

*Работа представлена как квалификационная для соискания звания «Мастер ТРИЗ». Защита будет проводиться 27 июля 2008 года в Санкт Петербурге.
Редактор*

Александр Г. Кашкаров
Диссертация на соискание звания «Мастер ТРИЗ»

Тема:
**Вещественно-энергетические преобразования в
технической системе.
Методика построения и анализа моделей.**

Научный руководитель:
Мастер ТРИЗ Ю.И.Федосов

Июль 2008
Санкт-Петербург

Оглавление

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
2. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	9
3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	12
4. ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ ПОДХОДОВ ПО ДАННОЙ ПРОБЛЕМЕ.	12
4.1. Функционально-стоимостной Анализ	13
Моделирование	13
Методика анализа	14
Достоинства метода.....	14
Недостатки метода.....	14
4.2. ПОТОКОВЫЙ АНАЛИЗ.....	14
Моделирование потоков вещества, энергии и информации.....	15
Методика анализа	15
Достоинства метода	15
Недостатки метода	16
4.3. ВЕПОЛЬНЫЙ АНАЛИЗ.....	16
Моделирование веполей.....	16
Метод анализа веполей.....	16
Достоинства метода	16
Недостатки метода.....	17
4.4. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ	17
Моделирование диаграммы Исикавы	18
Моделирование причинно-следственных цепочек недостатков.....	18
Методика анализа	19
Достоинства метода.....	19
Недостатки метода	19
4.5. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ	20
5. РАЗВЕРНУТАЯ ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ.....	20

6. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ.....	22
6.1. ВЕКТОР РАЗВИТИЯ МЕТОДИК	22
6.2. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ИДЕИ И ГИПОТЕЗЫ	22
6.3. ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ ПРОИСХОДЯЩИХ В ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРОЦЕССОВ.....	23
6.3.1. Предпосылки	23
6.3.2. Уточнение понятия Техническая Система.....	24
6.3.3. Постулаты	25
6.4. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.	27
Основы моделирования	27
6.5. МЕТОДИКИ И ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ	28
6.5.1. Компонентная и Структурная модели ТС	29
6.5.2. Статическая модель ТС	31
6.5.3. Функциональная модель	31
6.5.4. Динамическая модель - Модель вещественно-энергетических преобразований	32
6.5.5. Динамическая модель ТС - модель взаимосвязи процессов и причинно-следственной структуры	35
6.5.6. Модель принципов действия ТС	36
6.6. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ	36
6.6.1. Анализ общей структуры целевых недостатков	37
6.6.2. Методика анализа потоков и оценка эффективности принципа действия технической системы	37
6.6.3. Методика диагностического анализа недостатков и построения их причинно-следственных цепочек.....	39
6.7. ВЫЯВЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ НЕДОСТАТКОВ И ФОРМИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ЗАДАЧ	41
6.8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ПРОТИВОРЕЧИЙ.....	41
7. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.	41
7.1. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ.....	42
7.2. АЛГОРИТМ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ	44
8. ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ.	46
9. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.	46

10. ЛИЧНЫЙ ВКЛАД СОИСКАТЕЛЯ	47
11. НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ	47
12. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ.	48
СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.	49
ПРИЛОЖЕНИЕ. ДЕМОНСТРАЦИЯ ШАГОВ АЛГОРИТМА НА КОНКРЕТНОМ ПРИМЕРЕ.....	51
.....	52

ВВЕДЕНИЕ.

Исследование относится к области технического творчества - Теории Решения Изобретательских Задач¹ (ТРИЗ) [1-4] и направлено на развитие ТРИЗ как научной теории, включая развитие методических основ, инструментов анализа проблем и синтеза решений изобретательских задач для практического применения.

В понятии творчества заложено отрицание традиционных подходов к любому виду деятельности, однако применение проверенных методик для достижения поставленных целей в техническом творчестве – выявление и решение изобретательских задач позволяет экономить время и достигать нетривиальных результатов. Любое новаторство, даже в методологии творчества, это результат несогласия и конфликтов, который в свою очередь может вызвать несогласие коллег. Один из важнейших этапов технического творчества при анализе изобретательской ситуации² в технической системе³ (ТС) это поиск и выявление "правильных" [5] постановок задач, решение которых приведет к устранению насущных проблем. Правильно поставленная задача это почти решение.

По своей сути ТРИЗ для устранения недостатков в технических системах это методичный итерационный процесс, включающий в себя шаги формулирования целевых недостатков (исходных проблем), моделирования ситуации, анализа моделей, выявление недостатков, формулирование задач, уточнение их причин, углубление анализа (исследования подсистем⁴ и выхода в надсистемы⁵), расширения или сужения области анализа, переформулирования задач. Этот процесс длится до тех пор, пока решение не станет очевидным.

Любое техническое творчество, в частности, ТРИЗ опирается на работу с умозрительными или визуализированными моделями⁶. При анализе хорошей

¹ Теория Решения Изобретательских Задач (ТРИЗ)- научная теория синтеза и развития технических систем, учение о совершенствовании техники на основе общих законов развития и характерных закономерностей. Основана Г.С.Альтшуллером

² Изобретательская ситуация - описание функционирования технической системы, включающее, по крайней мере, один недостаток.

³ Техническая система - ТС - совокупность упорядоченно взаимодействующих элементов, обладающая свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных элементов, и предназначенная для выполнения определенных полезных функций. [9]

⁴ Подсистема - система материальных объектов, являющаяся функционально законченной частью ТС

⁵ Надсистема - техническая система, включающая в себя рассматриваемую техническую систему в качестве элемента.

⁶ Модель - любой образ (мысленный или условный), аналог (изображение, описание, схема, чертеж, график, план, карта и т. п.) какого-либо объекта, процесса или явления ("оригинала" данной модели), используемый в качестве его "заместителя", "представителя"

модели технической системы можно ожидать выявления действительно насущных проблем ее функционирования для их решения. Чем больше модель приближена к физической картине процессов, происходящих в технической системе, тем глубже понимание проблем и анализ, тем ближе можно подойти к постановке "правильной" задачи [5] или спектра задач, тем быстрее может быть получен желаемый результат – технические и физические противоречия, которые, по своей сути, являются гипотетическими моделями решенной задачи.

Именно алгоритмизированным⁷ построению релевантных моделей технической системы, их анализу и постановке задач посвящено исследование автора. По мнению автора, представляемая разработка является одним из недостающих звеньев методологии ТРИЗ, позволяющим алгоритмизировано подойти к описанию изобретательской ситуации и формулированию противоречия для эффективного использования АРИЗ.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка выполнена на основе многолетнего опыта использования инструментов ФСА-ТРИЗ в ООО «Алгоритм» при выполнении консультационных проектов, направленных на совершенствование конструкций и технологий с целями снижения стоимости, повышения эффективности и устранения недостатков, создания объектов интеллектуальной собственности, диверсионного анализа и прогноза развития.

Настоящая работа представляет собой теоретическое исследование, направленное на углубление обоснований и развитие основ ТРИЗ, на базе которого предложено комплексное развитие практических методик моделирования и анализа технических систем, воплощенное в детализированный алгоритм.

В работе проанализирован ряд методических инструментов ФСА-ТРИЗ, выявлены их достоинства и недостатки, определены "белые пятна" методологии анализа технических систем, разработаны новые инструменты моделирования и анализа (в частности, вещественно-энергетических преобразований, принципа действия, причинно-следственной структуры). В настоящем исследовании автор приводит обоснование правомерности и корректности предлагаемого подхода к построению релевантных моделей технической системы (конструкций, устройств и технологий), анализа происходящих в ней процессов⁸ и выявления недостатков.

В результате работы предлагается интегральная алгоритмизированная методика моделирования и анализа технической системы, обладающая, по мнению автора, достоинствами существующих подходов к моделированию и анализу при устранении присущих им недостатков. Инновационной

⁷ Алгоритм – совокупность действий, предпринимаемых по строго определённым правилам, которая после последовательного их выполнения приводит к решению поставленной задачи.

⁸ Процесс - последовательная смена явлений, состояний в развитии чего-нибудь

особенностью этой методики являются моделирование и анализ любого объекта как преобразователя полей⁹ и сил, потоков энергии и вещества¹⁰. Такое представление каждого объекта явилось, по мнению автора связующим звеном существующих методических инструментов и позволило провести анализ вещественно-энергетических преобразований в технической системе, отображающих процессы, происходящие в ней, причинно-следственные связи и принцип действия. Автор считает, что предлагаемая методика обеспечивает последовательную логику и жесткую связь функционального, потокового, вещественно-энергетических преобразований, диагностического и причинно-следственного моделирования и анализа.

Предлагаемый метод моделирования и анализа технической системы, по мнению автора, использует, развивает и объединяет основные аналитические инструменты ТРИЗ, в частности, функциональный анализ, потоковый анализ, причинно-следственный анализ, в единую систему и позволяет вплотную подойти к нетривиальному решению изобретательской задачи.

Использование предлагаемого подхода было с успехом апробировано автором при анализе и решении множества технических задач консультационных проектов в ООО «Алгоритм», например, для совершенствования таких систем как топливные элементы, системы связи по линиям электропередач, перфоратор, полимерный выключатель, и т.д. По мере накопления опыта автором уточнялись нюансы моделирования и анализа, в результате чего сформировались конкретные рекомендации по отображению, порядку проведения моделирования и анализа.

По представляемой в настоящей работе Интегральной алгоритмизированной методике, были пошагово разобраны 3 примера, которые могут считаться учебными, и выявлены нетривиальные задачи. Один из иллюстрирующих примеров фрагментарно приведен в Приложении диссертационной работы.

2. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одной из важнейших задач ТРИЗ является ее развитие и признание ТРИЗ наукой¹¹. Для достижения этой цели необходимо, по мнению автора, чтобы:

- вся теория должна была стройна и обоснована, а ее методические инструменты должны составлять единое целое, обеспечивая сквозной проход от анализа исходной ситуации до синтеза образов решений выявленных проблем, без логических пропусков,

⁹ Поле - пространство, в пределах которого проявляется действие каких-нибудь, энергий и сил или распределение каких-либо параметров

¹⁰ Вещество - материя, состоящая из атомов химических элементов

¹¹ Наука - сфера человеческой деятельности, функция которой - выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности; одна из форм общественного сознания; включает как деятельность по получению нового знания, так и ее результат - сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира.

- все формулировки понятий и термины должны подразумевать однозначность трактовки и не противоречить общепринятым,
- все модели должны быть наглядными и способны интерпретироваться математическим аппаратом,
- исследования технической системы и действия по методикам должны обеспечивать корректность и повторяемость результатов вплоть до постановки конечной задачи.

Поиск задачи, которую в действительности надо решать для совершенствования технической системы в соответствии с исходной проблемой, занимает (по наблюдениям автора за работой коллег) основную часть времени. Однако, даже при использовании существующих методик ФСА, потокового анализа и причинно-следственного анализа, "правильная" задача не всегда может быть найдена.

Использование тех или иных подходов и методик зависит от типа совершенствуемого объекта, от ограничений и постановки исходной задачи, от уровня подготовленности и от технологии анализа задачи. Эффективность использования тех или иных методик для постановки задач и совершенствования объектов зависит от уровня доверия к методике и понимания ее существа, от склада ума, особенностей мышления, творческого потенциала и кругозора человека. В частности, разноплановость и качество результатов, а также время, затраченное на их получение, будут существенно зависеть от качества анализируемой модели. К настоящему времени известен ряд подходов и методик по анализу и совершенствованию ТС на основе моделей, в частности, функциональный анализ, причинно-следственный анализ, потоковый анализ, вепольный анализ, АРИЗ и т.д., однако, по мнению автора, они являются слабо коррелированными.

Существующие методики (функциональный анализ, причинно-следственный анализ, потоковый анализ, вепольный анализ), хорошо иллюстрирующие простые учебные примеры, в реальных изобретательских ситуациях иногда оказываются недостаточно эффективными. Рекомендуемые при этом модели технической системы носят фрагментарный или поверхностный характер, что влечет за собой затруднение восприятия общей картины функционирования и недостаточную глубину анализа.

Стимулом для проведения автором исследований послужили дискомфорт от недостаточных строгости и взаимосвязи Функционально-Стоимостного Анализа (ФСА) [6,7], потокового анализа [8, 9,10], причинно-следственного анализа [11, 12,13] и других инструментов ТРИЗ.

Другой отправной точкой для автора явился тот факт, что понятие "принцип действия" технической системы в ТРИЗ незаслуженно занимает ничтожное место, методических работ в этом направлении мало [8], хотя термин все время на слуху. В то же время в технике, например, в электротехнике и электронике, используются модели - принципиальные схемы сложных устройств, чтение которых позволяет не только уяснить принципы действия, но и определить возможные причины возникших неисправностей. Используя аналогии построения принципиальных электрических схем, можно

сформировать динамическую модель¹² любой технической системы и по ней проводить анализ, в том числе потоковый и принципа действия. Исследования в этом направлении автор видит ресурсом развития методологии ТРИЗ и шагом на пути признания ТРИЗ наукой.

По мнению автора, методология ТРИЗ может быть проанализирована как техническая система (в качестве технологии) на основе Законов Развития Технических Систем [1, 14], в частности, принципы моделирования и модели могут быть рассмотрены как конструкции, а аналитические процедуры - как технологические процессы. Согласно Законам "статики" [1], для выполнения условий принципиальной жизнеспособности методологии (по аналогии с ТС), аналитические инструменты ТРИЗ должны охватывать весь спектр алгоритмизированных процедур (без "белых пятен" и перебора вариантов) от исходной задачи до, как минимум, формулирования противоречий, при этом быть однозначно логически взаимосвязанными. Согласно Закону Повышения Идеальности развитие методологии должно идти в направлении выявления большего количества глубинных проблем (противоречий) с малыми затратами на их решение и за меньший промежуток времени. Создание обоснованной (с точки зрения физики и логики) методики, отвечающей вышеназванным требованиям, по мнению автора, должно явиться шагом в признании ТРИЗ наукой. Именно этим аспектам развития методологии и посвящена настоящая работа.

¹² Динамическая модель ТС - модель процессов и явлений, происходящих в ТС

3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы являлся синтез обоснованной алгоритмизированной методики построения моделей технической системы, отображающих физические процессы, причинно-следственные связи и принцип действия, а также методики анализа этих моделей и выявление задач. Эти методики должны не только гармонично объединять существующие подходы при устранении их недостатков, но и обеспечивать логическую преемственность инноваций. Методики должны обеспечивать последовательную логику и жесткую связь моделирования и анализа процессов, происходящих в технической системе с функциональным, потоковым, диагностическим и причинно-следственным моделированием и анализом. Для достижения поставленной цели в рамках настоящей работы решались следующие задачи:

- комплексное изучение используемых в ТРИЗ методов моделирования и анализа технических систем;
- выявление недостатков и пробелов, присущих этим методам;
- поиск путей устранения выявленных недостатков для существующих методик анализа технических систем;
- разработка и обоснование обобщенного подхода к моделированию и анализу технической системы на моделях;
- разработка методики построения моделей, обеспечивающих демонстрацию процессов, происходящих в технической системе, и причинно-следственных связей в ней;
- создание новых аналитических и решательных инструментов;
- создание комплексной алгоритмизированной методики моделирования и анализа технической системы, обеспечивающей глубокий анализ и повторяемость результатов.

4. ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ ПОДХОДОВ ПО ДАННОЙ ПРОБЛЕМЕ.

Для выявления проблем технической системы в консалтинговых фирмах, в частности, в Gen3Partners и в ООО "Алгоритм", в стратегии ведения проектов применяются разные методические инструменты [5]. Методы моделирования и анализа технической системы, принятые в кругах ТРИЗ, по мнению автора, существенно помогают в постановке и решении изобретательских задач, однако не являются совершенными. Для создания методики, отвечающей целям настоящей работы, в первую очередь необходимо оценить достоинства и недостатки существующих подходов, как минимум, ФСА, потоковые и причинно-следственные моделирование и анализ.

4.1. ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ

Цель Функционально-стоимостного анализа - выявление недостатков компонентов ТС при их взаимодействии, а также определение порядка и направлений совершенствования компонентов на основе их ранжирования по функциональной, проблемной и затратной значимости [6,7].

Моделирование

В Функционально-Стоимостном Анализе (ФСА) технических систем (конструкций или технологических процессов) строятся модели, в основу которых положены такие понятия, как компоненты (объект и субъект), связь, "функция", параметр и затраты (стоимость). Здесь понятие "функция" определяется как действие¹³ одного компонента-объекта на другой, направленное на изменение или поддержание значения его конкретного параметра (смотри фигуру.2.).



Фигура 1. Функциональная модель - форма представления в ФСА

Техническая система разбивается на компоненты, имеющие между собой связи (компонентная и структурная модели). Каждой связи в соответствие ставятся "функции".

Модели представляются в графическом и табличном виде. В первом случае компоненты изображаются в виде пиктограмм (прямоугольников с названием, отражающим его конструктивную особенность или основное назначение) со связями, которые маркируются функциями - перечнем явлений отражающих его свойства при внешних воздействиях. При построении модели в табличном виде для каждой связи компонентов в столбцы вписываются компонент-субъект, действие (функция), компонент-объект, параметр, уровень выполнения, ранг (значимость) и тип функции, а также затраты (смотри Таблицу 1.).

Таблица 1. Функциональная модель

Компонент-субъект	Действие (функция)	Компонент-объект	Параметр	Ранг	Уровень выполнения или тип функции	Затраты

Методика анализа

Анализ такой модели позволяет выделить "вредные" действия, определить наиболее проблемные и затратные компоненты. Результатами ФСА являются перечень выявленных недостатков и предварительные постановки задач на

¹³ Действие - проявление какой-либо энергии, а также сама сила.

повышение уровня выполнения полезных функций, снижение стоимости и снижения количества вредных проявлений путем совершенствования компонентов или их "свертывания" [7] (удаления одних компонентов из системы с передачей их свойств другим компонентам).

Достоинства метода

Алгоритм построения и анализа модели, по мнению автора, описан достаточно полно. Построение функциональной модели позволяет последовательно акцентировать внимание на каждом компоненте, задумываясь над формулировками функций и изменяемыми параметрами, и снять некоторую психологическую инерцию. Логический анализ возможных причин того или иного уровня выполнения функций позволяет сформулировать ряд недостатков технической системы и, иногда, поставить нетривиальные задачи.

Недостатки метода

Анализ свойств компонентов и их связей (сопряжений) носит поверхностный характер. Выявление, наименование и ранжирование функций зачастую субъективно и неоднозначно. Функциональная модель интерпретирует каждый компонент как "черный ящик" со связями, но не демонстрирует процессы, происходящие в нем. Такая модель является моделью явлений, поэтому она дает не полное представление о функционировании ТС и происходящих в ТС процессах. Модель носит иллюстративный характер, являясь лишь отображением результатов анализа взаимодействия компонентов технической системы, а не основой для анализа. При количестве компонентов технической системы более 10 начинаются проблемы анализа ввиду отсутствия визуальной модели согласующей принципы функционирования и функции. По функциональной модели нельзя определить, как работает техническая система, и восстановить саму ТС. В результате проведения анализа ряд важных недостатков может быть упущен из рассмотрения.

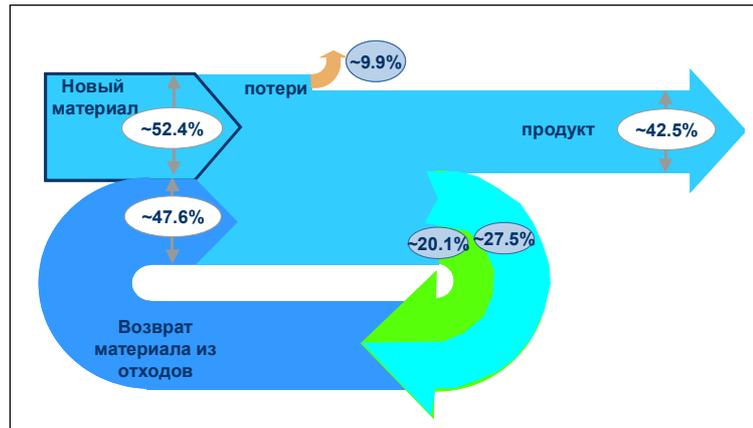
4.2. ПОТОКОВЫЙ АНАЛИЗ

Цель потокового анализа - локализация "узких мест" технической системы и оценка факторов, негативно влияющих на рациональное распространение через нее потоков вещества, энергии и информации [8, 9, 10, 24] .

Моделирование потоков вещества, энергии и информации

Для анализа потоков веществ, энергии и информации в технической системе обычно строится ряд пространственных моделей распределений однородных потоков (для каждого потока в отдельности). Чаще всего потоки изображаются массивными стрелками, которые демонстрируют разделение и объединение потоков, при этом изменение сечения стрелок отображает изменение параметра этих потоков (например, количество материала, мощность).

Пример иллюстрации потока вещества приведен на фигуре 2. Каждый фрагмент потока адресован какому-либо компоненту технической системы.



Фигура 2. Иллюстрация потока вещества при производстве колес.

Методика анализа

На такой модели классифицируются входной и выходной поток, полезный и вредный поток, утечки и потери. Анализ моделей включает в себя оценку вредных потоков и потерь, выявление "бутылочных горлышек", застойных и "серых" зон, а также формирование перечня недостатков технической системы при распространении потоков через ее компоненты.

Достоинства метода

Потоковый анализ позволяет рассматривать разнородные потоки отдельно друг от друга, что обеспечивает простоту построения моделей. Эти модели могут демонстрировать пространственное распределение параметров однородных потоков, что полезно для выявления областей сосредоточения недостатков. Построение моделей отдельных энергетических и информационных потоков или потоков вещества визуализирует распространение этих потоков через компоненты технической системы, демонстрируя наглядность результатов анализа. Анализ модели конкретизирует ряд выявленных вредных потоков, потерь и узких мест, оценка которых позволяет сформулировать ряд недостатков технической системы при ее функционировании и поставить ряд задач.

Недостатки метода

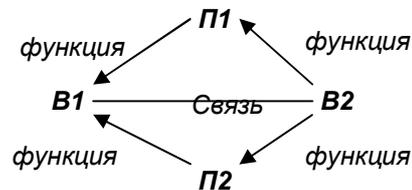
Методика построения моделей и их анализа основана на перечне рекомендаций, что приводит к разнотипности интерпретаций. Такие модели дают только поверхностное представление о фрагментах процессов, происходящих в ТС. Они не демонстрируют общую картину процессов в ТС, принцип действия и сущность происходящих в компонентах процессов. Поэтому значительная часть недостатков, связанная с преобразованием потоков может быть пропущена. В результате анализа формируется неполный перечень разрозненных недостатков, что не в полной мере способствует построению причинно-следственных моделей и выявлению противоречий.

4.3. ВЕПОЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Цель вепольного анализа - моделировать и комплексно анализировать оперативную зону - зону взаимодействия объектов инструмента и изделия [4].

Моделирование веполей

Термин Веполь - вещество-поле, введенный Г.С. Альтшуллером, отражает взаимодействие между объектами - веществами (В1, В2) посредством сил и потоков энергии - названными полями (П). Иллюстрация веполя приведена на фигуре 3. Поля в вепольном анализе рассматриваются как промежуточные объекты, связанные с веществами функциями по аналогии с ФСА. Поскольку типов взаимодействий (функций из ФСА) между веществами может быть несколько, то и «полей», переносящих эти взаимодействия на вепольной модели, будет тоже несколько.



Фигура 3. Иллюстрация веполя

Метод анализа веполей

При анализе вепольной модели могут быть выявлены противоречия - одновременное проявления позитивных и негативных или неудовлетворительных воздействий (полей) на вещество - изделие.

Достоинства метода

Эти модели часто используются в рамках Алгоритма Решения Изобретательских Задач (АРИЗ) [3,4]. При выявлении изобретательской ситуации для каждого типа конструкции веполя разработаны рекомендации по его совершенствованию - стандарты и приемы, позволяющие приблизиться к решению проблемы. Построение такой модели способствует формулированию противоречия, а рекомендации по его разрешению позволяют производить операции с моделью и иногда получить красивое решение.

Недостатки метода

По наблюдениям автора понятие Веполь воспринимается далеко не всеми, поскольку поля, использующиеся в вепольной конструкции модели, полями в привычном смысле этого слова не являются. Также как в ФСА, вепольная модель интерпретирует каждый компонент как "черный ящик" со связями, но не демонстрирует процессы, происходящие в нем. Если взаимодействий между объектами - веществами больше трех, то анализ затруднен. Модель отображает только оперативную зону - маленький фрагмент технической системы, однако не факт, что именно этот фрагмент требует

совершенствования. Вепольный анализ, по мнению автора, может давать положительные результаты только тогда, когда поставлена узкая задача.

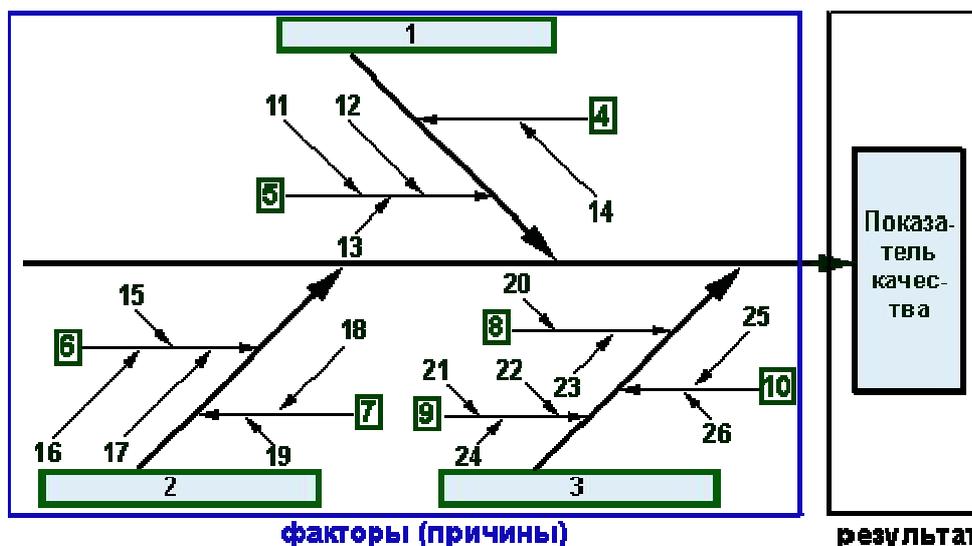
4.4. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

Причинно-следственный анализ является инструментом выявления недостатков, устранение которых частично или полностью позволяет решить поставленную задачу [5]. Цель причинно-следственного моделирования - перечислить все факторы, влияющие на затраты, качество технологического процесса или работы устройства, и составить схему взаимодействия между ними. По такой модели можно проследить причинные цепочки недостатков от внешнего проявления общей проблемы (целевой недостаток) до скрытых внутренних недостатков. Недостатки, стоящие в начале каждой причинно-следственной цепочки, принято называть ключевыми недостатками. Устранение ключевого недостатка позволяет устранить, как минимум, часть недостатков этой цепочки. Конечная цель причинно-следственного анализа заключается в постановке малого числа ключевых задач, направленных на устранение ключевых недостатков. Ключевые задачи могут быть сформулированы в виде противоречий. Решение ключевых задач, например, с помощью АРИЗ, позволяет решить исходную проблему.

Поставить ключевые задачи и обозначить некоторые противоречия в ТС возможно после проведения причинно-следственного анализа на основе построения диаграммы Исикавы (fish-bone) [15] или на основе причинно-следственных цепочек недостатков. Эти методы необходимы для определения возможных причин возникновения проблемы или выяснения факторов, ведущих к улучшению.

Моделирование диаграммы Исикавы

Диаграмма Исикавы (диаграмма причин и факторов) – структурная наглядная схема, показывающая отношения между показателем качества технологического процесса и воздействующими на него факторами (смотри фигуру 4). Она иллюстрирует различные причины, влияющие на процесс, сортирует их и показывает их взаимосвязи. Для каждого следствия выявляется ряд причин. Эти причины являются, в свою очередь, следствием других причин. Причины и следствия выявляются путем выдвижения гипотез и умозрительных заключений их связей. Наиболее эффективным считается групповой метод анализа причин, называемый "мозговым штурмом". При составлении причинно-следственной диаграммы подбирают максимальное число факторов, имеющих отношение к характеристике, которая вышла за пределы допустимых значений.



Фигура 4. Иллюстрация диаграммы Исикавы

1-3 – главные факторы (причины), влияющие на процесс;
 4-10 – вторичные причины (4,5 воздействуют на фактор 1; 6,7 – на фактор 2;
 8-10 – на фактор 3); 11-26 – факторы, влияющие на вторичные причины.
<http://www.bio.ru/stat%5CS5.html>, <http://www.spc-consulting.ru/app/Isikava.htm>.

Моделирование причинно-следственных цепочек недостатков

Методика моделирования причинно-следственных цепочек недостатков (используемая в Gen3partners и ООО "Алгоритм") [12,13] имеет сходство с методикой построения диаграммы Исикавы, но является более продвинутым инструментом. Эта методика подразумевает построение логической структуры, содержащей пиктограммы, в которые записаны недостатки, и причинно-следственные связи между ними в виде стрелочек. Построение этой структуры начинается с обозначения целевых недостатков (исходных проблем), к которым пристраиваются логические структуры, где в качестве причин и следствий использует недостатки, выявленные при проведении ФСА и потокового анализа. Недостающие звенья и продолжение причинно-следственных цепочек недостатков формулируются на основе логического анализа локальной ситуации, включающей исследование свойств конкретного объекта и связей с другими объектами, влияние воздействий, а также изменение параметров объектов и потоков.

Методика анализа

Анализ причинно-следственных цепочек недостатков проводится на модели, и сводится к выявлению ключевых недостатков. В процессе анализа прослеживаются причинно-следственные связи, начиная от целевого недостатка и заканчивая ключевыми недостатками, отмечая области

ветвления цепочек для определения дальнейшего алгоритма действий. Анализируя области ветвления цепочек, определяют зависимость или независимость породивших их причин. При зависимости этих причин для устранения целевого недостатка бывает достаточным устранить один из ключевых недостатков одной из цепочек. Целевым недостатком может быть несколько, при этом некоторые фрагменты цепочек недостатков могут одновременно участвовать в формировании разных целевых недостатков. В результате анализа выбираются те ключевые недостатки, устранение которых приводит к устранению целевых недостатков. По этим ключевым недостаткам формулируются ключевые задачи и соответствующие им противоречия. Это является результатом причинно-следственного анализа.

Достоинства метода

Причинно-следственный анализ позволяет уяснить связь контролируемых параметров технической системы (качество, стоимость, производительность) с неограниченным количеством причинных факторов, а, следовательно, обеспечивает возможность управлять этими параметрами. На основании многолетней практики применения указанного метода можно утверждать, что это наиболее сильный инструмент для поиска скрытых проблем и формулирования ограниченного числа актуальных задач.

Недостатки метода

Процесс построения причинно-следственных цепочек недостатков не алгоритмизирован и основан на чередовании логических умозаключений и переборе вариантов причин. Метод перебора вариантов требует больших затрат времени не гарантирует однозначность и правильность логических выводов. Он требует глубокого понимания процессов, происходящих в технической системе и опыта построения причинно-следственных моделей. Каждый реальный недостаток может быть следствием ряда причин: действий, связей и свойств, которые не всегда просто выявить, а один недостаток может приводить к разным следствиям и разным целевым недостаткам. Поэтому полученные логически модели причин и следствий недостатков могут быть ветвисты, запутаны и неоднозначны. На практике в моделях сложно учесть и связать в логические структуры все недостатки, поэтому модели упрощают, игнорируя часть из недостатков. Вследствие вышеперечисленных аргументов метод не гарантирует однозначного конечного результата.

4.5. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

На основании анализа достоинств и недостатков перечисленных аналитических инструментов, автор сделал выводы.

- Модели аналитических инструментов ТРИЗ, в основном, являются иллюстрацией и систематизацией поисков, логических действий и умозаключений, а не основой для анализа. Чтение этих моделей, то есть определение принципов работы технической системы, крайне затруднительно.
- Общими проблемами аналитических инструментов ТРИЗ, по мнению автора, являются:
 - низкая информативность используемых моделей и поверхностное представление процессов, происходящих в ТС,
 - слабая связь переходов от одного инструмента анализа к другому,
 - недостаточная алгоритмизация выполнения процедур моделирования и анализа, поскольку большинство процедур основано на рекомендациях,
 - субъективность оценок, выводов и постановок задач.

5. РАЗВЕРНУТАЯ ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Конечной целью методик анализа технической системы, в смысле повышения их идеальности, должно являться максимальное приближение к решению изобретательской задачи по оптимальному пути за кратчайшее время. Для достижения этого необходим обоснованный интегральный алгоритм построения моделей технической системы и их анализа, заканчивающийся постановкой ключевых задач. Для того, чтобы модели являлись основой анализа, а не только иллюстрацией и систематизацией поисков, логических действий и умозаключений, они, кроме информации о взаимодействиях компонентов, как минимум, должны содержать информацию о процессах, происходящих как внутри каждого компонента, так и во всей технической системе. Еще более продвинутыми для анализа будут модели, в которых дополнительно отражены свойства компонентов, свойства их сопряжений, изменение свойств связей, параметров компонентов и процессов, происходящих в технической системе при различных режимах работы. Существующие пробелы, проявляющиеся в отсутствии конкретных алгоритмов выполнения ряда процедур методик анализа (например, диагностического и причинно-следственного), слабых взаимных связей моделей разных методик и их анализа, необходимо заполнить новыми инструментами моделирования и анализа. При этом необходимо чтобы методики стали единым, желательно, универсальным механизмом, а не набором отдельных инструментов.

Автор выдвинул гипотезу, что недостающим звеном методических инструментов ФСА-ТРИЗ является анализ вещественно-энергетических преобразований в ТС [16]. В настоящей работе автор обосновал правомерность, целесообразность и перспективность дополнения существующих аналитических инструментов методикой моделирования и анализа вещественно-энергетических преобразований в ТС.

Модель вещественно-энергетических преобразований, по мнению автора, может являться консолидирующим звеном существующих аналитических инструментов. Метод построения и анализа такой модели позволит не только

более полно исследовать физическую картину происходящих в технической системе процессов, но и выявить спектр ключевых задач непосредственно из модели технической системы.

Автор предъявляет к методу требования научной обоснованности моделей, простоты его использования даже для сложных систем, наглядности и повторяемости результатов анализа. Моделей может быть несколько, но они должны обладать однозначными преимуществами, интерпретацией и воспроизводимостью. Средства моделирования должны быть наглядны и просты для понимания. Средства анализа должны ориентироваться на модели и составлять одну логическую цепь.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Обоснование модели физической картины происходящих в технической системе процессов;
- Разработка принципов построения моделей технической системы, учитывающей свойства компонентов, физические эффекты и их проявления;
- Разработка детализированного алгоритма построения моделей на основе правил и рекомендаций, выявленных опытным путем;
- Разработка принципов анализа моделей;
- Разработка алгоритма анализа потоков и принципа действия;
- Разработка детализированного алгоритма определения недостатков технической системы на моделях;
- Разработка детализированного алгоритма анализа структуры (цепочек) причинно-следственных связей проявления недостатков на моделях технической системы и определения спектра ключевых недостатков;
- Разработка алгоритма формирования противоречий из моделей при анализе ключевых задач.

6. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ.

6.1. ВЕКТОР РАЗВИТИЯ МЕТОДИК

Для развития теории и практики известных аналитических инструментов ТРИЗ автор рассмотрел существующие предпосылки и предпринял попытку увязать их в целостную структуру, используя комплексный подход для решения выявленных методических проблем. Стройная теория должна основываться на едином подходе к представлению любых технических систем - на адекватных моделях. Именно поэтому корректному построению моделей ниже уделено первостепенное внимание.

Продолжая проводить аналогию между технической системой и методикой и анализируя инструменты по "Закону Неравномерного Развития Частей ТС" автор делает вывод, что методические инструменты решения проблем

опережают в своем развитии инструменты моделирования, анализа ТС и постановки задач.

Одним из общих недостатков существующих моделей является интерпретация каждого компонента как "черного ящика" и, как следствие, их низкая информативность. Эти модели не демонстрируют процессы, происходящие в компонентах, что накладывает на них отпечаток статичности.

С точки зрения "Закона Повышения Динамизации ТС" первым шагом в совершенствовании моделей должна быть наглядная интерпретация происходящих в ТС макро-изменений. Другими словами это согласованное разделение моделей во времени для различных состояний или для различных режимов работы. Вторым шагом должна быть наглядная интерпретация процессов, происходящих как в областях сопряжения компонентов, так и в самих компонентах ТС.

С точки зрения "Закона Повышения Полноты Частей ТС" и "Закона Вытеснения Человека из ТС" можно прогнозировать, что известные методические инструменты анализа ТС будут однозначно взаимоувязаны и дополнены новыми инструментами, сводящими затраты человека по поиску и формулированию ключевых задач к минимуму.

6.2. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ИДЕИ И ГИПОТЕЗЫ

Для того чтобы модель ТС проявляла процессы, происходящие в компонентах, необходимо раскрыть содержание этих компонентов и проявление в них физических и химических эффектов при функционировании ТС.

Поскольку физические и химические эффекты имеют природу вещественно-энергетических преобразований, возникла идея, что можно построить модель ТС, отображающую эти преобразования. Для построения такой модели есть предпосылки, в частности, "функции" в функциональной модели являются проявлением полей, сил, потоков¹⁴ энергии и веществ, изменяющим вещественно-энергетические параметры объектов. Искомая модель, по мнению автора, построенная, например, на базе функциональной модели, может стать дополнением к известным методическим инструментам ТРИЗ и явиться основой для более углубленного анализа ТС.

Автор выдвинул гипотезу: если каждый компонент ТС интерпретировать в модели как преобразователь полей, сил, веществ, энергии и/или информации с соответствующими связями, то такая модель, проявляя физические эффекты, будет не только демонстрировать происходящие в ТС процессы и принципы

¹⁴ Поток это динамическая система с непрерывным временем. Поток характеризуется направленностью изменений и распределением параметров в пространстве. Понятие поток включает в себя поток поля, в том числе потенциального и силового. Модель потока – наглядное представление направленных изменений однородных параметров вещества, энергии, информации, поля или силы в рамках исследуемой ТС.

действия, но будет еще являться потоковой моделью¹⁵ и моделью причинно-следственной структуры.

6.3. ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ ПРОИСХОДЯЩИХ В ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРОЦЕССОВ

6.3.1. Предпосылки

Любая теория базируется на постулатах и интерпретируется моделями. В частности, теория развития технических систем (ТРТС) и ТРИЗ должны основываться на законах существования технических систем - постулатах, которые определяют возможность описания ситуации, выражают условия функционирования и связи¹⁶ между сосуществующими в пространстве вещами. Модели, используемые для анализа ТС должны отображать сущность¹⁷ объектов ТС и происходящих в ней процессов. Законы физики и открытые физические эффекты позволяют интерпретировать на моделях процессы и необходимые причинные связи в технической системе, при которых взаимоотношения между причиной и следствием однозначно.

6.3.2. Уточнение понятия Техническая Система

Понятие "Техническая система" разные авторы трактуют по разному [22, 23], однако они не противоречат друг другу, а являются взаимодополняющими. Поскольку любая ТС является потребителем и преобразователем какого-либо вида энергии [1, с. 122], то, по мнению автора, правомерно определить, что **Техническая система это совокупность упорядоченно сопряженных¹⁸ материальных объектов¹⁹, организованных для целенаправленного преобразования энергии источников в действия, реализующие назначение.**

Любой физический объект обладает совокупностью свойств: энергетическим состоянием, распределением параметров, способностью реагировать на внешние воздействия, способностью к взаимодействию с другими объектами. Физическая картина технической системы может быть представлена с помощью исходных философских идей и физических представлений: материя

¹⁵ Потоковая модель ТС – представленная схематично взаимосвязь изменений состояний и параметров потоков, полей, сил в пространстве и во времени.

¹⁶ Связь - взаимообусловленность существования явлений, разделенных в пространстве и во времени

¹⁷ Сущность - внутреннее содержание предмета, выражающееся в единстве всех многообразных и противоречивых форм его бытия

¹⁸ Сопряжение - конструктивная особенность связей, характеризующая согласованное изменение параметров энергетически взаимодействующих объектов

¹⁹ Материальное тело - предмет в пространстве, как минимум частично, заполненный веществом

(вещество, или поле), энергия (движение, сила, взаимодействие), свойство²⁰, причинно-следственная связь, материальная связь²¹, явление²², состояние²³ объекта и системы, преобразование²⁴, физический эффект²⁵, пространство²⁶ и время.

В соответствии с предлагаемой автором формулировкой ТС и описанием критериев любой системы [14] можно расшифровать эти критерии, при этом любая ТС характеризуется:

- **Назначением** - главной функцией, реализующей общественную потребность в вещественно-энергетических преобразованиях;
- **Составом** - набором отдельных компонентов - физических объектов, обладающих определенными физическими свойствами;
- **Структурой** - взаимным расположением и связями компонентов между собой в областях сопряжения;
- **Сопряжением** - особенностью связей, характеризующей согласованное изменение параметров энергетически взаимодействующих объектов;
- **Организацией функционирования** - инициацией и целенаправленным управлением энергетическими и вещественными преобразованиями компонентов ТС при передаче полей, сил, потоков энергии и веществ по сопряжениям в пространстве и во времени вплоть до объектов назначения.

Примечание:

Физические объекты, не входящие в состав бездействующей ТС, но изменяющиеся в процессе ее действия или влияющие на действия ТС являются компонентами надсистемы. Объект действия или продукт обычно также относят к компонентам надсистемы.

²⁰ Свойство - отношение данной вещи к др. вещам, с которыми она вступает во взаимодействие, внешнее выражение качества объекта. Способность объекта влиять на поля, силы, потоки энергии и вещества, проявляющаяся при взаимодействии с другими материальными объектами

²¹ Связь материальная в технической системе - взаимообусловленность компонентов ТС, конструктивная особенность, обеспечивающая взаимодействие и перенос вещества, силы, энергии

²² Явление - то или иное обнаружение (выражение, проявление) содержания предмета, внешние формы его существования

²³ Состояние - стабильное проявление переменных свойств объекта

²⁴ Преобразование - изменение свойств или параметров объектов под действием различных факторов или процессов.

²⁵ Эффект физический - проявление какой-либо энергии или силы, производимое чем-либо, являющееся следствием чего-либо. Другими словами физический эффект это физическое явление, демонстрирующее результат преобразования материи, энергии, силы в материальном объекте при определенных условиях.

²⁶ Пространство - форма существования материи характеризующаяся протяженностью и объемом

6.3.3. Постулаты

Детализация понятий назначение, состав, структура и организация функционирования ТС с точки зрения вещественно-энергетических преобразований позволит уточнить базис моделирования и анализа – Законов существования и функционирования ТС – (Постулатов) [17, 18]. Они помогут обосновать правомерность построения моделей вещественно-энергетических преобразований ТС и их анализа.

Анализ понятия «Техническая система» (в трактовке автора) и ее обобщенных характеристик позволил сформулировать следующие Постулаты:

1. Любая техническая система может быть физически или условно разделена на части - компоненты (узлы, элементы, подсистемы, и т.д., вплоть до элементарных частиц), предназначенные для реализации их назначения.
2. Взаимодействующие части ТС целенаправленно сопряжены между собой и организованы в управляемую структуру для обеспечения передачи и преобразования полей, энергии, движения, силы, материи в пространстве и во времени от источников к заданному воздействию на объект назначения.
3. Каждый компонент ТС обладает внутренними свойствами, выражающимися в способности передавать и перераспределять силы и поля, а также поглощать, запасать, преобразовывать и отдавать потоки энергий и веществ, изменяя при этом направление, распределение, соотношение, вид, форму, собственные параметры и т.д.,
4. Каждый компонент ТС обладает внешними свойствами, отображающими его форму и проявление физических эффектов в отношениях с другими компонентами под действием проходящих через компонент полей и сил, потоков энергии и вещества.
5. Каждое сопряжение (связь) компонентов ТС обладает свойствами, выражающимися в способности передавать силы и поля, потоки энергий и веществ.

Примечание:

Выше перечисленные Постулаты справедливы и при рассмотрении информационно-измерительных систем, поскольку носителями информации являются вещества, энергетические потоки, силы и поля, а преобразование информации и передача осуществляется материальными объектами.

Выводы

- Постулаты определяют причинно-следственные связи в ТС:
 - Изменение воздействий на любой компонент сопровождается изменением его реакций (откликов) в соответствии со свойствами компонента преобразовывать это воздействие и со свойствами сопряжений.
 - Изменение вещественно-энергетических параметров любого компонента ТС сопровождается изменением параметров, связанных с ним компонентов, в зависимости от свойств сопряжений, а изменение

параметров любой ТС сопровождается изменением параметров объектов надсистемы, с которыми она взаимодействует, и наоборот.

- Изменение свойств компонента или свойств его сопряжений с другими компонентами в пространстве и/или во времени сопровождается изменением вещественно-энергетических преобразований, производимых этим компонентом.
- Постулаты дают возможность представления технических систем в виде упрощенных моделей для их анализа. Любые компонент, сопряжение, воздействие и преобразование в ТС могут интерпретироваться графическими и табличными моделями, отображающими их сущность.
- Постулаты дают возможность отображать на моделях физические процессы, происходящие как в каждом компоненте, так и во всей ТС.
- Постулаты характеризуют общность всех технических систем и определяют общность подходов к их анализу на моделях и совершенствованию.

6.4. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.

Основы моделирования

Важнейшими характеристиками строимых для анализа моделей ТС, по мнению автора, должны являться простота построения по определенному набору правил, наглядность для восприятия, а также легкость для понимания взаимного влияния различных факторов и сути зависимостей происходящих в ТС процессов.

Любой объект или система объектов, отображенные через органы восприятия, представляются человеком в виде мысленной модели. Модель это частичное отображение реальности. Человеческий мозг не в состоянии одновременно охватить и, в полной мере, представить весь объект или систему объектов в статике, при функционировании, при внутреннем взаимодействии компонентов и взаимодействии с надсистемными объектами, при протекании процессов в компонентах и их проявлений, а тем более в развитии объектов.

Моделированием называется процесс, в ходе которого сложная система, сложное событие или ряд сложных событий дробится на небольшие отрезки, чтобы его можно было повторить, не выпуская из поля зрения. Каждое явление связано множеством, часто неочевидных нитей со всеми другими явлениями. Любое явление сложно и многогранно, поэтому обычно пользуются упрощенными моделями. Единовременно возможно представить только часть системы по упрощенной модели в пространстве и проследить изменения во времени. Именно поэтому анализ любой технической или нетехнической системы невозможно провести без дробления на части.

Для наглядности, простоты понимания и оперативности объекты ТС целесообразно представлять в виде графических моделей, а для полноты и

систематизации знаний информацию об объектах ТС целесообразно представлять в табличном виде.

Согласно сформулированным автором Постулатам любая ТС состоит из компонентов - физических объектов, обладающих определенными свойствами в отношении к взаимодействию с другими объектами, к трансляции и преобразованию энергии, веществ, полей и сил, причем эти объекты организованы во взаимосвязанную структуру. На основе этого можно констатировать, что любая техническая система может быть графически и таблично интерпретирована не только моделями явлений (функциональными моделями), но и адекватными моделями вещественно-энергетических преобразований. Эти модели будут отображать физические эффекты, как в компонентах, так и во всей ТС. Модели вещественно-энергетических преобразований в ТС автор предлагает называть динамическими моделями. Динамические модели ТС вместе с надсистемными объектами должны условно отображать компоненты, их динамические взаимосвязи и происходящие в объектах модели процессы в пространстве и во времени.

Для представления ТС в модели, отображающей физические законы и явления, необходимо сформулировать правила отображения категорий: компонент, связь, сопряжение, вещество, поле, действие (функция), сила, параметр, поток энергии и вещества, состояние (в том числе энергетическое), физический процесс и физический эффект. Ниже будут продемонстрированы принципы и порядок построения таких моделей.

6.5. МЕТОДИКИ И ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

В предлагаемой работе правила построения Компонентной и Структурной моделей ТС дополнены рекомендациями по раскрытию сущности компонентов и их сопряжений, что позволяет выполнять последующие этапы моделирования более обоснованно и качественно. Правила построения базовой Функционально-стоимостной модели аналогичны общеизвестным, однако ранжирование функций и определение уровня их выполнения автор считает целесообразным проводить после построения всех моделей. Дальнейшие этапы моделирования, по мнению автора, обладают новизной.

Для построения динамических моделей на базе функциональной модели предлагается ее модифицировать. Эта модификация предусматривает разделение функциональной модели на ряд моделей, последовательно демонстрирующих разные режимы работы, для проявления изменений параметров компонентов и их сопряжений во времени. При этом, для демонстрации изменений параметров компонентов в пространстве предусматривается дробление динамических компонентов, в том числе потоков вещества, на несколько последовательно связанных компонентов имеющих одновременно разные параметры. Число таких компонентов, например, может равняться числу значимых состояний.

При переходе от функциональных моделей к динамическим моделям на первом этапе каждая функция модифицируется в соответствующие ей поток

энергии, поле (потенциальную энергию) или силу, имеющие конкретное направление. Далее раскрываются физические эффекты, отражающие преобразования в каждом компоненте входных энергетических воздействий в выходные или их обусловленность, а именно, отмечаются их связи как одиночных входных с выходными, названных элементарными эффектами, так и взаимная обусловленность этих элементарных эффектов.

В результате этих операций формируются динамические модели, являющиеся как совокупностью потоковых моделей [20], так и моделями причинно-следственной структуры вещественно-энергетических преобразований в технической системе. По этим моделям ТС достаточно просто проводить потоковый анализ, анализ эффективности принципа действия, выявление недостатков, диверсионный анализ и причинно-следственный анализ.

Ниже приведены детализация правил построения моделей и дополнительные рекомендации, облегчающие эти процедуры, подробный алгоритм построения моделей, включающий шаги проверки правильности построения и коррекцию предыдущих шагов.

Принципы построения и фрагменты анализа моделей по шагам алгоритма проиллюстрированы в **Приложении 1** конкретным примером: «Система подпитки окрасочной ванны».

6.5.1. Компонентная и Структурная модели ТС

Для представления компонента в виде его графической модели компонент принято условно изображать в виде прямоугольника с его названием, отображающим назначение.

Существующие методики построения Компонентной и Структурной моделей сводятся к дроблению ТС на компоненты, определению объектов назначения ТС, выявлению компонентов надсистемы и окружающей среды, составлению матрицы взаимодействий компонентов и формированию структурной модели в графическом виде (пиктограммы компонентов и их связи).

Автор предлагает после определения перечня объектов назначения ТС, компонентов ТС и надсистемы, как это принято в существующей методике ФСА, дополнительно раскрыть их сущность.

Каждому объекту ТС и надсистемы должен быть поставлен в соответствие перечень их свойств, которые могут проявляться при каком-либо воздействии на объект, при взаимодействии с другими объектами или с течением времени. На основе документации и доступной информации определяются эти свойства каждого компонента, параметры и/или диапазон их изменений в процессе функционирования, а также значимые состояния компонентов (устойчивые и переходные). Свойства и параметры компонента автор предлагает отображать в табличной форме. Пример табличной формы приведен в таблице 2.

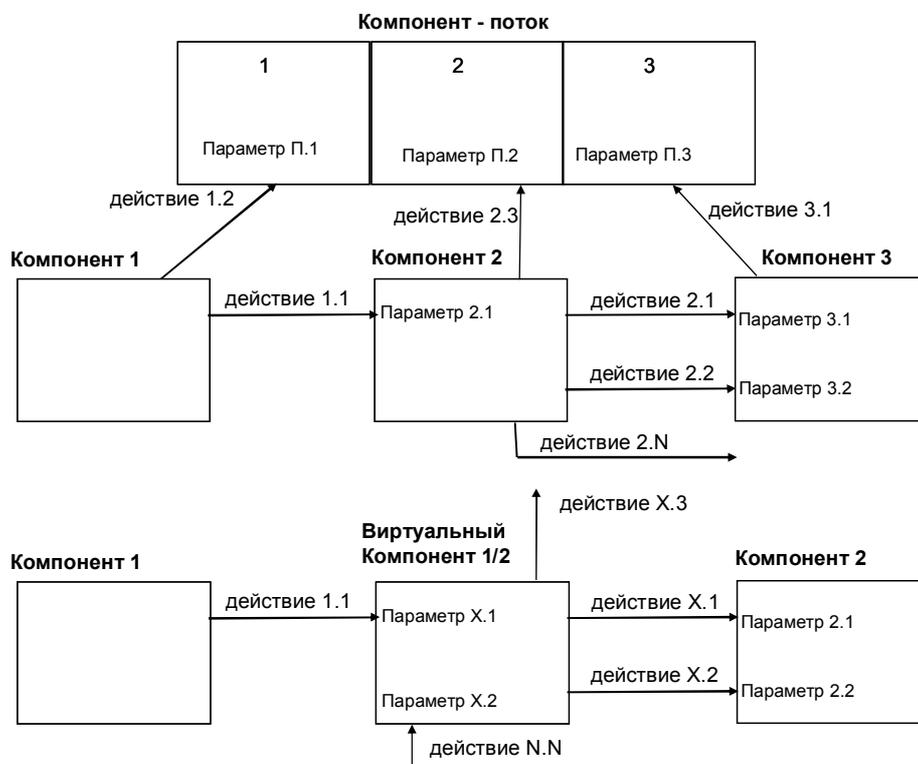
Таблица 2

Свойства Компонент	Габаритные	Механические	Химические	Пневматические	Гидравлические	Тепловые	Электрические	Магнитные	Режим, состояние	Динамика

В принципе, эти процедуры могут выполняться и на этапе функционального моделирования при формулировании "функций".

Примечание: потоки энергии не являются компонентами ТС, однако заряды могут являться компонентами, если рассмотрение ведется на микроуровне.

Отличительной особенностью предлагаемой методики является дробление компонентов на ряд элементов (смотри фигуру 5), например, по числу их значимых состояний (поток вещества, движущийся объект) и введение виртуальных компонентов в областях возникновения каких-либо особых параметров, особенных явлений или "серых зон", например, контактных явлений (смотри фигуру 6).



Фигура 6. Форма представления «особой» области виртуальным компонентом.

Такое дробление динамических компонентов на несколько последовательно связанных элементов, имеющих одновременно разные параметры, необходимо для демонстрации одновременных изменений параметров компонентов в пространстве. Это позволит более объективно и качественно

строить функциональную модель ТС и осуществить разделение моделей во времени по режимам работы ТС.

Кроме этого автор предлагает после определения наличия взаимодействий между всеми компонентами ТС и надсистемы дополнительно раскрыть сущность их сопряжений. При этом определяются свойства каждого сопряжения, значимые состояния в пространстве и во времени, параметры и диапазон их изменений в процессе функционирования. Эти сопряжения (связи) могут быть контактными (механическими) или полевыми, статическими или динамическими.

Использование предлагаемых автором усовершенствований позволит не только более объективно и качественно строить функциональную модель, но и поможет выделить режимы работы ТС для корректного построения модели вещественно-энергетических преобразований ТС.

6.5.2. Статическая модель ТС

Статическая модель является моделью структуры системы, в которой установлены сопряжения (взаимосвязи) между функциональными узлами и/или компонентами (при детализации) представленными в виде пиктограмм, демонстрирующих их назначение.

Статическая модель обуславливает конструкцию прибора, устройства, механизма, а также набор, расположение и взаимосвязь оборудования технологического процесса (технологической линии).

6.5.3. Функциональная модель.

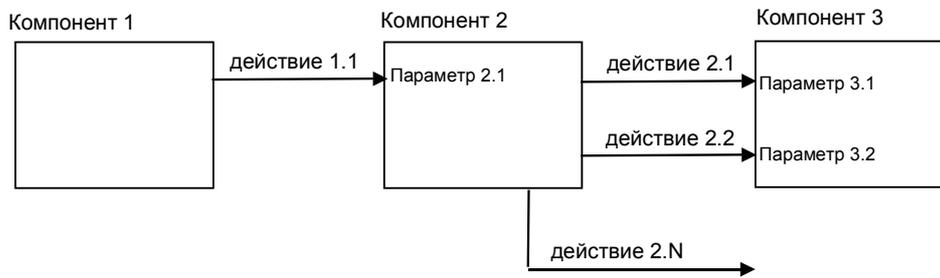
Функциональная модель это модель внешних проявлений функционирования (изменения параметров) ТС.

На этапе функционального моделирования, как это принято в ФСА, при рассмотрении каждого сопряжения объектов структурной модели формулируются действия одного объекта на другой, направленные на изменение или поддержание определенного параметра, проявляющего какое-либо свойство последнего. Эти действия принято называть "функциями".

При формулировании функций целесообразно ориентироваться на сущности компонентов и сопряжений, раскрытые на предыдущем этапе моделирования. Сопряжения между компонентами принято изображать в виде линий связи.

Число линий связи должно быть, как минимум, равно числу «функции» - действия одного объекта на другой.

Функции (действия) и проявляющие их силы, поля, потоки энергии и вещества, должны отображаться на функциональной модели в графической (смотри фигуру 7.) и табличной форме. Свойства и параметры сопряжений относительно этих действий можно отображать в табличной форме, например, в дополнительной графе функциональной модели. Пример табличной формы приведен в таблице 3.



Фигура 7. Графическое представление функциональной модели

Таблица 3.

Компонент- субъект	Действие	Компонент- объект	Параметр объекта	Стоимость объекта	Параметр сопряжения	Состояние, Режим работы	Тип объекта		

Отличительной особенностью предлагаемого функционального моделирования является формирование нескольких функциональных моделей, соответствующих разным режимам работы, если таковые выявлены. Но в принципе, разделение моделей по режимам работы может быть осуществлено при построении моделей вещественно-энергетических преобразований. Определить режимы работы можно при выявлении изменения свойств сопряжений во времени и изменении состояний компонентов.

Автор предлагает на этапе функционального моделирования не проводить ранжирование функций и определение уровня выполнения функций, считая это преждевременным. Эта рекомендация вызвана тем, что названные логические операции, захватывая фрагменты причинно-следственного анализа, носят субъективный характер и не всегда однозначны. Одна и та же функция для разных следствий или для разных режимов работы может быть одновременно как полезной так и "вредной", или одновременно характеризоваться как избыточным уровнем выполнения, так и недостаточным. Такие противоречивые ситуации на этапе функционального моделирования выявить очень не просто. Их выявлению препятствуют отсутствие полной картины, происходящей в технической системе процессов, и отсутствие причинно-следственной структуры. В дальнейшем в работе будет показано, как, по мнению автора, объективно могут быть определены уровни выполнения функций и выявлены противоречия при анализе моделей.

6.5.4. Динамическая модель - Модель вещественно-энергетических преобразований

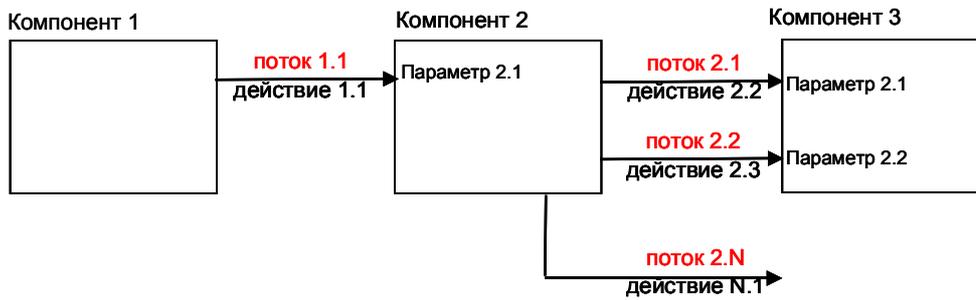
Процессы, происходящие как в любой ТС и ее компонентах, так и при взаимодействии ТС с надсистемными объектами, подчиняются физическим законам и могут быть интерпретированы с помощью известных физических эффектов, обусловленных свойствами компонентов и их связей, отражающих

изменения вещества и энергии в компонентах ТС. Динамическая модель должна представлять условную взаимосвязь изменений действий (проявлений какой-либо энергии, сил и полей) в системе, сопровождающихся взаимосвязью изменений различных параметров компонентов ТС и объектов ее действия в пространстве и во времени. Любое изменение параметра любого компонента ТС происходит под действием "функций", которые являются проявлением действия полей, сил, потоков энергии и вещества. Эти входные направленные воздействия, проходя через компонент, преобразуются в выходные "функции", являющиеся проявлением действия полей, сил, потоков энергии и вещества. Для полного представления картины процессов, происходящих в ТС необходимо уточнить сущность ее объектов и каждый компонент рассмотреть с точек зрения как связей с другими компонентами, так и изменения в нем материи, движения, силы, положения, внешних взаимодействий и внутренних преобразований в пространстве и во времени.

Другими словами, предлагается каждый компонент ТС рассматривать не как элемент - «черный ящик», имеющий ряд параметров, а как сопряженный с другими компонентами преобразователь сил, полей, потоков веществ и энергии, на основе эффектов и сопутствующих им явлений, отражающих совокупность физических и химических свойств компонента. Такой подход основан на действии "Закона энергетической проводимости системы" [1] и не противоречит классической ТРИЗ в том, что «любую техническую систему можно рассматривать как некий передаточный механизм, реализующий определенную связь между ее входом и выходом, которая осуществляется с помощью преобразователей - функциональных звеньев, а звенья состоят из функциональных элементов» [3].

Динамическая модель, отражающая вещественно-энергетические преобразования в технической системе, должна содержать модели компонентов и модели их взаимодействий, причем модели взаимодействий компонентов должны отображать распространение энергий, полей, сил и веществ, а модели компонентов - распространение, взаимодействие и преобразование воздействующих на компонент полей сил, потоков энергии и веществ.

Основой для построения динамической модели может являться функциональная модель либо ее интерпретация на разных режимах работы. При переходе от функциональных моделей к динамическим моделям на первом этапе каждая функция модифицируется в соответствующие ей поток энергии (иногда вещества), поле (или потенциальную энергию) или силу, имеющие конкретное направление. Другими словами, пиктограмма "функции", изображаемая стрелочкой, соединяющей компоненты в графической модели, с названием действия, модифицируется в пиктограмму - стрелочку с наименованием потока: вида энергии, поля, силы или вещества (смотри фигуру 8.). В табличной модели может указываться тип воздействия (входное или выходное) и значение его параметров. Пример табличной формы приведен в таблице 4.

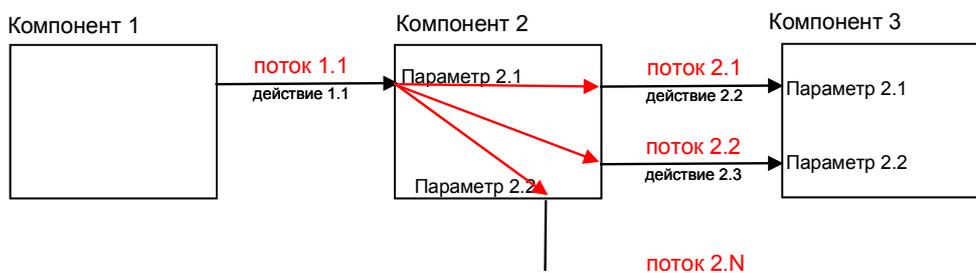


Фигура 8. Графическое представление модифицированной функциональной модели, отображающей элементарные потоки

Таблица 4.

Компонент-объект	Действие	Компонент-субъект	Параметр субъекта	Тип субъекта	Параметр сопряжения	Поток (Вид поля, силы или энергии)	Параметр потока	Состояние, Режим работы

Далее раскрывается сущность процессов в каждом компоненте, преобразования входных воздействий в выходные или их обусловленность, а именно, отмечаются их связи как одиночных входных с выходными, названных элементарными эффектами, так и взаимная обусловленность этих элементарных эффектов. Процессы (физические эффекты), происходящие в компоненте - преобразования потоков энергии, полей, сил и вещества (например, для химических процессов), автор предлагает отображать в виде связей (линиями или стрелочками) входных и выходных потоков. Для отображения изменения процессов во времени необходимо строить эти модели на разных режимах. Динамические модели представляются в графической (смотри фигуру 9.) и табличной (смотри таблицу 5.) форме.



Фигура 8. Графическое представление динамической модели

Таблица 4.

Компонент источник	Входной поток	Преобразование (условия, особенность)	Компонент преобразователь	Выходной поток	Компонент потребитель	Связь преобразований	Режим

Для выявления взаимообусловленности эффектов необходимо определить и отметить взаимное влияние разных потоков, проходящих через компонент, и/или условий выполнения преобразования потока, например, под действием поля. Основой для этого являются законы физики и физические эффекты. Кроме этого необходимо помнить, что в природе нет идеальных веществ и эффектов, при которых одно входное воздействие преобразовывалось в одно выходное, так как даже при передаче энергии или силы есть потери (100% КПД не бывает). Несмотря на это, по мнению автора, мало значимые воздействия и преобразования из моделей можно исключить, поскольку модель это всегда упрощенное и частично идеализированное отображение реального объекта.

При разных режимах работы в одном компоненте эффекты могут иметь разные количественные характеристики или могут проявляться разные эффекты. Именно для упрощения представления и понимания процессов, происходящих в ТС, модели должны быть разнесены по времени и представлены на разных режимах работы.

В результате проделанных операций формируются динамические модели, отображающие вещественно-энергетические преобразования в пространстве и во времени на разных режимах работы ТС. Эти модели еще являются и совокупностью потоковых моделей, так как в них неразрывно отображены вещественно-энергетические потоки с параметрами и их преобразования в пространстве и во времени. На этом же этапе целесообразно определить тип каждого компонента:

- источник вещества, энергии или поля,
- поток вещества,
- потребитель вещества, энергии или поля
- преобразователь вещества, энергии, силы или поля.

Для проверки корректности составления моделей необходимо проследить сквозной проход и преобразования энергии, веществ-потоков, сил и полей от компонентов-источников через компоненты-преобразователи до компонентов-потребителей при каждом режиме работы. При выявлении разрывов необходимо откорректировать модели.

Для углубленного моделирования пространственная интерпретация отдельных процессов и преобразований может быть дополнительно представлена в виде двумерных или трехмерных распределений, а временная интерпретация - в виде согласованных временных диаграмм.

Такие модели происходящих в технической системе процессов могут быть преобразованы в математические модели. Эти модели могут еще в большей степени отображать физическую действительность при помощи компьютера и быть способны реагировать на различные изменения, привносимые в систему.

6.5.5. Динамическая модель ТС - модель взаимосвязи процессов и причинно-следственной структуры

Динамическая модель является моделью организации функционирования ТС, в которой установлены сквозные зависимости изменений потоков и параметров, их энергетических характеристик и проявления физических эффектов, как в компонентах, так и в областях их сопряжения при функционировании ТС совместно с объектами надсистемы. Она обуславливает взаимосвязанную совокупность потоковых моделей, включающих в себя изменения параметров движений объектов, изменения параметров объектов, преобразования различных форм и видов энергии, изменения сил, преобразования вещества, информации и т.д.

Реакции на любое изменение какого-либо воздействия, свойства или параметра в любой из этих моделей может быть отслежено по взаимообусловленным цепочкам, образованным пиктограммами-стрелочками воздействий связывающие компоненты и пиктограммами-стрелочками их преобразований компонентами (аналогично по табличным моделям). Именно поэтому совокупность построенных моделей является еще и моделями причинно-следственной структуры.

6.5.6. Модель принципов действия ТС

Модель принципов действия ТС это модель, демонстрирующая взаимосвязь только преобразований сил, полей, энергий и веществ, необходимых для реализации назначения ТС.

По динамической модели можно легко определить принцип действия ТС, для чего достаточно выделить основные динамические воздействия и основные преобразования.

Основные динамические воздействия - динамические воздействия или потоки, совокупность которых вызывает полезные преобразования объекта (возможно не непосредственные).

Основные преобразования компонентов - преобразования, направленные на полезное преобразование материи, движения (энергии) или сил для создания основных динамических воздействий.

Модель принципа действия [20] - упрощенная идеализированная динамическая модель ТС, обуславливающая взаимосвязь (в пространстве и во времени) основных преобразовательных эффектов (фрагментов преобразований или процессов) без учета побочных явлений, происходящих в компонентах, приводящих к полезным изменениям объекта действия ТС. Принцип действия может быть выражен в виде причинно-следственной последовательности основных преобразовательных элементарных эффектов или ряда последовательностей (дерева графов), часть из которых определяют условия протекания узловых физических эффектов разделенных в пространстве и во времени.

6.6. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ

Анализ технической системы проводится для выявления присущих ей недостатков. Логически выявить большинство недостатков и наметить пути совершенствования ТС можно при анализе ее функционирования на динамических моделях, ориентируясь на целевые недостатки. При этом, для уточнения и анализа стоимости (затрат), свойств и параметров компонентов и их сопряжений необходимо адресоваться к моделям, построенным на предыдущих этапах. Такая последовательность действий представляется корректной, поскольку все модели логически и графически взаимосвязаны между собой, моделирование ведется последовательно, а каждая последующая модель является развитием предыдущей. Предложенные подходы к моделированию технической системы позволяют провести ее глубокий анализ с использованием известных наработок и инноваций.

Для предварительного выявления недостатков, углубления понимания происходящих процессов и коррекции динамических моделей в первую очередь рекомендуется провести на моделях потоковый анализ и оценку эффективности принципа действия. Выявленных при этом недостатков обычно бывает недостаточно для постановки правильных задач, поэтому анализ необходимо углубить, как минимум, до параметрического уровня.

Конечной целью анализа технической системы является перечень задач и противоречий. Инструментом для их выявления является анализ причинно-следственных цепочек недостатков. Причинно-следственные цепочки недостатков могут быть выделены из общей причинно-следственной структуры, которой являются динамические модели, однако для этого необходимо найти в них логические входы. Такими логическими входами или преддверьями могут являться известные целевые недостатки и их структуры на верхнем иерархическом уровне (например, низкая эффективность, негативные проявления в надсистеме, высокая стоимость и т.д.).

6.6.1. Анализ общей структуры целевых недостатков

Согласно «Закону повышения идеальности технической системы» общими критериями, характеризующими объект исследования, являются функциональность, негативные проявления и затраты. Функциональность характеризует уровень реализации назначений, который, в общем случае, может быть оценен как эффективность вещественно-энергетических преобразований, как конструкции, так и технологического процесса, поэтому логический вход в причинно-следственную структуру может быть найден без затруднений. То же самое касается и негативных проявлений. Затраты в технической системе можно разложить на энергетические и материальные, что путем несложных логических построений для каждой технической системы, тоже выведет на модель вещественно-энергетических преобразований, которая в свою очередь базируется на функционально-стоимостной модели. Таким образом, любой целевой недостаток конкретной технической системы можно логически и физически связать с динамической моделью.

6.6.2. Методика анализа потоков и оценка эффективности принципа действия технической системы

Поскольку динамические модели являются совокупностью потоковых моделей при разных режимах работы, потоковый анализ не должен вызвать затруднений. При этом, сначала могут быть рассмотрены распространение, взаимодействия и преобразования потоков на качественном уровне, а затем (при необходимости) могут быть рассмотрены однородные потоки и выявлены их параметрические недостатки.

При прослеживании передачи и преобразования всех потоков веществ и энергий от источников до приемников на качественном уровне необходимо определить полезные потоки, их утечки (потери в результате преобразований) и вредные потоки, проанализировать параметры каждого фрагмента потока и выявить их недостатки.

В результате анализа каждому потоку, компоненту и сопряжению может быть поставлен в соответствие перечень достоинств и недостатков [24]. При этом в табличных моделях могут быть отмечены:

- Основные элементарные потоки и преобразования – потоки и преобразования, способствующие реализации назначения ТС
- Вредные элементарные потоки и преобразования – потоки и преобразования, ухудшающий параметры полезного потока или разрушающий компоненты ТС
- Вспомогательные элементарные потоки и преобразования – потоки и преобразования, используемые на дополнительные и вспомогательные нужды,
- Сопутствующие элементарные преобразования – преобразования, обуславливающие неидеальность свойств компонентов и побочные эффекты,
- Элементарные потоки потерь и утечек, а также зоны их дислокации
- "Серые" зоны²⁷
- Источники вредного потока
- Зоны повреждения потока
- Зоны повреждения канала распространения потока вещества (потокопровод, магистраль, конвейер)
- Зоны разрушений компонентов (преобразование вещества) или их сопряжений при преобразовании потоков энергии или силы
- Зоны вредного преобразования потока

Для выявления перечня недостатков в пространственном распределении и перераспределении однородных потоков, полей и сил, а также изменении их параметров во времени необходимо учитывать конструктивные особенности компонентов, их физические свойства и параметры. При этом необходимо

²⁷ "Серая" зона – область, где поведение потока не поддается предсказанию с достаточной точностью

ориентироваться на конструкторскую документацию и модели верхнего уровня, например, компонентную и структурную, в которых раскрыта сущность компонентов и сопряжений. Анализ этих потоков может быть представлен в стандартном виде (смотри главу 4.2). В результате этого анализа могут быть дополнительно выявлены "бутылочные горлышки"²⁸, "застойные зоны"²⁹, а также уточнены "серые" зоны, потоки потерь и утечек.

На основании проведенного выше анализа может быть определен принцип действия технической системы и определена его эффективность.

Для определения принципа действия технической системы на динамической модели достаточно выделить элементарные преобразования потоков (элементарные эффекты и процессы), способствующие реализации назначения ТС, и связать эти преобразования в направлениях потоков, учитывая изменения преобразований на разных режимах работы ТС.

Далее рекомендуется определить эффективность принципа действия, оценив, например, КПД преобразований при взаимодействии потоков вещества и энергии, полей и сил. При этом могут быть дополнительно отмечены недостатки реализации принципа действия, и выявлены зоны (компоненты и сопряжения) нерационального преобразования или распределения потока. Эффективность принципа действия и одиночного преобразования может быть еще оценена отношением достигнутого уровня полезного преобразования к уровню физического предела или удельными показателями (например, отнесенными к стоимости, затратам, объему и т.д.). Это может быть полезно, как при сравнении различных технических систем, так и для совершенствования существующего или поиска нового принципа действия.

Поскольку динамическая модель является моделью причинно-следственной структуры, то можно с уверенностью утверждать, что элементарные эффекты и их связи, не попавшие в принцип действия, будут являться фрагментами причинно-следственных цепочек недостатков. Однако, для выявления общей структуры причинно-следственных цепочек недостатков и определения ключевых недостатков, необходимо увязать в единую структуру целевые недостатки, неадекватно выполняемые основные преобразования потоков, недостатки, выявленные на этапе потоковых моделей, неадекватные свойства и параметры компонентов и сопряжений.

6.6.3. Методика диагностического анализа недостатков и построения их причинно-следственных цепочек

Инструментом выявления причинно-следственных цепочек недостатков может быть предлагаемая в настоящей работе Методика диагностического анализа недостатков. Аналогом этого процесса является поиск неисправностей по принципиальной схеме, используемый, например, в электротехнике.

²⁸ Бутылочное горлышко - область потока с резко повышенным сопротивлением

²⁹ Застойная зона - область потока, в которой некоторая его часть задерживается надолго или навсегда

Суть метода диагностического анализа недостатков заключается в следующем.

Сначала определяется проявление целевого недостатка. Затем выявляется его связь с динамическими моделями, выраженная в виде неадекватного элементарного выходного потока, его сопряжения или его преобразования, например в потребителе потока.

Далее прослеживаются по причинно-следственной структуре связи - потоки - преобразования недостатки, порождающие выявленный недостаток. При этом определяются неадекватно выполняемые преобразования, а также неадекватные свойства компонента и его параметры (по функциональной модели), являющиеся их причинами.

Потом анализируются связи потоков и преобразований в этом компоненте и, при их неадекватности, выявляется логическое ветвление причинно-следственной цепочки недостатков. Определяется неадекватная взаимообусловленность преобразований.

Далее рассматриваются входные потоки, являющиеся основой отмеченных преобразований, и соответствующие им сопряжения. Определяются их неадекватные свойства и параметры. Эти потоки являются выходными для следующего анализируемого компонента.

Описанный процесс анализа повторяется для всех компонентов в направлениях навстречу потокам, отмечая недостатки и их связи, строя причинно-следственные цепочки недостатков.

Этот процесс проводится до выявления ключевых недостатков (причины которых выявить не удалось или устранение причин которых невозможно) при разных режимах работы. Такой анализ может быть проведен вплоть до источников потоков. При ведении причинно-следственного анализа необходимо сопоставлять сопряжения, потоки, преобразования и параметры компонентов с недостатками, выявленные и локализованные при проведении потокового анализа.

Для завершения построения причинно-следственной структуры недостатков необходимо определить причинно-следственные зависимости недостатков разных режимов работы. Для выявления этих связей необходимо дополнительно рассмотреть области начала существенных отличий параметров объектов (по направлениям потоков) на разных режимах работы и рассмотреть их переходные процессы. Эти связи и переходные процессы могут являться недостатками, в том числе ключевыми.

Примечание: На этом этапе могут быть однозначно определены уровни выполнения функций для функциональной модели, если такая задача будет поставлена.

Для представления структуры причинно-следственных цепочек в привычном виде ряд недостатков может быть переформулирован в виде процессов, явлений или неадекватно выполняемых функций.

6.7. ВЫЯВЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ НЕДОСТАТКОВ И ФОРМИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ЗАДАЧ

Выявление ключевых недостатков и формирование ключевых задач при построенных на предыдущем этапе структурах причинно-следственных цепочек недостатков аналогично существующим, рекомендациям [5,11,12,13].

6.8. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ПРОТИВОРЕЧИЙ

В подавляющем большинстве случаев противоречия проявляются в пространстве и/или во времени. Противоречия могут быть выявлены путем сопоставления недостатков и требований по их устранению на разных режимах работы. Поскольку динамические модели на разных режимах работы отображают пространственные изменения, разнесенные во времени, то процесс отыскания и формулирования противоречий сводится к сопоставлению ключевых недостатков или их дальнейших проявлений причинно-следственные структуры для разных режимов работы.

7. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.

Исследование, по мнению автора, является вкладом в развитие ТРИЗ как научной теории, включая развитие методических основ ТРИЗ-ФСА, инструментов анализа проблем на пути синтеза решений изобретательских задач для практического применения.

В работе проанализированы существующие методики, выявлены их достоинства и недостатки, определены "белые пятна" методологии анализа, проведено научное обоснование основ моделирования, разработаны новые недостающие инструменты моделирования и анализа, в частности, вещественно-энергетических преобразований, принципа действия, причинно-следственной структуры.

В результате работы предлагается интегральная алгоритмизированная методика, включающая достоинства существующих подходов к моделированию и анализу ТС при устранении присущих им недостатков. Методика обеспечивает логическую и практическую преемственность инструментов анализа от исходной проблемы до постановки ключевых задач.

В результате проведенного исследования созданы алгоритмы построения релевантных моделей технической системы и их анализа, включающие ряд правил и рекомендаций.

7.1. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

1. Построить компонентную и структурную модели
 - 1.1. Разделить ТС на компоненты,

- 1.2. Определить объекты назначения ТС (продукты), компоненты надсистемы и окружающей среды,
 - 1.3. Раскрыть сущность компонентов. Каждому объекту ТС и надсистемы поставить в соответствие перечень их свойств, которые могут проявляются при каком-либо воздействии на объект, при взаимодействии с другими объектами или с течением времени, параметры и/или диапазон их изменений в процессе функционирования, а также значимые состояния компонентов (устойчивые и переходные). Сформировать таблицу свойств и параметров компонентов.
 - 1.4. Составить матрицу взаимодействий компонентов
 - 1.5. Сформировать структурную модель в графическом виде (пиктограммы компонентов и их связи).
 - 1.6. Раздробить динамические компоненты (поток вещества, движущийся объект и т.д.) на ряд элементов, например, по числу их значимых состояний или по числу взаимодействий
 - 1.7. Ввести, при необходимости, в систему виртуальные компоненты, называемые, например, "область контакта", если в областях взаимодействия компонентов происходят какие-либо особенные явления или наблюдаются "серые зоны".
2. Построить функциональную модель.
 - 2.1. Для каждого сопряжения компонентов сформулировать "функции" - действия одного объекта на другой, направленные на изменение или поддержание определенного параметра. Сформировать функциональную модель в табличном и графическом виде по известным правилам.
 - 2.2. Проследить по моделям сквозные потоки вещества и перемещения динамических компонентов. При необходимости откорректировать функциональные модели.
 - 2.3. Раскрыть сущность сопряжений (связей) компонентов. Определить свойства каждого сопряжения, значимые состояния в пространстве и во времени, параметры и диапазон их изменений в процессе функционирования. Эти сопряжения (связи) могут быть контактными (механическими) или полевыми, статическими или динамическими. Сформировать таблицу свойств и параметров сопряжений, как дополнения к функциональным моделям.
 - 2.4. Определить, какие из функций по-разному проявляются в разное время, и выявить значимые режимы работы технической системы
 - 2.5. Сформировать несколько функциональных моделей демонстрирующих разные режимы работы (при необходимости)
 3. Преобразовать функциональные модели в их энергетическую интерпретацию.
 - 3.1. Определить, следствиями каких потоков энергии, полей и сил являются функции. Модифицировать наименование каждой функции

соответствующим ей видом энергии, полей и сил (проявить элементарные потоки).

3.2. Определить направления передачи этих энергий, полей и сил от одного компонента к другому. Отобразить элементарные потоки и их направленность на графической модели

3.3. Промаркировать каждый компонент:

- источник вещества, энергии или поля,
- поток вещества,
- потребитель вещества, энергии или поля,
- преобразователь вещества, энергии, силы или поля.

Примечание: при необходимости дополнить модели недостающими надсистемными источниками и потребителями, установить недостающие связи.

3.4. Определить параметры этих "элементарных потоков" и занести их в табличную модель (в продолжении функциональной модели).

4. Построить динамическую модель технической системы

4.1. Определить связи входных и выходных элементарных потоков для каждого компонента и отобразить их на энергетической интерпретации функциональных моделей.

4.2. Сформировать таблицу вещественно-энергетических преобразований, в которой отражены связанные между собой входные и выходные элементарные потоки для каждого объекта - элементарные эффекты, отображающие преобразование одного входного в один выходной элементарный поток или их обусловленность согласно известным физическим законам и эффектам.

4.3. Сформулировать системы взаимозависимых (связанных между собой) элементарных преобразований потоков для каждого объекта и обозначить происходящие в компонентах процессы согласно известным физическим законам и эффектам.

4.4. Осуществить проверку правильности построенных моделей

4.4.1. Проследить передачу и преобразования всех потоков веществ и энергий от источников до приемников при разных режимах работы. Выявить разрывы в потоках и несогласованности преобразований, согласно известным физическим законам и эффектам.

4.4.2. Проследить причинно-следственную обусловленность вещественно-энергетических преобразований.

4.4.3. Определить недостающие элементарные потоки, сформулировать для них преобразования и отредактировать модели.

4.4.4. Переформулировать преобразования компонентов в процессы явлений на привычном языке.

7.2. АЛГОРИТМ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ

5. Провести анализ целевых недостатков и определить логические и физические связи с элементарными потоками или преобразованиями вещества и энергии, полей или сил динамической модели, и в каком режиме работы. При необходимости уточнения логических входов построить структуру целевых недостатков по верхнему иерархическому уровню ТС.
6. Провести потоковый анализ по динамической модели на качественном и параметрическом уровне и выявить недостатки:
 - 6.1. По графическим моделям проследить передачу и преобразования всех потоков веществ и энергий от источников до приемников при разных режимах работы, отмечая в табличных моделях:
 - Основные, вспомогательные, сопутствующие и вредные элементарные потоки и преобразования
 - Элементарные потоки потерь и утечек
 - "Бутылочные горлышки" и "Серые" зоны
 - Зоны застоя и повреждения потока, потерь и утечек потока
 - Зоны повреждения канала распространения потока вещества, разрушений компонентов или их сопряжений при распространении потоков
 - Зоны вредного преобразования потока
 - Зона нерационального преобразования или распределения потока
 - 6.2. Провести анализ пространственного распределения и перераспределения однородных потоков и выявить "бутылочные горлышки", застойные зоны, а также уточнить "серые" зоны, потоки потерь и утечек. Отметить эти недостатки в табличных моделях соответствующего режима работы ТС.
7. Провести анализ принципа действия
 - 7.1. Определить на динамической модели принцип действия технической системы, выделив элементарные преобразования потоков (элементарные эффекты и процессы) способствующие реализации назначения ТС и связав эти преобразования в направлениях потоков, учитывая изменения преобразований на разных режимах работы ТС
 - 7.2. Оценить эффективность принципа действия, отметив малоэффективные и нерациональные преобразования потоков
 - 7.3. Выделить структуру причинно-следственных цепочек нежелательных эффектов ТС, отметив на динамической модели в направлениях потоков цепочки эффектов, не участвующих в принципе действия ТС.
8. Провести причинно-следственный анализ
 - 8.1. Провести диагностический анализ недостатков
 - 8.1.1. Уточнить связи целевых недостатков и для каждого определить логические и физические входы в причинно-следственную

структуру динамических моделей сформулированные в виде неадекватных свойств компонента, его неадекватного элементарного выходного потока или его преобразования

8.1.2. Прослеживая по причинно-следственной структуре потоки и их преобразования, порождающие каждый из отмеченных недостатков, определить неадекватно выполняемые преобразования, неадекватные свойства компонентов и их параметры, неадекватные сопряжения и их параметры по физическим связям, вплоть до ключевых при разных режимах работы, в частности:

- Сначала определяется проявление целевого недостатка.
- Затем выявляется его связь с динамическими моделями, выраженная в виде неадекватного элементарного выходного потока, его сопряжения или его преобразования, например в потребителе потока.
- Далее прослеживаются по причинно-следственной структуре связи - потоки - преобразования недостатки, порождающие выявленный недостаток. При этом определяются неадекватно выполняемые преобразования, а также неадекватные свойства компонента и его параметры (по функциональной модели), являющиеся их причинами.
- Потом анализируются связи потоков и преобразований в этом компоненте и, при их неадекватности, выявляется логическое ветвление причинно-следственной цепочки недостатков. Определяется неадекватная взаимообусловленность преобразований.
- Далее рассматриваются входные потоки, являющиеся основой отмеченных преобразований, и соответствующие им сопряжения. Определяются их неадекватные свойства и параметры. Эти потоки являются выходными для следующего анализируемого компонента.
- Описанный процесс анализа повторяется для всех компонентов в направлениях навстречу потокам, отмечая недостатки и их связи, строя причинно-следственные цепочки недостатков.

8.1.3. Построить причинно-следственную структуру цепочек недостатков, переформулировав выявленные недостатки преобразований в виде процессов, явлений, неадекватно выполняемых функций, и дополнив недостатками, выявленными при проведении потокового анализа

8.2. Определить причинно-следственные связи недостатков разных режимов работы. Проследить цепочки недостатков от целевого до ключевых при разных режимах работы. Составить перечень ключевых недостатков

- 8.3. Переформулировать ключевые недостатки или их проявления в ключевые задачи
9. Для ключевых задач сформулировать противоречия путем сопоставления выявленных недостатков и требований по их устранению на разных режимах работы.

8. ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ.

Автор с успехом использует анализ вещественно-энергетический преобразований технической системы в своей аналитической и изобретательской практике при выполнении консультационных проектов в ООО «Алгоритм», начиная с 1996 года [16]. Гипотеза универсальности динамических моделей для анализа различными инструментами ТРИЗ подтверждена на реальных примерах.

9. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.

Интерпретация технической системы и ее компонентов вещественно-энергетическими преобразователями позволяет отобразить физические процессы, проходящие в ней, и организовать единый подход к моделированию и анализу любых технических систем (конструкций, механизмов, устройств, технологических процессов). Логическое и физическое обоснование предложенных принципов моделирования и анализа, по мнению автора, позволяет сделать очередной шаг в развитии ТРИЗ как науки.

Предложенные подходы к моделированию и анализу технической системы, сведенные в единый алгоритм, позволяют не только усовершенствовать и скоординировать существующие методики, дополнив их новыми инструментами, но и наиболее полно исследовать техническую систему, осуществив постановку задач и организовав интерфейс между аналитическими и решательными инструментами ТРИЗ.

Модели вещественно-энергетических преобразований могут являться основой для известных инструментов: свертывание, диверсионный анализ, АРИЗ и т.д. По положительному опыту автора динамические модели являются основой для выполнения операций совершенствования и замены принципа действия на новый, в частности, на них достаточно просто производить свертывание преобразований и компонентов по схожим с известными правилами.

Модели вещественно-энергетических преобразований хорошо согласуются Законами развития [18] и могут являться основой для анализа и прогноза развития исследуемой технической системы. Примером может быть анализ и прогноз развития по «Закону повышения полноты частей системы», по «Закону повышения управляемости» и по «Закону вытеснения человека» на основе идеализированной функционально-полной модели технической системы [21].

Дальнейшее развитие предложенного подхода, возможно, позволит осуществить компьютерный синтез решений, например, с использованием продвинутого АРИЗ, ориентированного на вещественно-энергетические преобразования.

10. ЛИЧНЫЙ ВКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

Все предложения, описанные в разделе «Научная новизна исследования», являются личным вкладом соискателя.

11. НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная новизна исследования заключается в новых аналитических и решательных инструментах ТРИЗ, предложенных автором, а также в способе соединения этих инструментов в единую систему. В частности, автор считает новыми следующие конкретные предложения:

- Способ моделирования и анализа каждого компонента, как преобразователя веществ, энергий, сил и полей, на основе сформулированных Постулатов
- Способ построения и анализа динамической модели технической системы, являющейся моделью причинно-следственной структуры вещественно-энергетических преобразований, происходящих в технической системе
- Способ построения и анализа потоковых моделей при разных режимах работы на основе динамической модели
- Способ построения модели и анализа принципов действия на основе динамической модели
- Способ выявления недостатков компонентов и сопряжений на динамической модели
- Способ построения и анализа модели причинно-следственной структуры недостатков
- Интегральный Алгоритм построения моделей и анализа по ним технической системы, от исходной ситуации до постановки ключевых задач и формулирования противоречий.

12. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ.

Предложенные методики позволяют наиболее полно исследовать техническую систему и выявить ключевые задачи по ее совершенствованию. При некоторых навыках этот процесс может быть выполнен достаточно быстро даже для сложных систем. Моделирование рекомендуется проводить одному исследователю, поскольку процесс моделирования ведется последовательно, при котором все модели коррелированы и каждая последующая модель строится на основе предыдущей, углубляя физическую картину процессов.

Поэтому командная работа может быть осуществлена на этапах редактирования и анализа моделей, построения причинно-следственных цепочек недостатков и формулирования противоречий.

На базе моделей вещественно-энергетических преобразований могут быть построены математические модели физических процессов.

Предложенные алгоритмизированные методики, реализованные в программном продукте, по мнению автора могут стать мощнейшим инструментом анализа ТС, автоматически выводящим на ключевые задачи.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

1. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука М.: "Советское радио", 1979, с.122-127.
10. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Новосибирск, "Наука", 1986, с.59
11. Альтшуллер Г.С. АРИЗ – значит победа. АРИЗ-85В. – В кн.: Правила игры без правил. – Петрозаводск.: Карелия, 1989
12. Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В., Филатов В.И. Поиск новых идей: от озарения к технологии. – Кишинев: Картя Молдовеняска, 1989
13. Литвин С. С., Инструменты Определения "Правильных Задач" в методике G3:ID/ ТРИЗ Анализ. Методы исследования проблемных ситуаций и выявления инновационных задач, сост. Литвин С.С., Петров В.М., Рубин М.С., Библиотека Саммита Разработчиков ТРИЗ. Выпуск 1, Москва, 2007 г. ' 105 с. <http://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/TRIZ-summit2007.pdf>
14. Герасимов В.Н., Калиш В.С., Карпунин М.Г., Кузьмин А.М., Литвин С.С. Основные положения методики проведения ФСА/Методические рекомендации.- М.: Информ-ФСА, 1991, 40с.
15. Литвин С.С., Герасимов В.М. Основные положения методики проведения ФСА / Методические рекомендации, части 4 и 5. – Журнал ТРИЗ. - Обнинск: Протва-Прин, 1992, 3. 2 (№6)
16. Горяинов Л.Г. Анализ энергетических цепочек как метод совершенствования технических систем. – Журнал ТРИЗ. – Гомель: Интерцентр Веда, 1990, 1 (№2)
17. Матвиенко Н.Н. Энергетический анализ/Возможности применения энергетических понятий при структурном обследовании систем. – Журнал ТРИЗ. – Гомель: Интерцентр Веда, 1990, 1 (№2)
18. Кислов А.В. Функционально-поточковый граф/Рукопись. – С-Пб: ИМИЦентр, 1997, 4с
19. Пиняев А.М. Метод анализа и решения изобретательских задач с применением причинно-следственного анализа и Функциональных Подсказок. Автореферат диссертации на соискание звания ТРИЗ-Мастер, июль 2007г. www.matriz.ru/4spec/4-1-4/pinyaev-autoref.doc
20. Пиняев А. М. Поиск причин нежелательных эффектов в сложных технических системах. Сборник «Теория и практика обучения техническому творчеству», 21 – 27 мая, 1988, Челябинск, стр. 65-66.
21. Литвин С.С., Аксельрод Б.М. Методика построения причинно-следственных цепочек нежелательных эффектов/Рукопись. – С-Пб: ИМИЦентр, 1996, 4с.
22. Саламатов Ю.П. Система законов развития техники. Красноярск, 1996г.

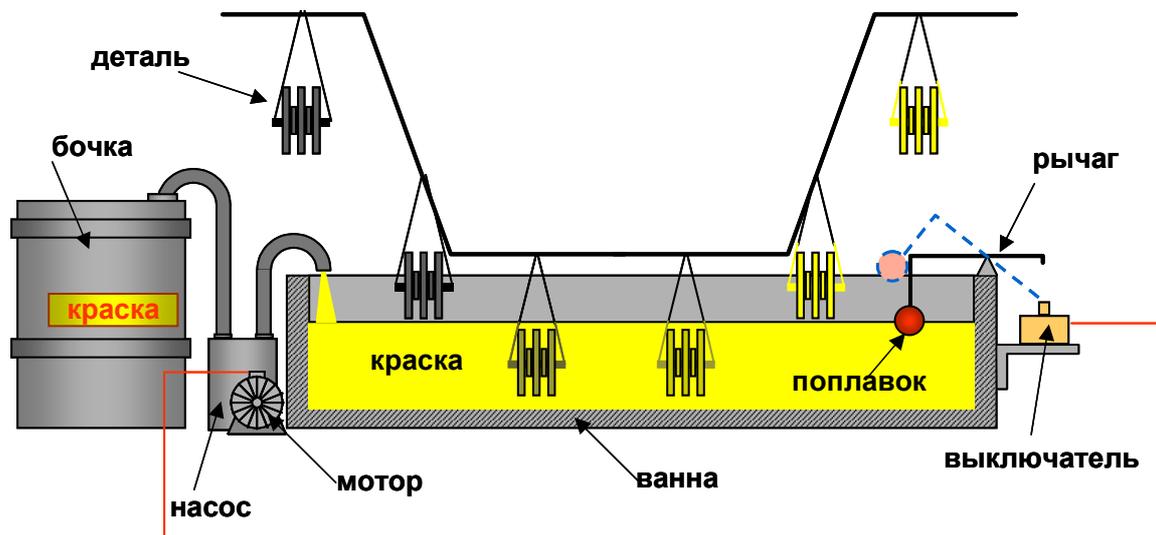
23. Ishikawa, Kaoru . Guide to Quality Control. Tokyo, Japan: Asian, Productivity Organization. 1968
24. Кашкаров А.Г. "Методика сквозного анализа, совершенствования и развития технической системы", материалы для служебного пользования ООО "Алгоритм" 1997, Лекции в МУНТР, С-Петербург, 1997г,1998г.
25. Кашкаров А.Г. "Законы Развития Технических Систем - следствия Законов Диалектики", тезисы доклада в материалах ТРИЗ конференции, Петрозаводск, 1999г,
<http://www.matriz.ru/4spec/4-2/kashkarov-ag/kag-works-1.html>
26. Кашкаров А.Г. "Законы Развития Технических Систем - следствия Законов Диалектики" стендовый доклад и тезисы доклада в материалах конференции "Инновационные технологии проектирования сегодня и завтра", С-Петербург, 1999г,
<http://www.matriz.ru/4spec/4-2/kashkarov-ag/kag-works-1.html>
27. Кашкаров А.Г. "Противоречия – движущая сила развития ТС", доклад и тезисы доклада в материалах конференции "Инновационные технологии проектирования сегодня и завтра", С-Петербург, 1999г,
<http://www.matriz.ru/4spec/4-2/kashkarov-ag/kag-works-2.html>
28. Кашкаров А.Г. "Методика построения и анализа потоковых моделей. Принцип действия – функционально-идеальная модель ТС", доклад и тезисы доклада в материалах конференции "Инновационные технологии проектирования сегодня и завтра", С-Петербург, 1999г,
<http://www.matriz.ru/4spec/4-2/kashkarov-ag/kag-works-3.html>
29. Кашкаров А.Г. "Структура функционально-полной модели ТС", доклад и тезисы доклада в материалах конференции "Инновационные технологии проектирования сегодня и завтра", С-Петербург, 1999г ,
<http://www.matriz.ru/4spec/4-2/kashkarov-ag/kag-works-4.html>
30. Паренчик Г.И. "Терминологический аспект ТРИЗ" // Глава 7. О системности в ТРИЗ, <http://www.metodolog.ru/00321/00321.html>
31. Гринь А.В. "Системные принципы организации объективной реальности" // Глава 2. Сущность и признаки системы / 2.2.5. Система - это потоковый преобразователь . - <http://www.metodolog.ru/00300/00300.html>
32. Любомирский А.Л. "[Закон повышения эффективности использования потоков вещества, энергии и информации](http://www.metodolog.ru/00816/00816.html)" Доклад, ТРИЗ-Саммит -2006,
<http://www.metodolog.ru/00816/00816.html>

ПРИЛОЖЕНИЕ. ДЕМОНСТРАЦИЯ ШАГОВ АЛГОРИТМА НА КОНКРЕТНОМ ПРИМЕРЕ

Ниже представлены иллюстрации фрагментов моделирования и анализа по шагам алгоритма.

Пример: Система подпитки окрасочной ванны

Целевой недостаток : переполнение окрасочной ванны краской



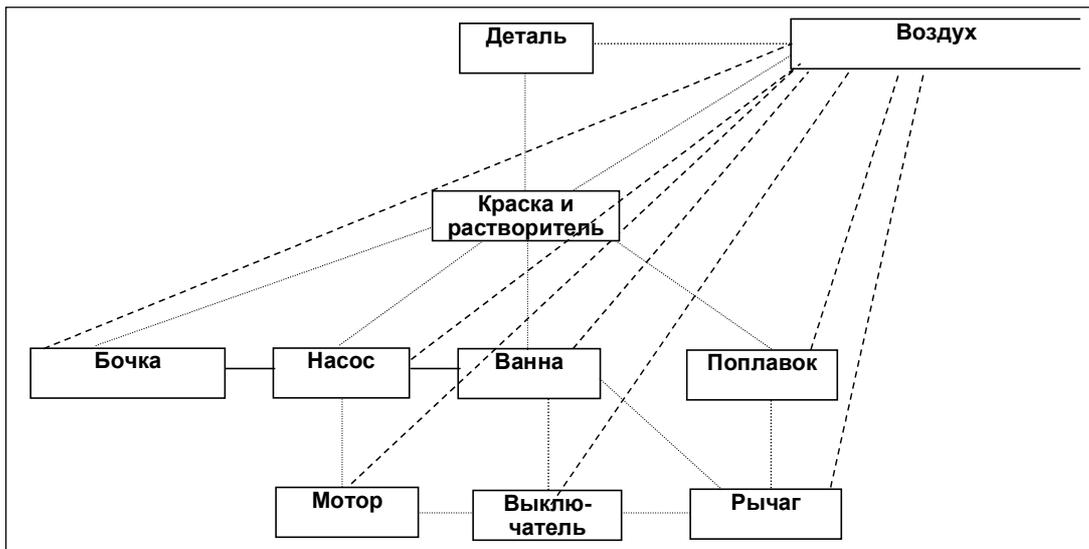
Фигура 9. Объект исследования - Система подпитки окрасочной ванны.
(Шаг 1.1)

Свойства Компонент	Габарит- ные	Механи- ческие	Хими- ческие	Пневма- тические	Гидрав- лические	Тепло- вые	Электри- ческие	Магнит- ные	Режим, состояние	Динами- ческие
Бочка	+									
Насос					+	+			2	Динам
Ванна	+				+					
Поплавок	+	+	+							Мобил.
Рычаг	+	+								Кинем.
Мотор		+				+	+		2	Динам.
Выключатель		+					+		2	Комм.
Краска	+		+		+	+			3	Поток
Воздух			+	+		+				
Деталь	+		+						2	Мобил.

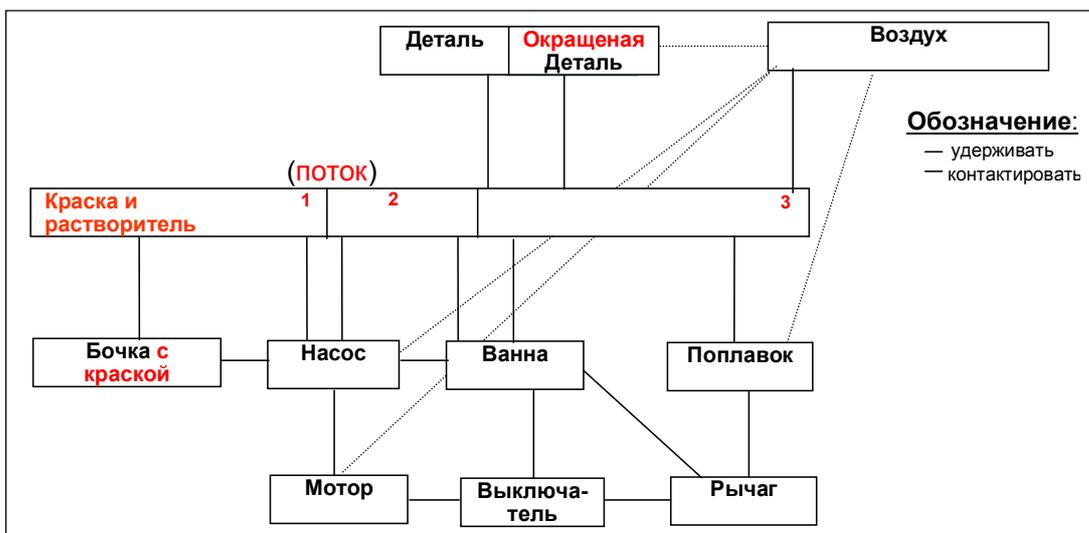
Фигура 10. Компонентная модель. Раскрытие сущности компонентов.
(Шаг 1.2 -1.3)

	Бочка	Насос	Ванна	Попла- вок	Рычаг	Мотор	Выклю- чатель	Краска	Деталь	Воздух
1 Бочка		+						+		+
2 Насос	+		+			+		+		+
3 Ванна		+			+		+	+		+
4 Поплавок					+			+		+
5 Рычаг			+	+			+			+
6 Мотор		+					+			+
7 Выключатель			+		+	+				+
8 Краска	+	+	+	+					+	+
9 Деталь								+		+
10 Воздух	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

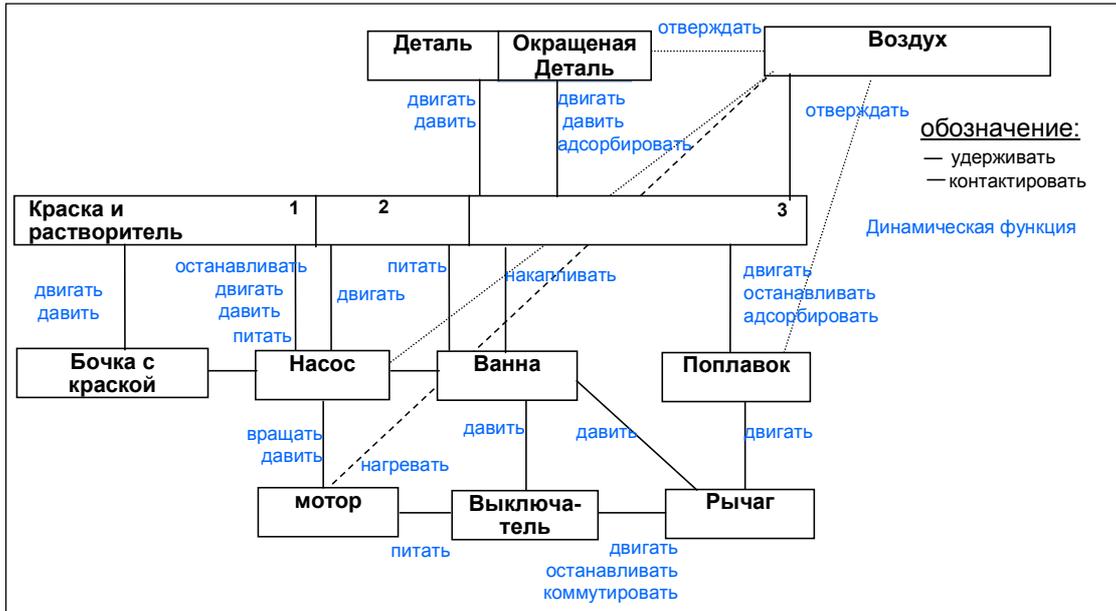
Фигура 11. Матрица взаимодействий. (Шаг 1.4)



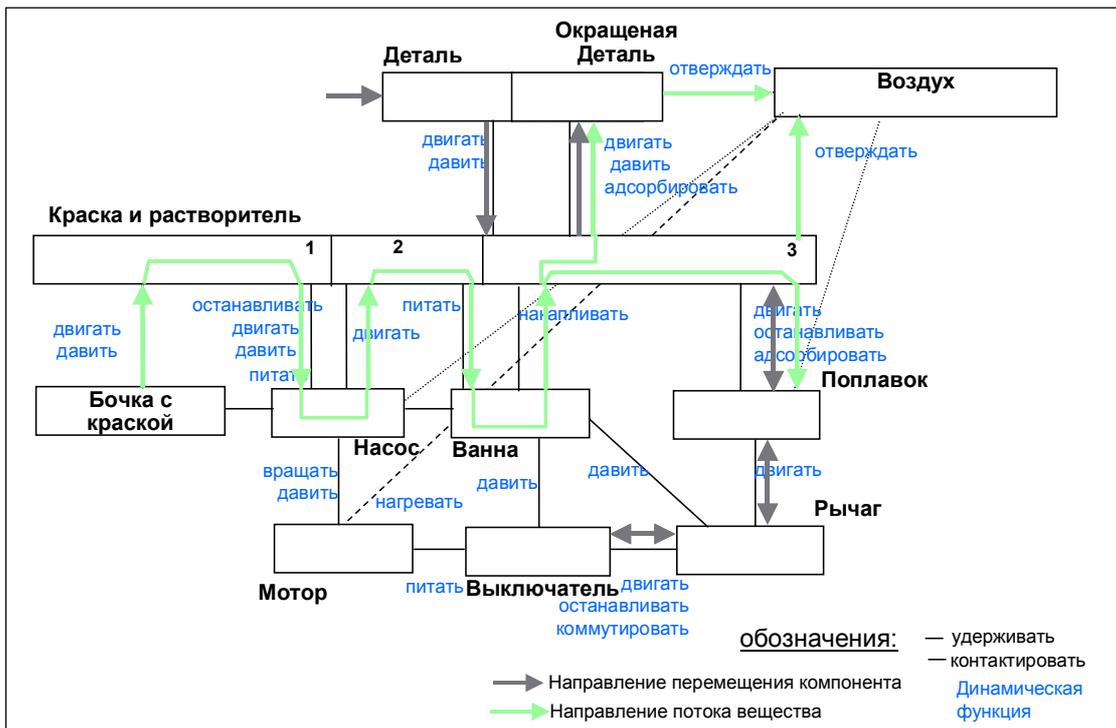
Фигура 12. Структурная модель. (Шаг 1.5)



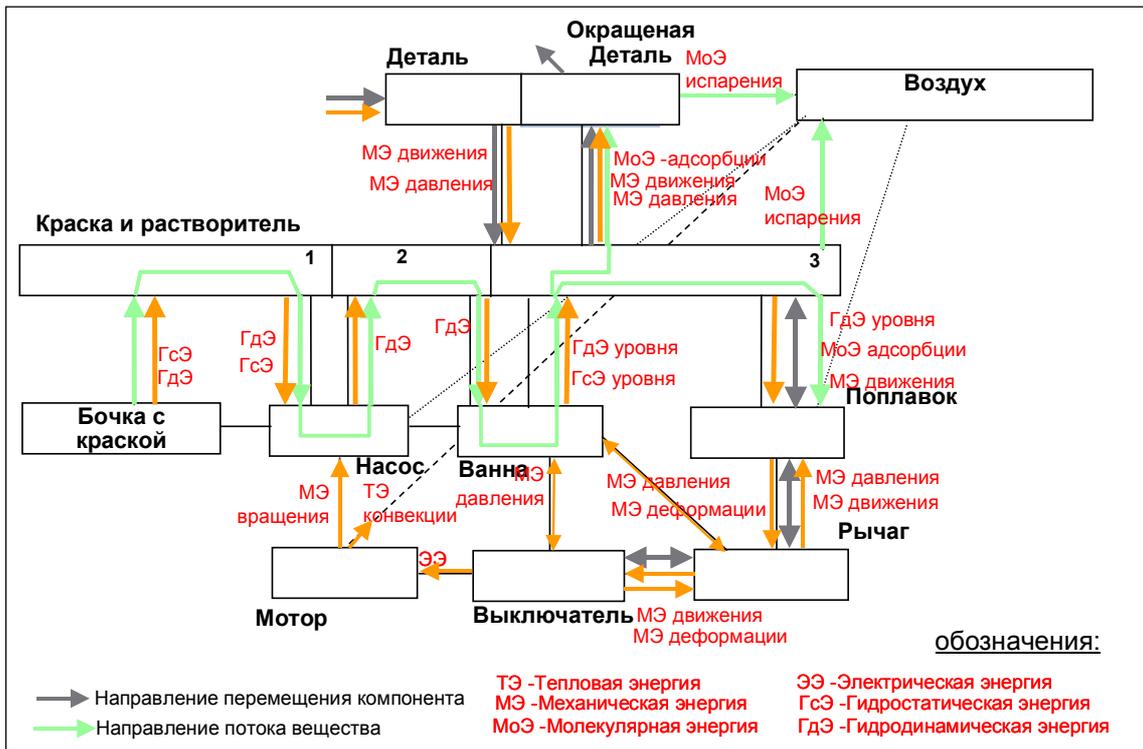
Фигура 13. Структурная модель. Графическое представление динамических объектов. (Шаг 1.6, 1.7)



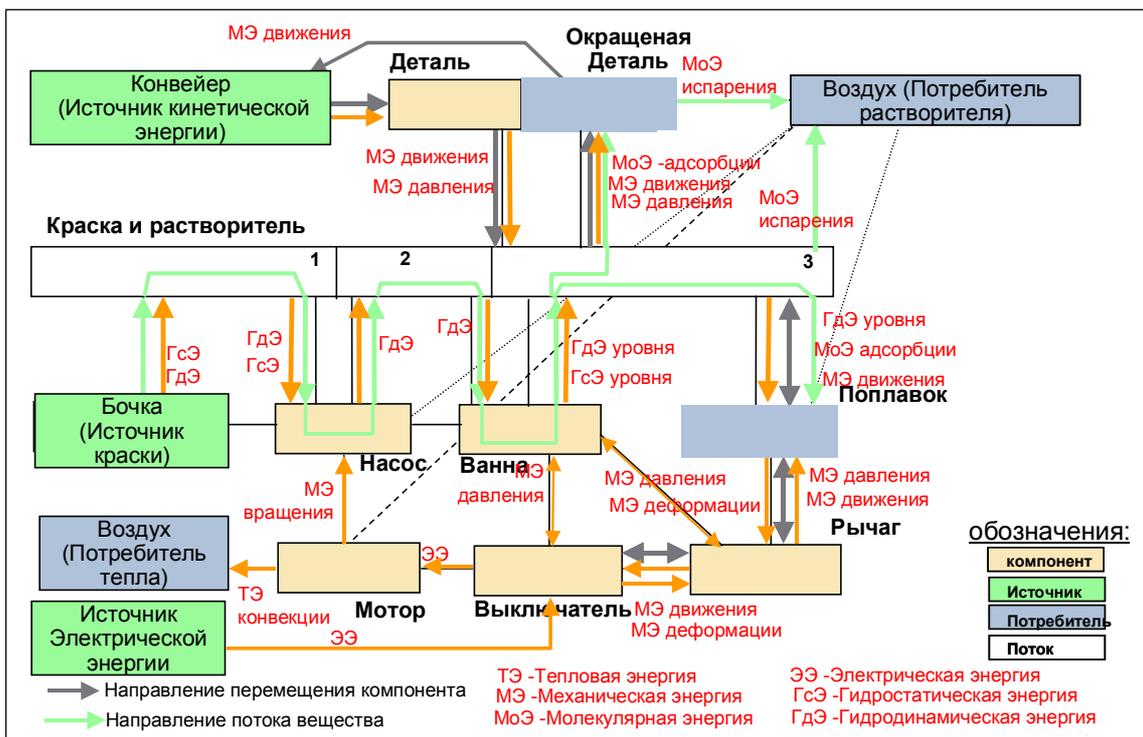
Фигура 14. Функциональная модель. (Шаг 2.1)



Фигура 15. Функциональная модель. Прослеживание потоков вещества и перемещений динамических компонентов. (Шаг 2.2)



Фигура 16. Интерпретация функций в терминах потоков. (Шаг 3.1, 3.2)



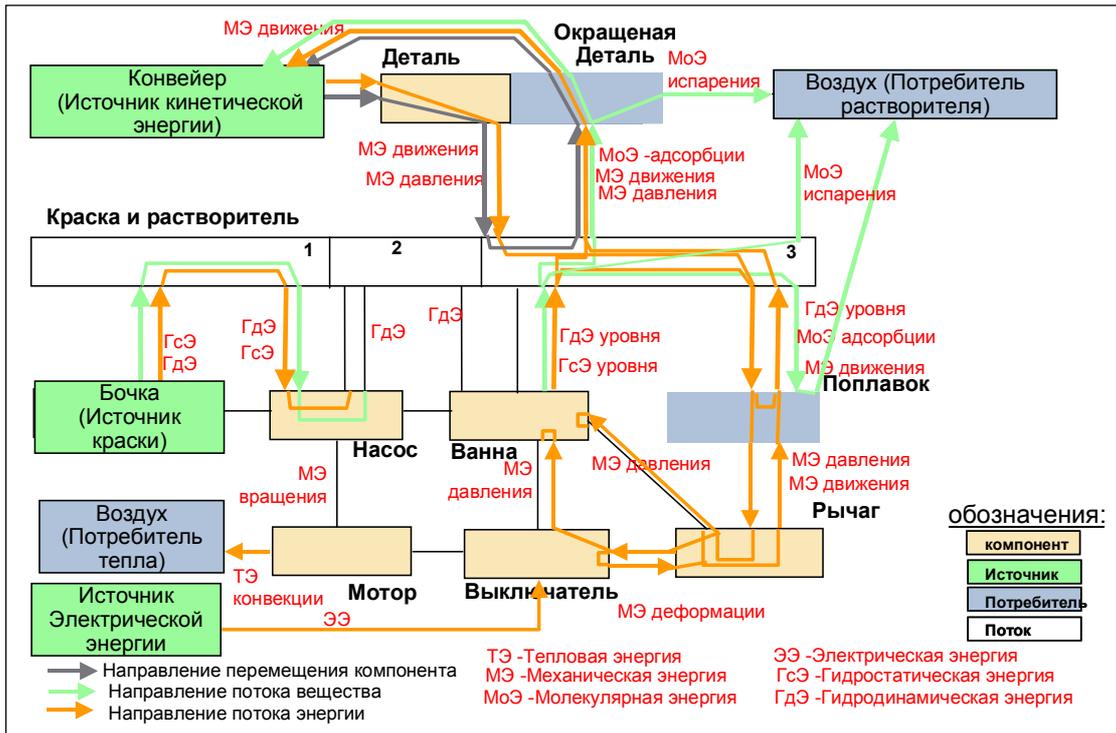
Фигура 17. Уточнение назначения компонентов . (Шаг 3.3)

Компонент-источник	Входной поток	Преобразование	Компонент-преобразователь	Выходной поток	Компонент-потребитель	Связь
Выключатель	электрическая энергия управления	Преобразовывать (при подпитке)	Мотор	механическая энергия вращения	Насос	}
Выключатель	электрическая энергия управления	Преобразовывать (при подпитке)	Мотор	тепловая энергия электрических потерь	Воздух	
Мотор	механическая энергия вращения	Преобразовывать (при подпитке)	Мотор	тепловая энергия механических потерь трения	Воздух	
Источник Электроэнергии	электрическая энергия	Коммутировать (при подъеме рычага)	Выключатель	электрическая энергия управления	Мотор	}
Рычаг	механическая энергия перемещения	Преобразовывать (при подъеме рычага)	Выключатель	механическая энергия электрической связи	Выключатель	
Рычаг	механическая энергия перемещения	Преобразовывать (при опускании рычага)	Выключатель	механическая энергия давления и деформации	Выключатель, Ванна	}
Ванна	механическая энергия давления и деформации	Передавать	Выключатель	механическая энергия давления и деформации	Рычаг	

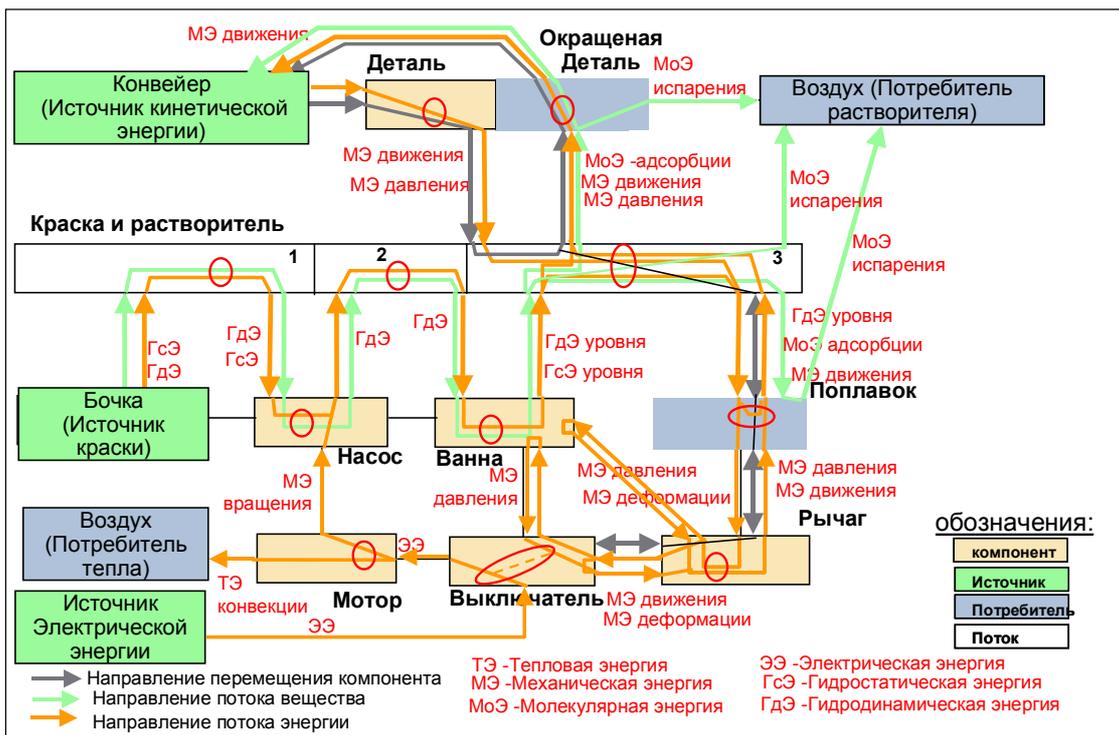
Фигура 18. Табличное представление динамической модели, фрагмент. (Шаг 4.1 - 4.3)

Компонент-источник	Входной поток	Преобразование (условия, особенность)	Компонент-преобразователь	Выходной поток	Компонент-потребитель	Связь
Краска 3	Механическая энергия уровня	Преобразовывать	Поплавок	Механическая энергия уровня	Рычаг	}
		Слежение за уровнем краски				
Краска 3	Механическая энергия движения	Преобразовывать	Поплавок	Механическая энергия движения	Рычаг	
		Отработка флуктуаций уровня краски				
Рычаг	Механическая энергия остановки	Преобразовывать	Поплавок	Механическая энергия уровня	Краска 3	
Краска 3	молекулярная энергия смачивания	Погружение Поплавка в краску (Притопление относительно уровня краски)		молекулярная энергия адсорбции	Поплавок краска	
		Окраска открытой поверхности Поплавка				
Поплавок	механическая энергия уровня	Преобразовывать (при контакте Рычага и Выключателя)	Рычаг	механическая энергия давления и деформации	Выключатель Ванна	
Поплавок	механическая энергия перемещения	Изгибающие усилия деформации Рычага, при упоре Рычага о Ванну	Рычаг	механическая энергия перемещения	Выключатель	
		Слежение за уровнем Поплавка				
Ванна	механическая энергия давления и деформации	Преобразовывать	Рычаг	механическая энергия давления и деформации	Выключатель Поплавок	
		Изгибающие усилия деформации Рычага при упоре Рычага о Ванну				

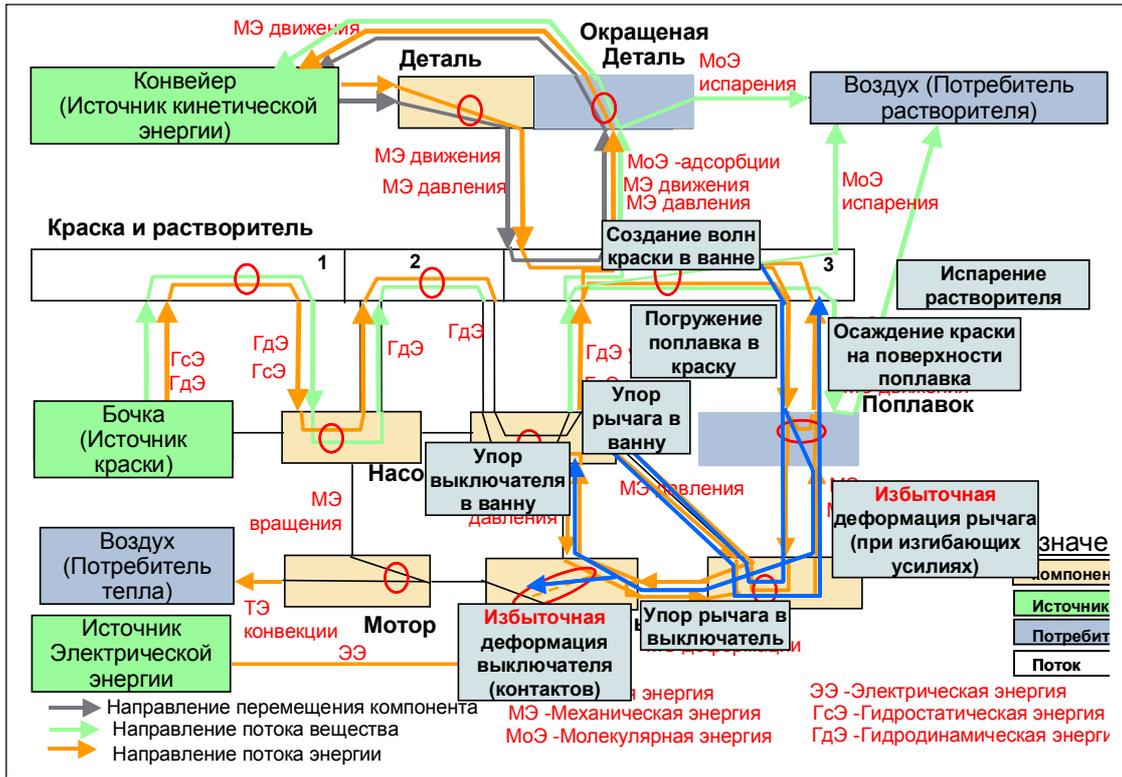
Фигура 19. Табличное представление динамической модели. Этап переформулирования процессов, фрагмент. (Шаг 4.4)



Фигура 20. Динамическая модель (режим без подпитки краской).
(Шаг 4.1-4.3)



Фигура 21. Динамическая модель, общая структура . (Шаг 4.4)



Фигура 22. Прослеживание фрагментов причинно-следственных цепочек недостатков на динамической модели (режим без подпитки краской). (Шаг 8.1)



Фигура 23. Фрагмент причинно-следственных цепочек недостатков. (Шаг 8.2- 8.3)