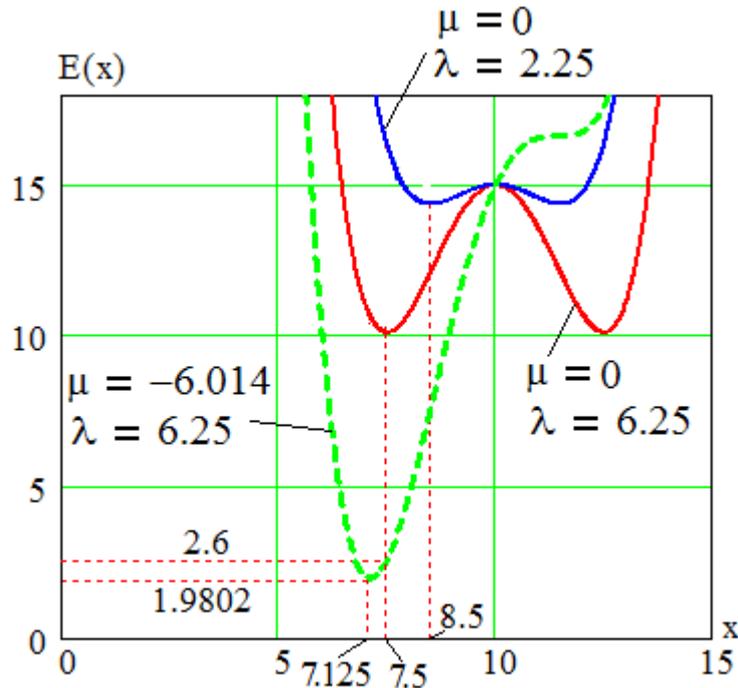


Рисунок 12. Графики нежелательного эффекта

## 11. Одномерная динамическая модель технического противоречия

Для выполнения работы, динамическую модель получаем исходя из статической модели. Найдем градиент потенциальной функции катастрофы типа «сборки».

$$\frac{dE}{dx} = \frac{d(0,25x^4 - 0,5\lambda x^2 - \mu x)}{dx} = x^3 - \lambda x - \mu$$

$$CT \frac{dx}{dt} = -gradE(x, \lambda, \mu)$$

где  $\frac{dx}{dt}$  - скорость изменения координаты  $x$  во времени,

$gradE(x, \lambda, \mu)$  - градиент или скорость изменения потенциальной функции по координате  $x$ ,

$CT$  - коэффициент пропорциональности, равный произведению двух коэффициентов  $C$  и  $T$ . Отсюда имеем динамическую модель в виде нелинейного дифференциального уравнения первого порядка для координаты  $x$

$$CT\dot{x} = -x^3 + \lambda x + \mu - \text{одномерная динамическая модель ТП.}$$

Для нашего примера статической модели запишем потенциальную функцию в общем виде

$$E(x) = [0.25(x-10)^4 - 0.5\lambda(x-10)^2 - \mu(x-10)]d + c$$

Возьмем от нее производную по  $z$ , где для простоты моделирования принято  $z = x-10$ . Получим градиент

$$\frac{\partial E}{\partial z} = (z^3 - \lambda z - \mu)d.$$

Приравняем антиградиент производной  $dz/dt$  с коэффициентом пропорциональности  $CT$

$$-\frac{\partial E}{\partial z} = -(z^3 - \lambda z - \mu)d = CT \frac{dz}{dt} = CT \dot{z},$$

здесь  $T$  рассматривается как постоянная времени психологической инерции решателя задачи. Если она неизвестна, принимается  $T=1$ . Тогда текущее время решения задачи  $t$  будет в некоторых относительных единицах времени. Когда будет выяснено конкретное значение постоянной времени решателя  $T$ , тогда все абсциссы графика  $x=(t)$  необходимо умножить на постоянную времени  $T$ . Постоянная времени психологической инерции может быть определена в ходе тестирования решателя задачи. Однако эта проблема пока не решена.

Коэффициент  $C$  выбирается равным  $d$  и сокращается в левой и правой части.

Получается стандартное уравнение  $\dot{z} = -z^3 + \lambda z + \mu$ , где значения  $\lambda$  и  $\mu$  выбираем равными значениям, полученным в статической модели.

На рис.13 представлена простейшая схема динамической модели программном средстве «Simulink».

Нелинейная часть модели представлена блоком  $z^3 - z$ , линейная часть, отражающая динамические свойства (инерционность мышления), представлена апериодическим звеном первого порядка. Управляющими параметрами являются коэффициент передачи  $K$  и входной сигнал  $f$ .

Динамическая система является моделью мышления. Находясь в некотором начальном состоянии по координате  $z$ , при определенном

значении управляющих параметров  $K$  и  $f$ , она приходит в одно из двух устойчивых состояний равновесия. Каждое из состояний равновесия имитирует одно из двух технических противоречий, которое разрешается путем введения X-элемента. Координата  $z$  имитирует изменение состояний инструмента в ходе решения изобретательской задачи в сознании изобретателя. Для рассмотренного примера это изменение радиуса изгиба. Параметры  $K$  и  $f$  динамической модели должны быть определены по полученным значениям  $\lambda$  и  $\mu$ .

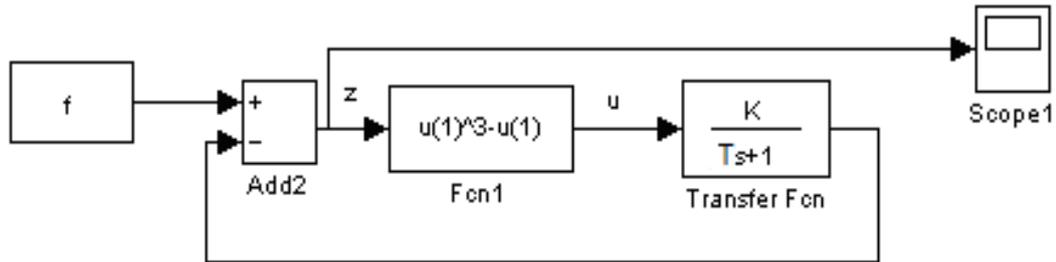


Рисунок 13. Схема динамической модели

Приравняв оператор дифференцирования нулю ( $s=0$ ), получаем схему для состояния равновесия (рис.14).

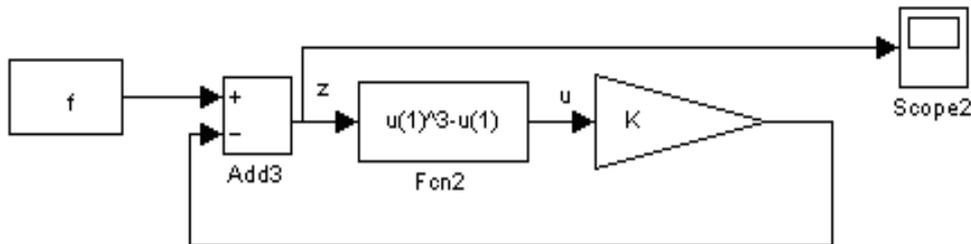


Рисунок 14. Схема моделирования состояния равновесия

Запишем уравнения для состояния равновесия:

$$u = z_s^3 - z_s, \quad z_s = f - Ku \quad .$$

Подставляя значение  $u$  из первого уравнения во второе, получаем:

$$-z_s^3 + \frac{K-1}{K}z_s + \frac{f}{K} = 0.$$

Сравнивая полученное уравнение с уравнением «сборки», замечаем, что

$$\lambda = \frac{K-1}{K}, \quad \mu = \frac{f}{K}.$$

Строим кривую катастроф  $\mu = \pm \sqrt{\frac{4\lambda^3}{27}}$  или

$f = \pm \frac{2\sqrt{3}}{9} (K - 1) \sqrt{\frac{K - 1}{K}}$  (рис.15). Кривая катастроф представляет

собой «остриё», однако особая точка по координате  $K$  сдвинута на 1 относительно начала координат. Выбирая любую точку внутри «острия», например точку  $A$  с координатами  $[f^*, K^*]$ , получаем три состояния равновесия в системе: два устойчивых и одно неустойчивое. Эта ситуация моделирует процесс решения изобретательской задачи, когда значение  $\mu$  меньше критического, т.е. одно решение еще не найдено. Есть два устойчивых состояния равновесия, имитирующие ТП-1 и ТП-2. Эта область внутри «острия». Она определяется уравнением

$$|f| < \frac{2\sqrt{3}}{9} (K - 1) \sqrt{\frac{K - 1}{K}}.$$

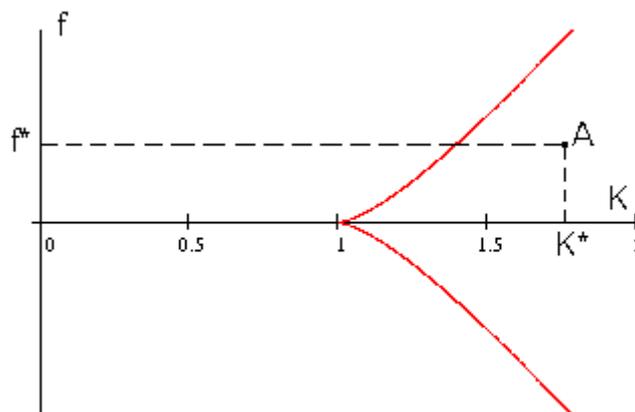


Рисунок 15. Кривая катастроф

Рассчитаем значения  $K$  и  $f$ . В нашем примере  $\lambda=6.25$ ,

тогда  $K=1/(1-\lambda)=-0,1905$ . Найдем  $f=\mu K=-6.014 \cdot (-0,1905)=1.1455$ .

Вне острия система имеет одно, устойчивое состояние равновесия. Эта ситуация отражает уже решенную задачу.

Для удобства получения дифференциального уравнения, описывающего схему моделирования в форме Коши, аperiodическое звено в схеме на рис. 13 представим в виде эквивалентной схемы: интегратора, охваченного обратной связью (рис.16). Здесь предполагается, что постоянная времени психологической инерции изобретателя выбрана единичной  $T=1$  с.

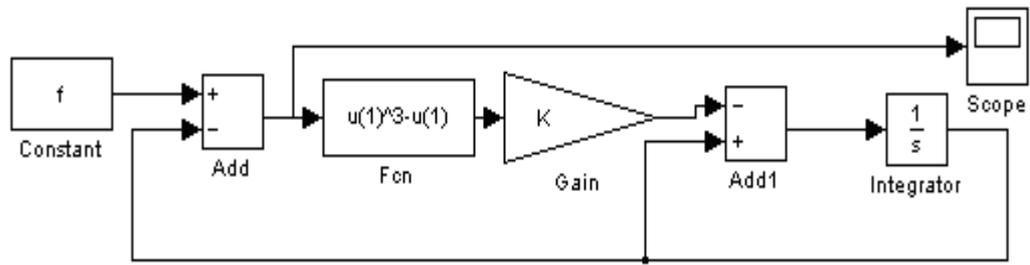


Рисунок 16. Схема моделирования в нормальной форме Коши

В принципе, на интеграторе можно установить любые начальные условия от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Однако при моделировании изобретательской задачи предполагаем, что процесс устойчивый, и решение сходится к одному из двух состояний равновесия. Это для случая моделирования ТП-1 и ТП-2. Для моделирования уже найденного решения модель должна иметь одно устойчивое состояние равновесия. Это достигается выбором  $\mu$  больше критического.

Для моделирования при двух устойчивых состояниях равновесия необходимо найти область начальных условий на координату  $z$ , которые и устанавливаются на интегратор в схеме на рис. 16. В учебном пособии эта область определяется из уравнения  $(1 - 3z^2 - 3f^2 + 6fz)K - 1 < 0$ . Как видно, состояние равновесия зависит от входного сигнала  $f$  и коэффициента передачи  $K$ . Коэффициент  $K$  зависит только от  $\lambda$ , но значение  $\mu$  должно быть по модулю меньше критического. Критическое значение для рассмотренного примера равно  $\mu_{кр} = -6.014$ . Выберем значение  $\mu$ , равное половине от критического значения, т.е.  $\mu = -3.007$ . Тогда новое значение  $f = \mu K = -3.007 \cdot (-0,1905) = 0.5728$ .

Теперь можно найти границы области устойчивости. Подставим выбранные значения в формулу для определения устойчивости, приравняв правую часть нулю:

$$(1 - 3z^2 - 3 \cdot 0.5728^2 + 6 \cdot 0.5728z)(-0.1905) - 1 = 0$$

Находим корни, задающие границы устойчивости

$$z_1 = 2.0161$$

$$z_2 = -0.8705$$

Наносим границы на фазовом портрете системы (рис.17), который строится по уравнению

$$\dot{z} = z - K[(f-z)^3 - (f-z)] = z + 0.1905[(0.5728-z)^3 - (0.5728-z)].$$

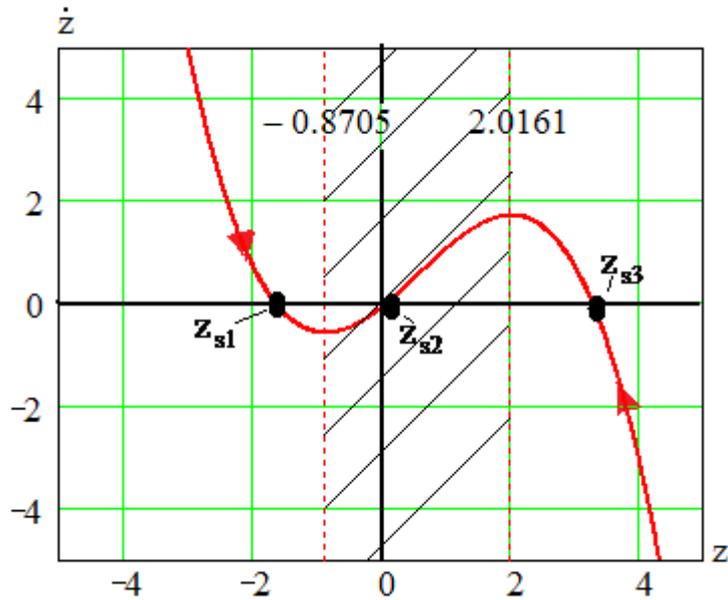


Рисунок 17. Фазовый портрет системы

Приравнивая нулю производную, получаем уравнение для установившегося режима:

$$0 = -z_s - 0.1905[(0.5728 - z_s)^3 - (0.5728 - z_s)]$$

Находим его корни:

$$z_{s1} = -1.8384$$

$$z_{s2} = 0.07154$$

$$z_{s3} = 3.28534$$

Первый корень и третий корни принадлежат к области устойчивости, т.е. являются точками устойчивого равновесия, а второй корень принадлежит к области неустойчивости, т.е. является точкой неустойчивого равновесия. Это видно из фазового портрета системы, где область неустойчивости определяется корнями  $z_1, z_2$  и заштрихована.

Подставляя найденные значения в схему моделирования, получаем модель в виде, представленном на рис. 18. Удобнее всего моделировать процесс сразу же с двух разных начальных условий. Для этого набирается два абсолютно одинаковых канала, но с разными начальными условиями на интеграторы.

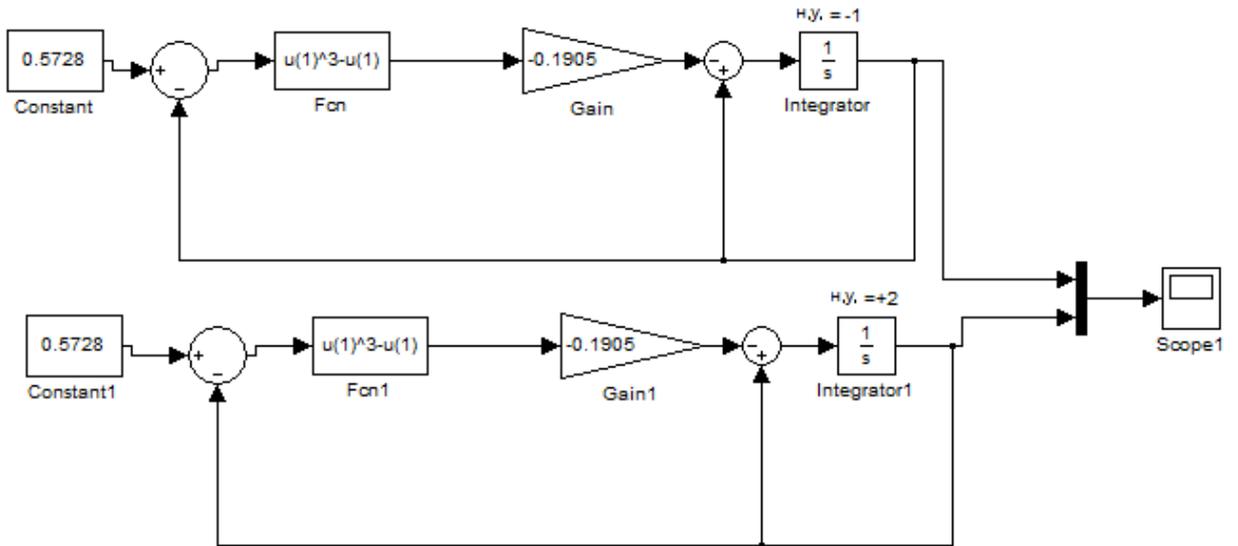


Рисунок 18. Схема моделирования с численными значениями параметров

Выбираем начальные условия на интегратор из области притяжения одного из устойчивых корней, например,  $z(0)=-1$  и из области притяжения другого корня, например,  $z(0)=2$  и получаем переходный процесс (рис. 19).

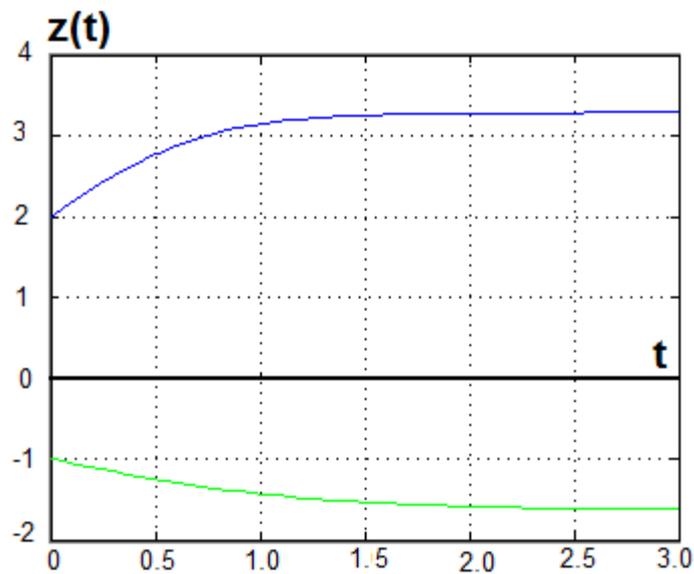


Рисунок 19. Результаты моделирования

## 12. Список литературы

1. А.Б. Бушуев, Ю.В. Литвинов. Математическое моделирование процессов технического творчества. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 181с.
2. А.Б. Бушуев. Применение методов технического творчества в инновационной деятельности: Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 124 с.
3. А.Б. Бушуев. Информационная оценка уровня развития техники. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. –76 с .1 глава
4. Г.С. Альтшуллер, Б.Л.Злотин, А.В.Зусман, В.И.Филатов. Поиск новых идей. От озарения к технологии. – Кишинев: Картя Молдовеняске, 1989. – 381 С.
5. Шанс на приключение. / Сост. А.Б.Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия, 1991. – 304 С.
6. Бушуев А.Б.Математическое моделирование конфликтов в техническом творчестве. Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 19. Программирование, управление и информационные технологии. / Гл. ред. В.Н.Васильев – СПб: СПбГУИТМО, 2005, с.26-32.

Кафедра Систем управления и Информатики основана в 1945 году. 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 3 профессоров и 12 доцентов.