

Общественная организация «Саммит разработчиков ТРИЗ»



ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ

**Сборник научных трудов
Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ**

Выпуск 4

**Санкт-Петербург
20 июля 2011**

www.triz-summit.ru

Принцип действия систем / Сборник научных работ. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ. Выпуск 4. Санкт-Петербург, 2011. – 160 с.

Сборник научных статей «Принцип действия систем» предназначен для специалистов по ТРИЗ, инженеров, изобретателей, специалистов по инновациям и преподавателей по этим дисциплинам. Сборник включает актуальные разработки специалистов по ТРИЗ в области формирования и развития принципа действия систем как в технических, так и в нетехнических областях.

Статьи публикуются в авторской редакции.

Составители: М. С. Рубин, А. В. Кудрявцев, С. С. Литвин, В. М. Петров

© ТРИЗ Саммит, 2011

© М. С. Рубин, А. В. Кудрявцев, С. С. Литвин, В. М. Петров

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
СТАТЬИ И АННОТАЦИИ К ТРИЗ САММИТУ 2011	
<i>Ефимов А. В.</i> Описание принципа действия системы: до какого уровня детализации опускаться.....	5
<i>Злотин Б. Л., Зусман А. В.</i> Закономерности развития принципов действия технических систем	14
<i>Кайков И. К., Кайков О. И.</i> Исследование принципа действия (на примере зарождения ТС «телефон»).....	32
<i>Кашкаров А. Г.</i> Анализ принципа действия – инструмент постановки задач и совершенствования ТС	58
<i>Ключ В. Е.</i> Особенности тризовского подхода к анализу-описанию устройства (структуры) технических объектов	75
<i>Литвин С. С.</i> Принцип действия технической системы.....	76
<i>Логвинов С. А.</i> Алгоритм выявления принципа действия ТС на основе функционального и потокового анализа	80
<i>Петров В. М.</i> Определение принципа действия технической системы	87
<i>Пиняев А. М.</i> Определение и алгоритм выявления принципа действия технической системы на основе ее функционального анализа	109
<i>Рубин М. С.</i> О законе полноты выполнения принципа действия систем	118
<i>Соколов Е. Л.</i> Оценка целесообразности и особенности построения модели принципа действия технической системы	144
УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	158

ВВЕДЕНИЕ

«Саммит разработчиков ТРИЗ» – это общественная организация, созданная по инициативе исследователей в области ТРИЗ. Основная задача ТРИЗ Саммита – организовать взаимодействие разработчиков и исследователей в области развития ТРИЗ как науки. Деятельность Саммита разработчиков ТРИЗ связана с ежегодными научно-исследовательскими семинарами по ТРИЗ, которые проходят уже седьмой раз, начиная с 2005 года. Прообразом ТРИЗ Саммита стали деятельность Общественной лаборатории изобретательства (ОЛМИ) и научные семинары по развитию ТРИЗ, которые проходили в Баку и в Петрозаводске под руководством Г.С. Альтшуллера с 1973 по 1987 годы.

В работе конференций ТРИЗ Саммита за семь лет приняли участие специалисты по ТРИЗ из разных стран: России, США, Германии, Италии, Израиля, Нидерландов, Финляндии, Латвии, Южной Кореи, Тайваня, Эстонии, Беларуси, Украины, Молдовы и других стран.

В библиотеке Саммита разработчиков ТРИЗ с 2007 года выпущено четыре сборника материалов:

- 2007 год – ТРИЗ анализ. Методы исследования проблемных ситуаций и выявления инновационных задач;
- 2008 год – Развитие инструментов решения изобретательских задач;
- 2010 год – Методы прогнозирования на основе ТРИЗ;
- 2011 год – Принцип действия систем.

В настоящем сборнике представлены материалы, в которых рассмотрены актуальные разработки в области формирования и развития принципа действия систем, как в технических, так и в нетехнических областях. Работы, представленные в сборнике на русском языке в виде аннотаций, опубликованы в полном виде в сборнике на ТРИЗ Саммита 2011 года на английском языке и сайте www.triz-summit.ru.

Составители: М. С. Рубин А. В. Кудрявцев, С. С. Литвин, В. М. Петров
Июль 2011 г.

СТАТЬИ И АННОТАЦИИ К ТРИЗ САММИТУ 2011

Описание принципа действия системы: до какого уровня детализации опускаться

А. В. Ефимов

Аннотация

Основное внимание в статье уделяется не уточнению понятия «принцип действия», а размышлениям о том, «на каком уровне обобщения (абстракции) и с каких аспектных сторон» этот принцип должен описываться в каждом конкретном случае.

Второй вопрос, которому посвящена статья, – рассмотрение этих самых конкретных случаев. Иными словами – это попытка ответа на вопрос, зачем нужно знание принципа действия системы и насколько при этом важна точность формулировки самого понятия. Возможно, для каждого конкретного случая и сама формулировка может иметь некоторые особенности.

Для полноты освещения заявленной темы в статье дается и вариант формулировки понятия «принцип действия»: «ПД – это особенности взаимодействия элементов системы друг с другом и с надсистемой, которые (особенности) обеспечивают рассматриваемые Главные Параметры Ценности (MPV) системы».

С учетом приведенного варианта формулировки выбор уровня детализации и самих деталей, включаемых в формулировку принципа действия для рассматриваемой системы, будет, прежде всего, определяться следующими факторами:

– Рассматриваемый в данном конкретном случае набор МПВ системы: нас будут интересовать только те взаимодействия и тех подсистем, которые обеспечивают рассматриваемые МПВ;

– Круг и уровень альтернативных систем, с которыми мы сравниваем рассматриваемую систему, говоря о ее особенностях.

Ключевые слова: Принцип действия, Главные Параметры Ценности (MPV).

Введение

Понятие «Принцип действия» у меня лично всегда ассоциировалось с описанием того, «как это работает». Такие описания раньше были в документации на любое техническое средство.

Поэтому вопроса о том, как в целом формулировать принцип действия системы, у меня никогда не возникало. Проблема часто была в том, насколько подробным должно быть это описание, на какой степени детализации следует остановиться.

Поэтому основное внимание в статье уделяется не уточнению понятия «принцип действия», а размышлениям о том, «на каком уровне обобщения (абстракции) и с каких аспектных сторон» этот принцип должен описываться в каждом конкретном случае.

Второй вопрос, которому посвящена статья, – рассмотрение этих самых конкретных случаев. Иными словами – это попытка ответа на вопрос, зачем нужно знание принципа действия системы и насколько при этом важна точность формулировки самого понятия. Возможно, для каждого конкретного случая и сама формулировка может иметь некоторые особенности.

Формулировка принципа действия

Не претендуя на полноту и завершенность формулировки, я бы определил понятие «принцип действия» как «особенности взаимодействия элементов системы друг с другом и с надсистемой, которые (особенности) обеспечивают рассматриваемые Главные Параметры Ценности (MPV) системы».

То есть при формулировке принципа действия последовательно описываются функции, выполняемые элементами системы относительно друг друга и элементов надсистемы, а также функции, выполняемые надсистемой относительно элементов системы.

При этом в описание принципа действия имеет смысл включать не все такие функции, а лишь те из них, которые:

- обеспечивают выполнение интересующих нас в данном случае МПВ системы;
- описывают особенности рассматриваемого объекта, то есть характерны только для рассматриваемой в каждом конкретном случае системы или группы (класса) систем и тем самым отличают этот объект от всех остальных.

Таким образом, описание принципа действия одной и той же системы может существенно меняться как по объему, так и по рассматриваемым функциям, в зависимости от того, насколько узко или широко выбраны рамки рассмотрения этой системы (с какими системами она сравнивается), и от того, с точки зрения каких МПВ система рассматривается.

Например, если в данном проекте речь идет о мощности двигателя, то рассмотрение принципа его действия должно вестись прежде всего с точки зрения особенностей, обеспечивающих именно этот параметр, а если речь идет, скажем, о шумности или экономичности, то описание принципа действия того же двигателя может быть уже несколько другим.

Точно так же и описание принципа действия одного и того же самолета будет существенно зависеть от того, говорим ли мы о нем как о «летательном аппарате тяжелее воздуха», или как о штурмовике, или как о конкретной модели, обладающей наилучшими показателями скорости, маневренности и огневой мощи.

Зачем нужно знание принципа действия и как от этого зависит формат его описания

Объем и содержание описания принципа действия может существенно зависеть от того, для каких целей это описание составляется. Ниже приводится иллюстративный, а потому не претендующий на полноту обзор

таких возможных целей и особенностей описания принципа действия для каждой из них.

Грамотное обслуживание и ремонт технической системы

Для того чтобы грамотно эксплуатировать техническую систему, полезно бывает представлять ее устройство и принцип действия. Особенно эти знания важны при ремонте системы.

В этом случае описание принципа действия должно быть наиболее подробным, вплоть до описания действия всех значимых подсистем и с учетом всех возможных режимов работы и всех МПВ системы.

Это положение было достаточно актуально в недалеком прошлом, когда сеть обслуживания была слабо развита и домашние мастера-умельцы сами выполняли большую часть работ по ремонту бытовой техники, легковых автомобилей и пр.

В то время, например, легковой автомобиль обязательно снабжался подробным описанием устройства и принципа действия всех подсистем, обеспечивающих выполнение самых различных функций, включая обогрев салона, очистку ветровых стекол и т. д.

В настоящее время с повышением доступности сервисных услуг и одновременно с повышением сложности бытовой техники необходимость в подобных подробных описаниях заметно уменьшается, поэтому в документации бытовых изделий и приборов описание принципа действия можно найти все реже.

Таким образом, для рассматриваемого в этом параграфе круга задач строгого определения понятия «принцип действия» не требуется. Оказывается вполне достаточным интуитивного понимания, которое позволяет в каждом конкретном случае определять глубину и содержание описания принципа действия в зависимости от конкретной ситуации.

При этом недостаточно детальное описание принципа действия может просто не дать ответа на возникший практический вопрос, а слишком подробное описание лишь будет неоправданно громоздким.

Повышение эффективности функционирования системы

Для того чтобы усовершенствовать систему, нужно, в частности, понять, что в настоящий момент в ней работает неудовлетворительно. Поэтому для начала нужно разобраться, как эта система вообще работает, то есть понять ее принцип действия.

При этом если известно, какой конкретно параметр в системе необходимо улучшить, то при определении принципа действия нас будут интересовать только такие его особенности, которые влияют на этот параметр.

Так, если нужно улучшить, скажем, экономичность автомобиля, мы будем рассматривать принцип действия его двигателя, системы топливо- и воздухоподготовки, газовыхлопа.

А если нужно повышать безопасность, то эта работа начнется, очевидно, с анализа принципа действия существующих активных и пассивных средств безопасности установленных на объекте исследования.

При этом степень детализации в описании указанных систем опять-таки будет определяться тем, говорим ли мы о конкретной марке автомобиля или о каком-то классе автомобилей в целом: для конкретного автомобиля описание скорее всего будет более детальным.

Для решения задач, рассматриваемых в этом параграфе, оказывается достаточным общего понимания понятия принцип действия. Так же, как и в предыдущем случае, введение единой жесткой формулировки этого понятия тоже вряд ли требуется.

Сравнение нескольких систем для выбора наиболее эффективной (Бэнчмаркинг)

Часто описание принципа действия конкретного изделия или группы изделий, входящих в некий вид или класс, создается для того, чтобы

выделить это изделие или группу из массы похожих изделий или групп. В этом случае нет смысла описывать одинаковые для всех систем составляющие принципа действия, а целесообразно сконцентрироваться именно на отличительных чертах каждой системы/группы.

При этом, чем более похожи друг на друга системы входящие в рассматриваемую группу, тем более детальным будет рассмотрение отличительных черт, особенностей принципа действия такой группы. Чем больше эти различия между изделиями входящими в группу, тем на более высоком уровне должен описываться принцип действия такой «разношерстной» группы.

Например, если мы говорим о принципе действия самолета, как очень широкого класса технических средств, включающего в себя самые различные подклассы, то укажем, что это летательный аппарат тяжелее воздуха, отличающийся от остальных таких аппаратов тем, что подъемная сила в нем создается за счет обтекания крыла специального профиля воздушным потоком, набегающим при движении самолета за счет тяги, создаваемой неким двигателем/движителем.

Если же мы описываем более узкий подкласс, например турбореактивный самолет, то описывая его принцип действия, наверное, целесообразно отметить, что этот подкласс относится к классу самолетов и отличается тем, что тяга создается особым видом двигателей, в которых... и т. д.

Вряд ли жесткая формулировка понятия «принцип действия» нужна и для этого класса задач, так как часто оказывается полезным сравнивать системы и по таким параметрам, которые, скорее всего, остаются за рамками определения принципа действия, например используемые материалы, размеры и многие другие.

Прогноз о целесообразности изменения принципа действия системы или ее совершенствования в рамках существующего принципа действия

Этот круг задач близок по своей сути к задачам о повышении функционирования системы. Основная разница заключается в том, что если в задачах о повышении эффективности мы определяем, что нужно изменить в системе, чтобы ее улучшить требуемым образом, то в прогнозе мы оцениваем, будут ли требуемые изменения лежать в рамках существующего принципа действия, или выйдут за его пределы.

Именно в силу этой особенности, рассматриваемый в данном параграфе круг задач является, пожалуй, единственным, для которого строгая формулировка понятия «принцип действия» действительно могла бы потребоваться.

Особенностью этого случая является то, что от того, насколько детально составлено описание принципа действия, напрямую зависит результат прогноза.

Так, если описание принципа действия составлено на самом верхнем уровне, то, скорее всего, рассматриваемую систему можно серьезно усовершенствовать, не меняя тех немногих самых общих отличительных особенностей, которые вошли в это описание. В этом случае прогноз даст вывод, что «принцип действия системы менять не надо».

Если же описание принципа действия той же системы составлено слишком детально, то практически любое изменение в ней уже выйдет за рамки, очерченные таким описанием. В этом случае вывод будет прямо противоположный: «систему в рамках рассматриваемого принципа действия улучшить нельзя».

С учетом этой особенности, определение понятия «принцип действия» должно совершенно однозначно определять глубину и рамки его рассмотрения.

В противном случае для исключения разночтений необходимо выводы по прогнозу о целесообразности изменения принципа действия системы или ее совершенствования в рамках существующего принципа действия в обязательном порядке сопровождать конкретной формулировкой принципа действия, на основании которой этот прогноз составлен.

Такая же подробная формулировка принципа действия рассматриваемой системы неизбежно должна сопровождать прогноз развития этой системы, если он составлен не «для внутреннего пользования», а для передачи третьим лицам, которые совсем не обязательно в совершенстве знают, какой смысл мы договорились вкладывать в понятие «принцип действия».

Такое неизбежное сопровождение прогноза подробным описанием принципа действия, для которого он составлен, существенно понижает степень важности принятия единой строгой формулировки самого понятия.

За рамками обсуждаемой темы остается другой аспект, связанный с задачей, рассматриваемой в данном параграфе. В связи с важностью этого вопроса хотелось бы коротко его осветить.

Речь идет о практической ценности самой рекомендации совершенствовать систему, не меняя ее принципа действия, или наоборот вывода о том, что принцип действия системы нужно менять.

Насколько полезна и безопасна рекомендация «не менять принцип действия рассматриваемой системы»

Допустим, нам удалось:

- разработать правило формулирования принципа действия системы, не допускающее никаких разночтений;
- на основании этого правила дать четкое описание принципа действия рассматриваемой системы;

- для полученного принципа действия определить пределы развития системы.

Оставляя за рамками данной статьи практические сложности, связанные с каждым из перечисленных шагов, оценим лишь возможные последствия рекомендации «совершенствовать систему в рамках существующего принципа действия».

Главная проблема состоит в том, что один только факт наличия у рассматриваемого принципа действия больших значений предела развития совсем не означает, что альтернативные принципы действия не позволят выйти на лидирующие позиции с меньшими затратами ресурсов и в более короткое время.

Поэтому совершенствование системы в рамках сформулированного принципа действия совершенно не гарантирует быстрого и легкого пути, равно как и переход к новому принципу действия не означает сам по себе больших затрат времени и финансов.

Поэтому прогноз развития системы в рамках ее принципа действия представляется задачей весьма рискованной.

Выводы

Проведенный обзор основных типов задач, решение которых так или иначе может быть связано с описанием принципа действия системы, не выявил случаев, для которых наличие строгой однозначной формулировки самого понятия «принцип действия» было бы принципиально важно.

Это наблюдение в целом согласуется с мнением автора по поводу целесообразности повышения строгости формулировок и алгоритмов в ТРИЗ, которое заключается в том, что попытки зажать живой творческий процесс в узкие рамки строгих формулировок и жестких алгоритмов может лишь повредить творчеству.

Закономерности развития принципов действия технических систем

Злотин Б. Л., Зусман А. В.

Введение

В середине семидесятых Генрих Альтшуллер, создатель теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), предложил новый подход к изобретательству, основанный на использовании Законов Развития Технических Систем¹. Одним из наиболее важных элементов этого подхода стал анализ развития системы по ее S-кривой (рождение, детство, быстрый рост, стабилизация или загиб) и определение будущего развития в зависимости от ее существующего положения. В последующие четыре десятилетия этот подход и информационные фонды для его поддержки были существенно расширены, включая выявление дополнительных законов и многочисленных Линий развития².

В то же время многие вопросы, связанные с анализом S-кривых, все еще требуют решения, например, сколько S-кривых может иметь система на протяжении ее жизненного цикла³, являются разные кривые параллельными или последовательными, каковы отношения между главной S-кривой и кривыми для ее подсистем и т. д. На многие из этих вопросов ответы могут быть получены за счет введения более точных определений, в частности, уточнения определения принципа действия технических систем.

¹ Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М., Советское Радио, 1979.

² *TRIZ in Progress*. Ideation International Inc., 1999.

³ Например, принадлежат ли моноплан и биплан, поршневой, реактивный, турбореактивный и т. п. самолеты к одной или разным S-кривым?

Определения и предпосылки

Система, имя системы, главная функция и принцип действия

Мы определяем систему как продукт, процесс, технологию и т. п., предназначенную для выполнения определенной *главной функции* для удовлетворения определенной *потребности (цели)*. *Имя системы* может быть достаточно общим, охватывающим множество вариаций (летательный аппарат), или более специальным (вертолет). В соответствии с этим главная функция тоже может быть более или менее общей или узкой. Главная функция системы реализуется с помощью определенного *принципа действия*. Как правило, функция может быть реализована более чем одним путем; в этом случае для каждого принципа действия может существовать своя система (самолет, вертолет и дельтаплан работают на разных принципах, в то время как их главная функция – летать – одна и та же).

Жизненный цикл, генерации и эволюционные ресурсы системы

Как было указано выше, типичный *жизненный цикл* системы может быть представлен в виде ее S-кривой. Мы предполагаем, что создание новой системы (начало S-кривой) открывает новые *эволюционные ресурсы*, которые позволяют развивать эту систему за счет их постепенного включения в использование. Когда эволюционные ресурсы исходной концепции полностью использованы, развитие системы в данной концепции прекращается.

Мы также предполагаем, что мы имеем дело с одним жизненным циклом развития системы при условии, что ее главная функция сохраняется, в особенности, если она отражена в названии системы (например, рефлекторный или зеркальный телескоп). Как было указано выше, жизненный цикл системы может быть расширен, если мы выберем более общее название (например, жизненный цикл летательных аппаратов существенно богаче событиями (и генерациями), чем самолета).

Под *генерацией системы* мы понимаем участок жизненного цикла, который может быть описан своей S-кривой в пределах одной парадигмы и базируется на одном и том же принципе действия. Очевидно, что жизненный цикл одной системы может включать несколько генераций.

Главные шаги эволюции системы и ее принципа действия

Шаг 1 – Поиск принципа действия проектируемой системы

Новая многообещающая система возникает, когда появляются два условия: рыночный спрос и технология, которая может обеспечить ее производство. Обычно, эти условия появляются одновременно (в одних случаях спрос в наличии, но нет технологии, но может быть и наоборот); в то же время, одно условие может стимулировать появление другого. Из истории техники хорошо видно, что если имеется некоторый потенциальный спрос (на полеты, на коммуникации и т. п.), то как только появляются технологии, способные в принципе реализовать эту потребность, начинается поиск конкретных принципов действия, которые могут быть положены в основу выполнения главной функции новой системы. Например, какой тип двигателя использовать в летательном аппарате – паровой, внутреннего сгорания или, возможно, реактивный⁴? Период поиска и выбора может быть довольно долгим, особенно когда речь идет о реализации такой давней мечты, как полет.

Принцип действия технической системы является основным элементом следующей цепочки: принцип действия – функция системы – характеристики системы – полезность системы. Во многих случаях, принцип действия тоже может быть описан в виде цепочки, включающей ряд эффектов – физических, химических и т. п. преобразований. Например, работа двигателя внутреннего сгорания включает непосредственно сгорание топлива (химический эффект), расширение газа,

⁴ Первый самолет с реактивным двигателем взлетел в 1910 году, всего через 7 лет после первого полета братьев Райт.

возвратно-поступательное движение поршня, преобразование возвратно-поступательного движения во вращение коленчатого вала (все механические эффекты). Эта цепочка достаточно сложна, для лучшего понимания процесса можно рекомендовать представить ее в графическом виде, например, используя компьютерный модуль Problem Formulator® (Рис. 1).

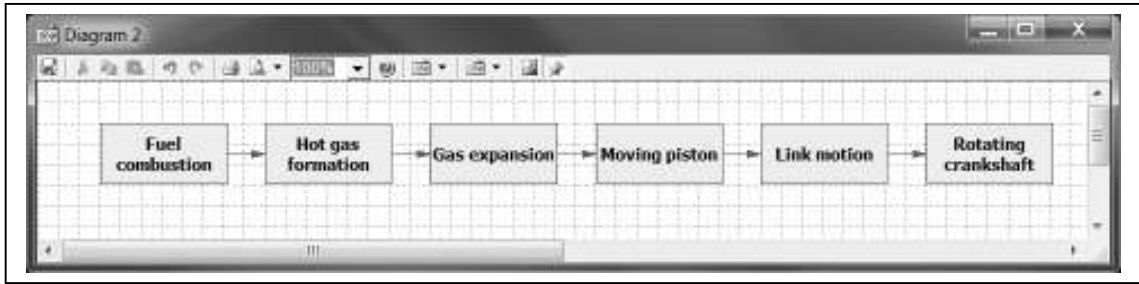


Рис. 1. Цепочка эффектов, описывающая принцип действия двигателя внутреннего сгорания⁵

Полное описание процессов в цепочке очень важно, потому что каждый дополнительный элемент представляет преобразование энергии со своими потерями (некоторые из них показаны на Рис. 2).

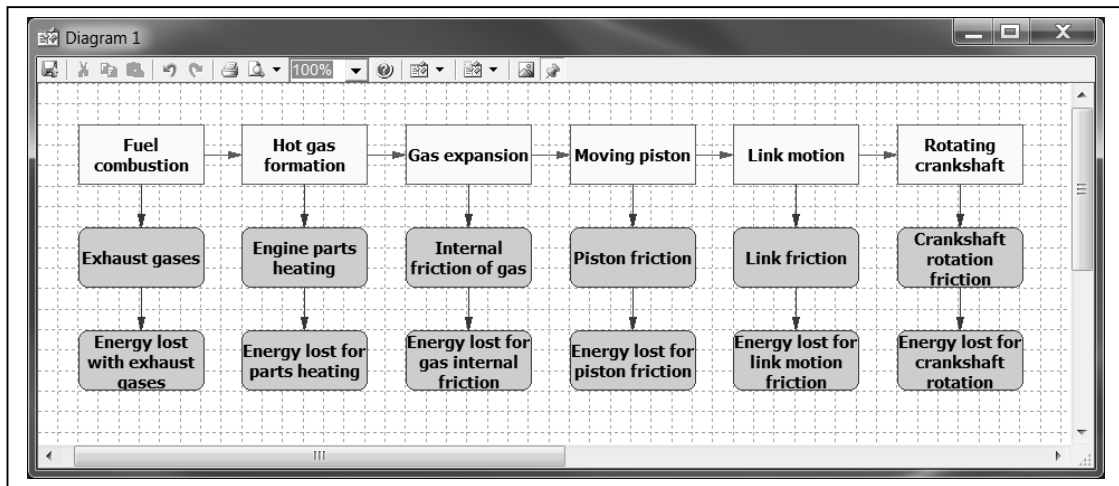


Рис. 2. Цепочка эффектов с энергетическими потерями

⁵ Эта диаграмма только для иллюстрации. В реальности в таких диаграммах гораздо больше деталей, включая различные элементы, участвующие в работе двигателя, и их параметры.

В ситуации выбора подходящего принципа действия для новой системы сравнение возможных потерь энергии для разных вариантов и, соответственно, их эффективности может иметь критическое значение для окончательного решения.

Для работоспособных принципов действия создаются прототипы для испытаний, что знаменует собой рождение новой системы. Часто на этой стадии новая система создается по принципу «монстра»⁶, когда система собирается из имеющихся «элементов» или «модулей», выбранных для реализации каждого звена ранее описанной цепочки эффектов (или функций).

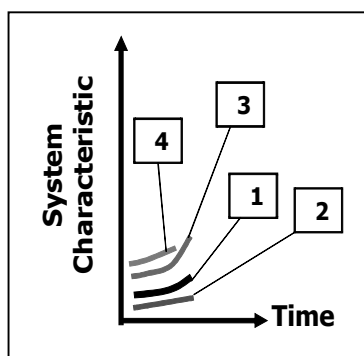


Рис. 3. Различные системы, основанные на разных принципах действия, конкурируют на старте

Работоспособность прототипов на этом этапе оставляет желать лучшего, особенно если законы полноты и свободного прохождения энергии в системе не соблюдены⁷. На этом этапе все более или менее работоспособные принципы подвергаются проверке на соответствие общему уровню техники (возможность реализации, промышленного производства).

⁶ Для каждого звена выбирается наилучший вариант реализации. Однако, поскольку разные звенья не были предназначены для совместной работы, конструкция системы будет далека от оптимальной. Потом применяется процесс идеализации, включая согласование, свертывание и т. п.

⁷ Законы из первого набора, предложенного Г.С. Альтшуллером в 1975 году.

Шаг 2 – Отбор на соответствие уровню техники

В результате отбора одни принципы действия оказываются приемлемыми, в то время как другие отвергаются.

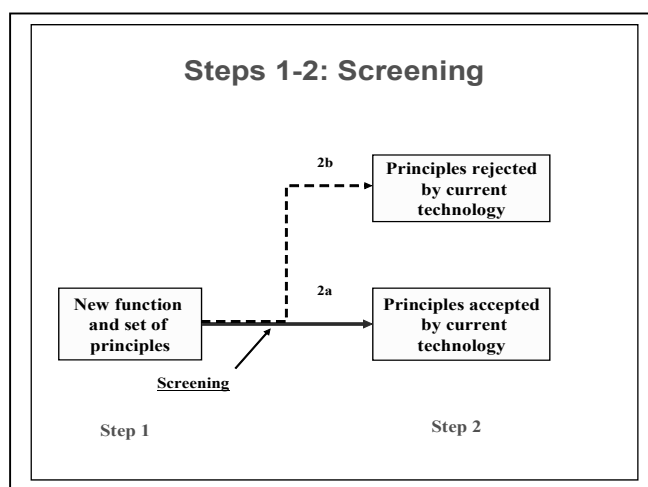


Рис. 4. Отбор на соответствие уровню техники

Один из отобранных принципов обычно оказывается предпочтительным. Например, хотя дальнейшее развитие показало, что у реактивных двигателей было много преимуществ, общий уровень техники не мог обеспечить их широкое внедрение в начале XX века. В результате, победителем на этом шаге оказался двигатель внутреннего сгорания.

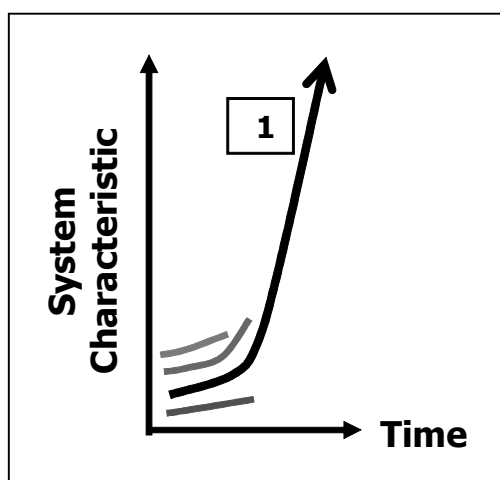


Рис. 5. Система, использующая принцип действия 1, выигрывает

В других случаях несколько принципов могут оказаться приемлемыми, на базе каждого создается своя система, эти системы теперь начинают конкурировать.

Шаг 3 – Конкуренция

Обычно в результате конкуренции на рынке остается несколько «взрослых» систем⁸, одна из которых занимает доминантное положение (#1 на Рис. 6); по крайней мере одна система – главный конкурент («взрослая» система #2) и одна (или больше) «молодая» система (#3). Причина, по которой количество «игроков» обычно невелико, проста: ограниченность финансовых и человеческих ресурсов в обществе. Как только одна или (редко) несколько систем доказали свою высокую полезность, эти ресурсы уходят к ним, оставляя очень мало менее удачливым.

Причины, по которым какие-то «молодые» системы все-таки выживают, в каждом случае вполне уникальны, но имеют одну общую природу: огромная личная заинтересованность и вера в успех отдельных энтузиастов, случайная финансовая поддержка, просто удача и т. п.⁹ В отдельных случаях молодая система как-то «проскользнула» через строгий отбор, в других это может быть одна из «отвергнутых» или появившаяся позднее в результате нового изобретения (Рис. 4).

⁸ Здесь мы говорим о системах, которые достигли «состояния зрелости» как этапа развития по S-кривой.

⁹ Сегодня некоторые страны или общества могут распределять ресурсы для достижения специальных целей (изобретательские инкубаторы, гранты на исследования и т. п.). Однако шансы привлечь серьезное внимание инвесторов или государственных органов достаточно слабы, пока главенствующая парадигма не исчерпает себя.

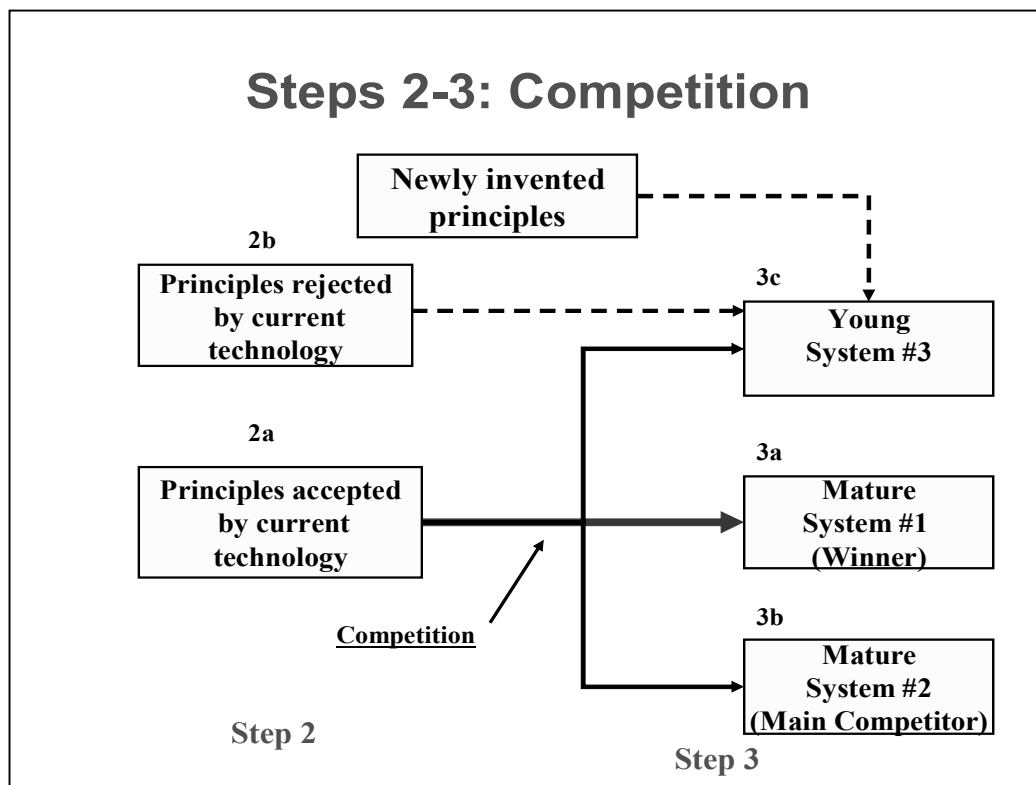


Рис. 6. Конкуренция

Шаг 4 – Гибридизация

Как только «главные игроки» определились и продемонстрировали свои преимущества и недостатки, наступает время создания различных комбинаций – гибридизации. Подобно биологической гибридизации, этот процесс состоит в создании жизнеспособных гибридов, объединяющих наиболее полезные черты систем-«родителей»¹⁰. На сегодня выявлен ряд наиболее эффективных способов гибридизации¹¹, однако с эволюционной точки зрения наиболее интересными является создание «Буксирующих» и «Альтернативных» бисистем (Рис. 7).

¹⁰ Объединение конкурирующих систем было впервые описано Б. Злотиним в 1984 году [3]. В конце восьмидесятых годов В. Герасимов и С. Литвин разработали первую пошаговую процедуру для построения альтернативных систем [4]. Позднее В. Герасимов вместе с В. Прушинским и Г. Зайниевым предложили использовать термин «гибридизация», подчеркивающий аналогию с биологической эволюцией [5].

¹¹ Наиболее подробный список возможностей можно найти в Ideation Directed Evolution ® software.

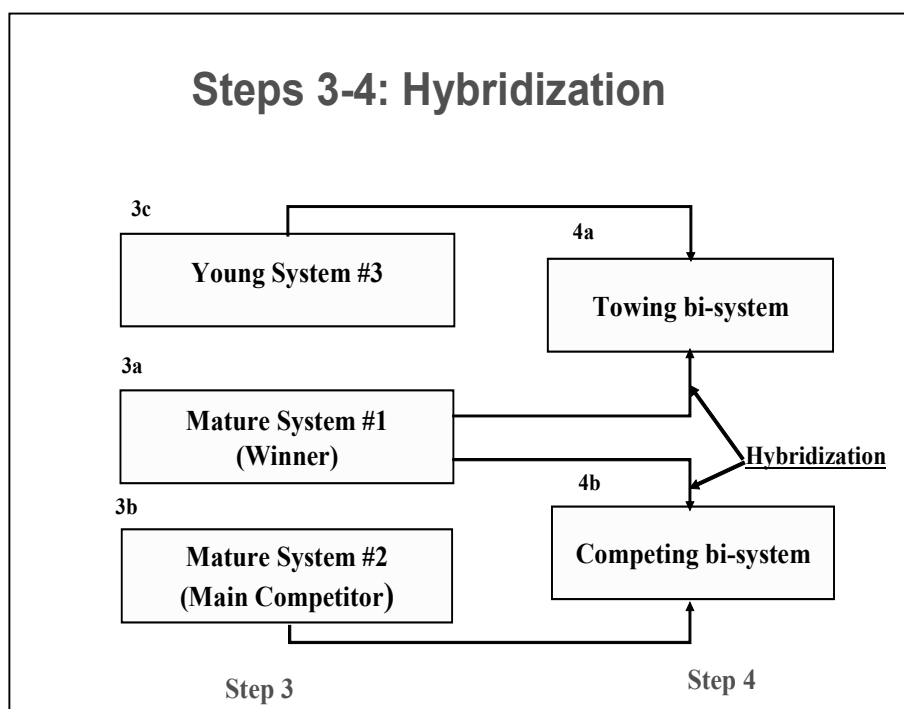


Рис. 7. Гибридизация

«Буксирующая» бисистема

Создание «буксирующих» бисистем является довольно обычным эволюционным шагом, представляющим собой чрезвычайно эффективный способ гибридизации следующих исходных систем:

- «Взрослой» технологии, которая не может развиваться дальше из-за исчерпания собственных эволюционных ресурсов основной концепции.
- Новой (часто революционной) технологии («молодая» система), обладающей высоким эволюционным потенциалом, но пока недостаточно эффективной (или надежной, слабо разработанной и т. п.), чтобы вытеснить старую доминирующую технологию.

В таких ситуациях взрослая (или старая) система «вытягивает» новую, при этом обеспечиваются следующие преимущества:

- Продление жизни старой системы за счет добавления новых полезных функций или характеристик.
- Отрасль получает больше времени на адаптацию новой парадигмы.
- Молодая система начинает практически применяться, несмотря на свои недостатки, потому что взрослая система «подстраховывает» ее.

Теперь у молодой системы появляется финансирование, свои «болельщики» – и ее развитие резко ускоряется.

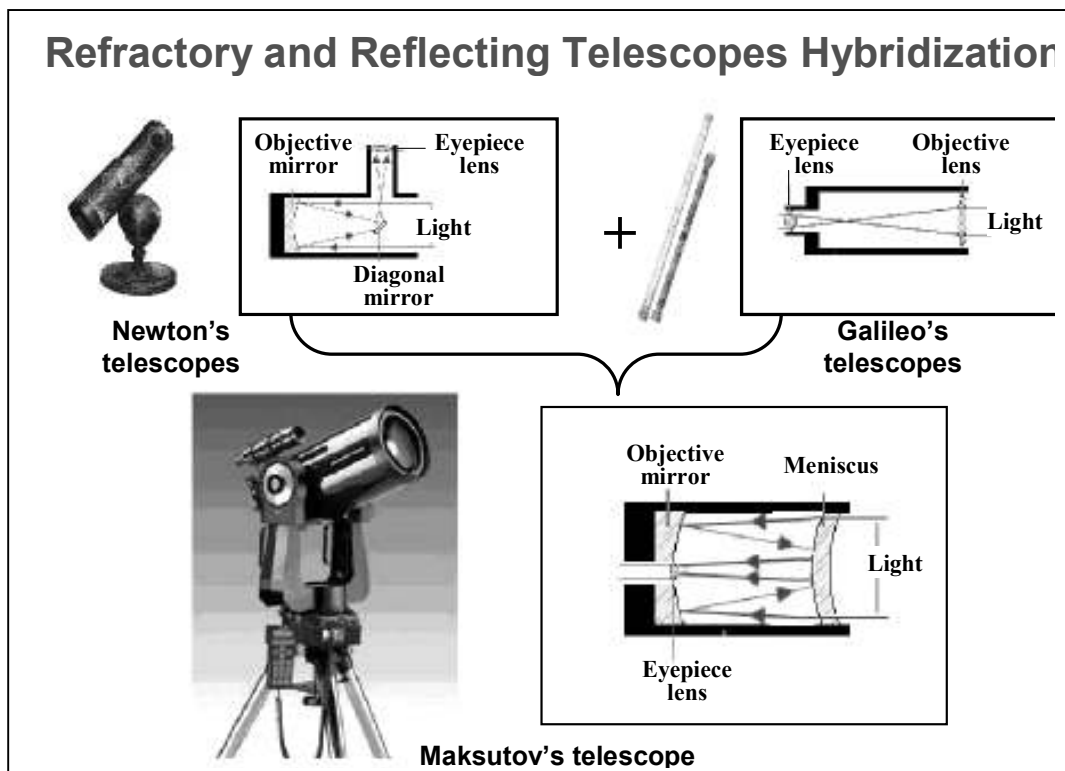
Например, первые паровые судовые двигатели были настолько неэффективны, что не могли обеспечить сколько-нибудь длительное плавание. В то же время парусные суда с паровой машиной получили возможность использовать ее в отсутствие ветра¹² и для захода в порты против течения. Аналогично первые реактивные двигатели использовались на поршневых самолетах в качестве бустеров, так как они не могли обеспечить весь полет, включая взлет и посадку.

Альтернативная бисистема

Как было указано выше, причина, по которой на рынке существуют несколько вполне взрослых систем, использующих разные принципы действия для выполнения одной и той же функции, заключается в том, что они практически всегда имеют разные (часто противоположные) достоинства и недостатки. В этих случаях кандидаты в гибриды (*две взрослые системы*) близки к исчерпанию своих эволюционных ресурсов и перестают развиваться. В то же время во многих случаях после их объединения, в результате которого их достоинства сохраняются, а недостатки компенсируются, новая гибридная система получает вторую «жизнь».

¹² На ранних этапах эволюции использовались парусно-гребные суда (галеры) .

Типичным примером может служить эволюция телескопов, изобретенных Галилеем (рефракторный, или линзовый, 1609 г.) и Ньютоном (рефлекторный, или зеркальный, 1668 г.). К середине XX века самый лучший линзовый телескоп имел очень дорогие линзы, изготавливаемые из специального стекла для уменьшения хроматической aberrации, а наилучший зеркальный телескоп имел не менее дорогое зеркало параболической формы для снижения сферической aberrации. В 1941 г. после 300 лет жесткой конкуренции этих двух систем, Максутов изобрел телескоп, который обеспечил высокое качество изображения, при этом был проще и стоил во много раз меньше, чем исходные телескопы (см. Рис. 8).



Рис

. 8. Телескоп Максутова

Гибридизация «проигравших»

В двух предыдущих случаях по крайней мере одним из «родителей» была взрослая система – «победитель» в конкурентной борьбе (Рис. 9, а, б). Однако для успешной гибридизации совсем не обязательно выбирать

наиболее развитую версию, тем более что она практически всегда и самая дорогая. Во многих случаях гораздо выгоднее сделать «шаг назад» в эволюции и выбрать для гибридизации более дешевые исходные системы, пусть и с худшими параметрами (например, линзы из обычного оптического стекла и дешевое сферическое зеркало в телескопе Максутова). Но еще лучшие результаты могут быть получены, если отступить существенно дальше назад по эволюционной кривой и проверить настоящих «неудачников», которые были ранее отсеяны из-за неудовлетворительного функционирования и/или трудностей с реализацией. Как будет показано ниже, группа таких «неудачников» может «объединить свои силы» и породить новую концепцию, которая заложит основы новой S-кривой или новой генерации (Рис. 9, с).

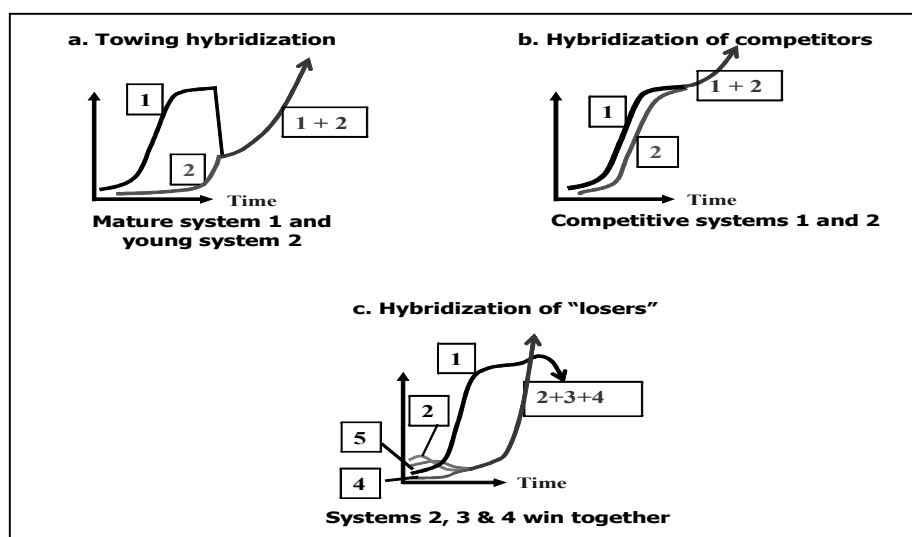


Рис. 9. Различные виды гибридизации

Дальнейшая эволюция гибридных систем

При проведении гибридизации очень важно иметь в виду разные возможные уровни интеграции. На Рис. 10 в качестве примера показаны две линии эволюции гибридных систем.

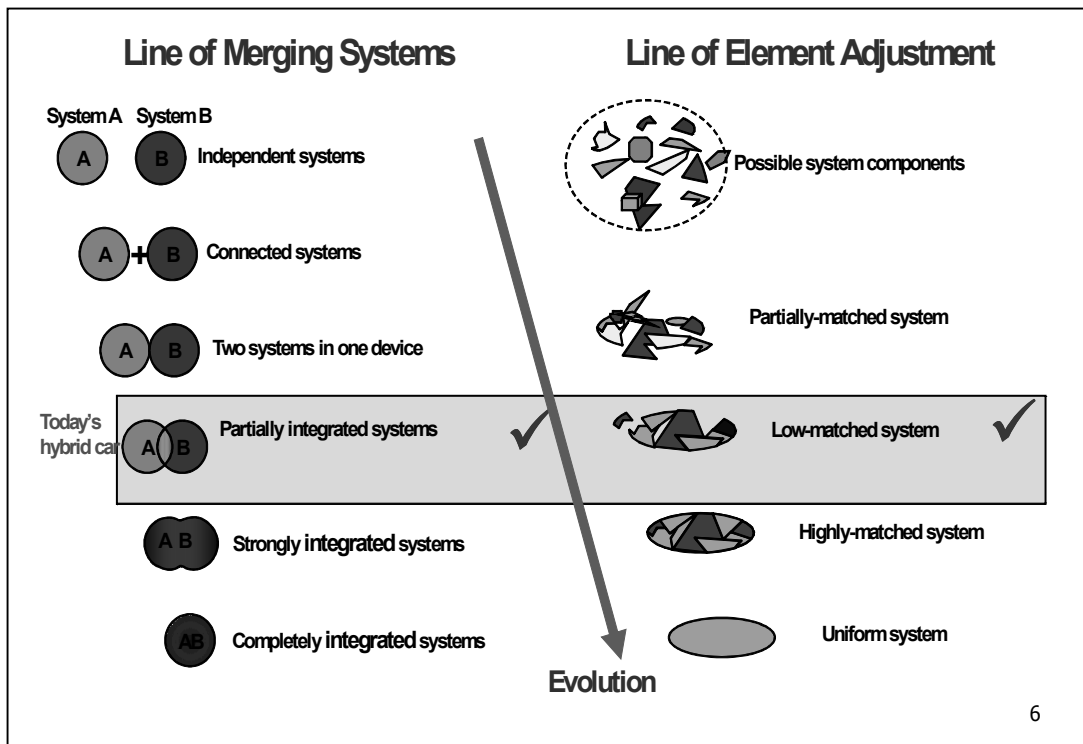


Рис. 10. Избранные линии эволюции гибридных систем

Шаг 5. Создание списка кандидатов на следующую генерацию системы

Из Рис. 11 можно заключить, что может существовать довольно много кандидатов на следующую генерацию системы.

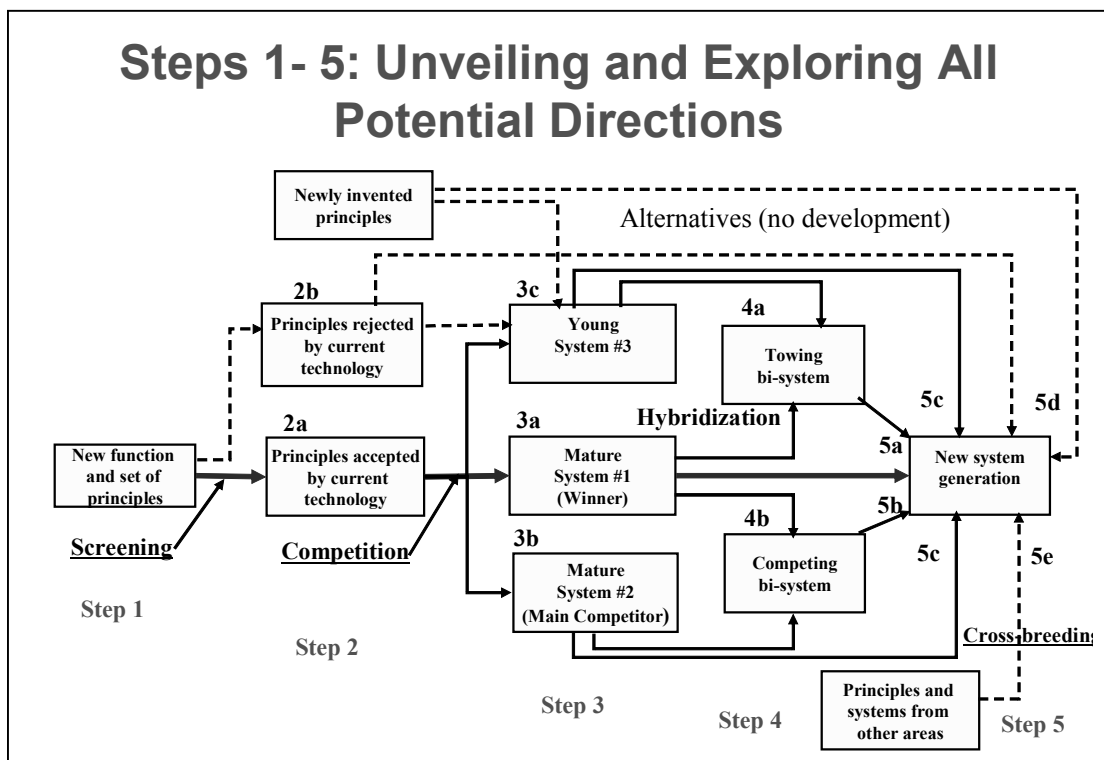


Рис. 11. Рассмотрение различных вариантов следующей генерации системы

Для начала имеет смысл рассмотреть возможность дальнейшего развития исходной взрослой системы путем ее «омолаживания» за счет введения новых технологий (микрочипы, голосовое управление, нанотехнологии и т. д.). Пример – дрон (беспилотный аэроплан).

Другие возможности включают:

- Разнообразные гибриды¹³, как упомянуто выше.
- Усовершенствованная конкурирующая система (системы).
- Молодая система (системы) – возможно, современный уровень техники теперь это позволяет или система достаточно «подросла».
- Системы, основанные на альтернативных принципах действия, не принятых ранее, но интегрированных в одну из взрослых систем.
- Принципы действия и системы из других областей, интегрированные в старую систему (перекрестное опыление).

Практический пример – Новый гибридный автомобиль

В процессе усовершенствования автомобилей следующие существенные возможности и варианты конструкции рассматривались, но не выдержали конкуренции:

- Использование этанола как заместителя бензина (ниже теплота горения).
- Турбина по сравнению с двигателем внутреннего сгорания (сложная и дорогая конструкция, узкая зона максимальной эффективности; высокая температура горения требует использования дорогих жаропрочных материалов и т. д.).
- Попытка добавления воды в бензин для повышения рабочего давления (бензин и вода плохо смешиваются).

¹³ Полученный гибрид может продолжать процесс гибридизации, объединяясь со своими «родителями», другими гибридами или вообще другими системами.

- Электропривод (низкая эффективность и тяжелые аккумуляторы).
- Электрическая трансмиссия и мотор-колесо (трудность управления системой).

Несмотря на то, что каждый из вышеперечисленных вариантов имел серьезные индивидуальные недостатки, оказалось, что их объединение позволяет эти недостатки компенсировать и даже некоторые из них превратить в достоинства (см. Рис. 12).

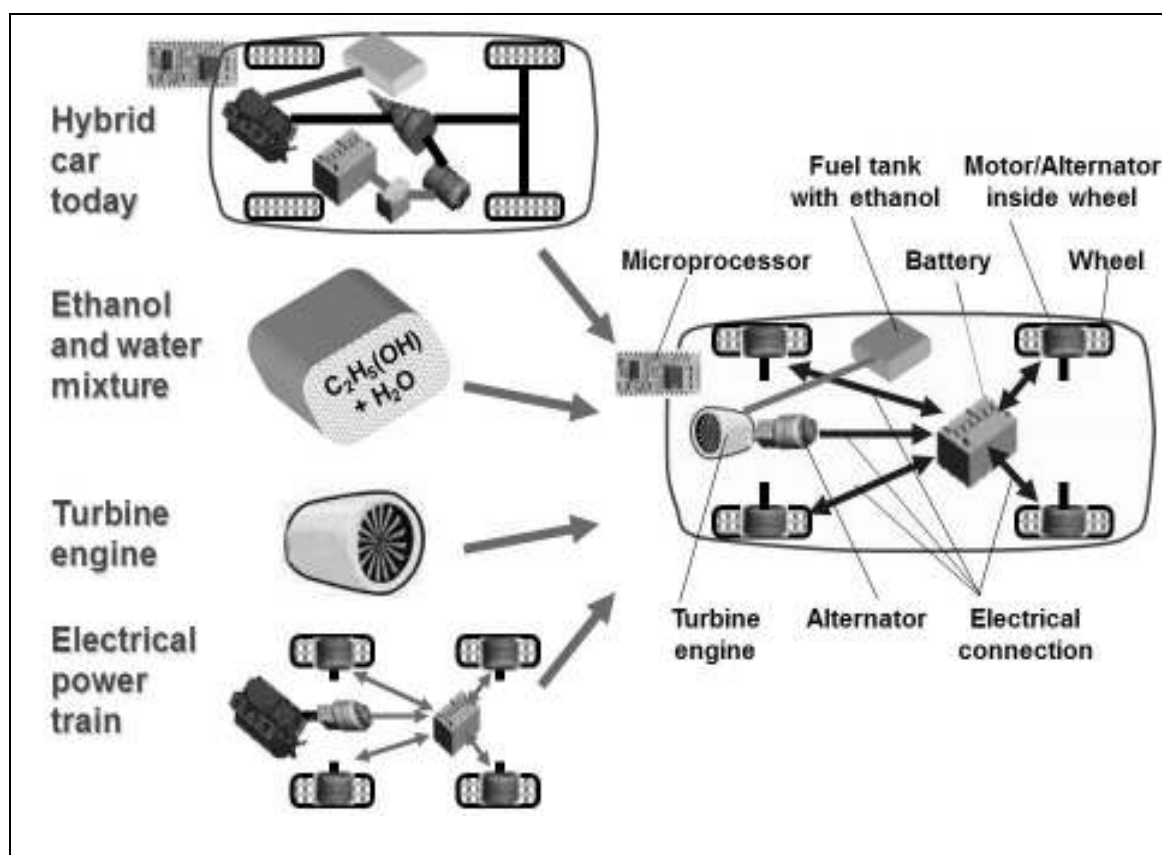


Рис. 12. Новый гибридный автомобиль

Приведенная выше концепция обеспечивает следующие преимущества.

Сравнение Двигателя Внутреннего Сгорания и ЭтанолТурбоЭлектрической Системы		1961 Chrysler TurboFlite	
Проблемы турбодвигателя	ДВС 	Турбина 	Возможные решения проблем турбодвигателя
Проблема 1 Узкая зона высокой эффективности двигателя			Использование гибридной концепции автомобиля, в котором мотор всегда работает в оптимальном режиме
Проблема 2 Сложная конструкция трансмиссии для высокоскоростной турбины	~2000 rpm	>30000 rpm	Использование электрической трансмиссии и системы «мотор-колесо»
Проблема 3 Высокая температура пламени		Турбина должна изготавливаться из очень дорогих материалов	Использование этанола критически снижает температуру сгорания
Проблема 4 Дорогой и сложный дизайн турбины	—	Очень сложное, прецизионное производство	Использование безопаточных турбин (конструкция Southwest Research Institute)
Проблема 5 Шум турбины	—	Высокочастотный свист турбины при пуске	Малый размер высокоскоростной турбины позволяет использовать звукоизоляцию и/или активное шумоподавление

Рис. 13. Преимущества нового гибридного автомобиля

Дополнительные преимущества — использование этанола в автомобиле — позволит существенно упростить систему подачи топлива: не потребуется топливный насос. Топливо будет поступать на турбину в виде паров. Кроме того, упрощается воздушный кондиционер, так как этанол охлаждается при испарении. Испарения этанола менее опасны для среды, чем испарения бензина, и менее взрывоопасны.

Мотор и трансмиссия в турбо-этанол-электрическом автомобиле проще, дешевле и меньше по размерам, чем в обычном автомобиле. Можно ожидать, что такой автомобиль окажется идеальным для автомобилизации стран «третьего мира».

Заключение

1. Определение принципа действия рассматриваемой системы очень важно для определения понятий жизненного цикла, генераций и эволюционных ресурсов этой системы. Представление принципа действия как цепочки физических, химических и других преобразований позволяет лучше понять его природу, особенно если это сделано в графическом формате (причинно-следственные диаграммы).

2. На старте эволюции новой системы рассматриваются и испытываются разные принципы действия для отбора доминирующего варианта.

3. Наличие типовой полной картины (сценария) эволюции системы позволяет осуществить систематическое изучение возможных вариантов ее будущего развития. Подобно законам и линиям развития, такой сценарий обладает прогнозной мощностью. Например, попытки проталкивать совершенно новую технологию, прежде чем она была использована в гибридной системе, может оказаться очень дорогой ошибкой. Вместе с тем, ее можно легко избежать, если разработчики хорошо понимают природу технологической эволюции.

4. Описанный в статье сценарий также показывает, насколько важен анализ исторического развития системы. Ранние этапы эволюции хранят информацию о неудачных (и, как правило, забытых) вариантах, которые могут стать вполне успешными на более поздних этапах. Эта информация становится чрезвычайно важной для получения исчерпывающего набора возможных решений при выборе направления работ по развитию системы.

5. Объединение двух известных систем является только первым шагом гибридизации. Полученный гибрид может быть

«скрещен» с «родителем» или другим гибридом: он может использовать принципы, ранее отброшенные из-за недостатков, которые теперь стали несущественными или даже превратились в преимущества.

6. Процесс гибридизации имеет свои линии развития. Выявление, документирование и использование этих линий позволяет разрабатывать новые генерации систем.

Библиография

1. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Советское Радио, 1979.

2. TRIZ in Progress. Избранные труды Ideation группы разработчиков ТРИЗ. Ideation International Inc., 1999.

3. Злотин Б. Л. Союз конкурентов. ИР. 2. 1984.

4. Герасимов В. М., Литвин С. С. Зачем технике плюрализм? // Журнал ТРИЗ. 1990. Т. 1. № 1).

5. Герасимов В. М., Прушинский В. О., Др. Зайниев Г. А. Reconstruction of Technological Evolution through Hybridization of Technical Systems. Proceedings of TRIZCON 2001. Section 10.

6. Злотин Б. Д., Зусман А. В. Directed Evolution: Philosophy, Theory and Practice. Ideation International. 2001.

7. Герасимов В. М., Др. Зайниев Г. А., Герасимов В. М. Hybridization: The New warfare in the Battle for the Market. Ideation International Inc. 2005.

Исследование принципа действия (на примере зарождения ТС «телефон»)

Кайков И. К., Кайков О. И.

*«Дар воскрешать
прошедшее столь же
изумителен, как и дар
предвидеть будущее».*

Анатоль Франс

Аннотация

Работа построена на основе анализа нескольких десятков технических систем (ТС) семейства «телефон», созданных в период его зарождения в XIX веке и базирующихся на различных физических принципах действия (ПД). Исследовался процесс создания, развития и смены ПД технических систем, предназначенных для передачи звуковых колебаний на расстояние. Построены аналитические модели этих систем, выявлены противоречия их развития. Рассмотрены возвраты к ПД ранее отвергнутых технических систем. На основе проведенного исследования предложена формулировка и принципы формирования ПД.

Ключевые слова: ТРИЗ, Техническая Система, Функция, Принцип Действия, Телефон.

Введение

Понятие «Принцип Действия» (ПД) широко используется в курсе школьной и вузовской физики, в научно-популярной, патентной и ТРИЗ литературе. Однако это понятие носит весьма общий характер, сводится к краткой характеристике и служит для понимания функционирования той или иной ТС и пояснения ее отличий от других ТС. В ТРИЗ литературе, как правило, понятие *принцип действия* используется в общепринятом смысле, см., напр. [1, 3, 4].

Публикации по исследованию ПД практически отсутствуют, за редким исключением – см., например, монографию Глазунова В. Н. [2]. Такая ситуация, вероятно, сложилась, с одной стороны, в силу «как бы очевидности» ПД и описательного характера этого понятия. С другой

стороны, в силу существования мощного инструментария ТРИЗ, позволяющего анализировать и решать задачи очень широкого класса.

В обширной мировой научно-технической литературе к истории возникновения и развития ТС «телефон» исследователи чаще всего обращались с целью разрешения вопроса о приоритете или вкладе того или иного изобретателя. Среди ТРИЗ исследований по ТС «телефон» известна работа [9]. Статья содержит много интересных примеров, которые могут служить хорошей иллюстрацией к занятиям по различным разделам ТРИЗ. Однако работа посвящена развитию формы элементов телефонного аппарата, но не системы для передачи голосовой информации.

В настоящей статье для изучения феномена «Принцип Действия» используется история развития телефона в период зарождения этой ТС. В XIX веке изобретателями предлагались различные способы передачи звука на расстояние. В статью лишь фрагментарно включены примеры из истории развития телефона и в том объеме, который необходим для раскрытия темы «Принцип действия».

1. Цели

В ходе работы ставились, главным образом, исследовательские цели по анализу «Принципа Действия»: Что представляет собой ПД как понятие? Какое понимание ПД существовало в различные периоды времени? Каким образом осуществлялся выбор ПД конкретной ТС «Телефон»? Как происходила смена ПД ТС? Кроме того, имелись ввиду также учебно-методические цели: подготовка материалов для учебных примеров, вовлечение молодых исследователей в ТРИЗ.

2. Информационно-аналитическая часть

2.1. Информационный фонд и работа с ним

Основу информационного фонда составили картотеки авторов, в том числе по темам «Громкоговорители», «Телефон», «Стетоскоп». Материалы

отобраны, главным образом, по этапу зарождения ТС «Телефон». Используются иллюстрации из источников [6, 7, 10, 12].

По найденным описаниям составлялись краткие характеристики различных ТС «Телефон» начального этапа развития. При этом фиксировались: прототип, краткое описание конструкции, электрическая схема, общий вид, достоинства и недостатки ТС, ссылка на источник. Весьма часто по ним требовался поиск дополнительной информации.

По мере сбора и накопления описаний ТС проводилась аналитическая работа. При этом использовались следующие понятия и инструменты ТРИЗ: 4-х элементная модель ТС; понятие Противоречия и правила формулирования различных видов противоречий; функция ТС. Основное внимание уделялось выявлению следующих аспектов: какую проблему прототипа решает новая ТС, противоречие (административное, техническое, физическое), способ разрешения противоречия, какой новый принцип действия ТС вводится.

2.2. Передача звука на расстояние. Постановка задачи середины XIX века

Задача создания ТС для передачи звука на расстояние была достаточно еретичной для середины XIX века. В значительной мере общественную потребность на связь между городами выполнял телеграф. Четко сформулированной задачи создания ТС для передачи звуков на расстояние не существовало. Идея передачи звука в виде электрических колебаний, полученных путем преобразования из звуковых была впервые высказана французом Шарлем Бурселем. Таким образом, был описан общий принцип: преобразование звуковых колебаний в электрические, передача электрических колебаний и преобразование обратно в звуковые в месте приема. Конкретных принципов воплощения этой идеи, описания ТС для прямого и обратного преобразования при этом им не было дано. Таким

образом, при формулировании общего принципа была использована известная технология передачи сигналов по телеграфу.

По мере все более широкого внедрения телеграфа выявилась основная его проблема – скорость передачи данных. Для увеличения скорости, например, использовалась параллельная передача сообщения по частям несколькими операторами. Однако для этого требовались также дополнительные линии. Проблема стояла достаточно остро. Так, известная компания «Вестерн-Юнион» обещала будущему создателю телефона Грехаму Беллу целое состояние за решение проблемы одновременной передачи нескольких телеграмм по одной линии.

2.3. Краткая справка о теории звука XVIII-XIX веков

До середины XVII века теория звука ограничивалась описаниями музыкальных инструментов и их звуков. В 1667 году знаменитый исследователь и соотечественник Ньютона Роберт Гук (*Robert Hook*) произвел серию опытов, раскрывших новые свойства звука. Эти опыты разрушили существовавшую точку зрения на природу распространения звука, основанную на работах и взглядах Бэкона. Она заключалась в том, что воздух является единственной средой, в которой звук способен распространяться. А между тем в обыденной жизни встречались явления, говорившие о другом. Было известно, например, что, припав ухом к земле, можно услышать конский топот. Точно так же, нырнув в воду, можно явственно слышать шум прибоя, плеск весел движущейся лодки, удары камней друг о друга.

2.4. Обзор различных Принципов Действия телефона

В Приложении представлены краткие описания различных способов и устройств для передачи звука голоса на расстояние.

2.4.1. Основные этапы развития: смена ПД

В развитии ТС для выполнения указанной функции следует выделить несколько основных этапов (см. Таблицу 1). Номера примеров даны в соответствии с Приложением.

Таблица 1.

№	Основные этапы развития ПД ТС «Телефон»	Примеры
1	Передача механических колебаний без преобразования их вида:	
	– в воздушной среде	1, 2
	– в твердом теле	3, 4, 6
	– проводник – трубка (би-система)	5
2	Передача электрического сигнала для управления механическими устройствами (звонками и т. п.) и музыкальными инструментами	7, 8, 11
3	Передача электрических колебаний с механическим преобразованием их из звуковых и обратно – при помощи электромагнитного преобразователя	
	– преобразование звуковых колебаний в электрические	9, 12, 17
	– увеличение уровня передаваемого и приемного сигнала	13, 15
	– увеличение уровня приемного сигнала	16, 18, 19
	– преобразование звуковых колебаний в графические (исследование)	10
	– улучшение работы механического прерывателя	14, 20
4	Передача электрических колебаний с преобразованием их из звуковых и обратно электромагнитными преобразователями (телефон Белла)	21

2.4.2. Скорость передачи (доставки) сообщений

Собственно скорость доставки сообщения складывается из двух величин: 1) скорости распространения сигнала от точки передачи к точке приема; 2) скорости преобразования сигнала для передачи и приема сообщения. Альтернативной системой разрабатываемому телефону был телеграф. На короткие расстояния в пределах города могли быть задействованы различные системы почт, курьеры, личные встречи.

В случае использования электрического телеграфа скорость доставки ограничена скоростью оператора, работающего ключом по азбуке Морзе. Заметим, что скорость устной передачи сообщений в 10-20 раз выше скорости работы азбукой Морзе среднего оператора. Максимальная скорость доставки сообщений телеграфом, ее предел равен скорости распространения электрических колебаний в проводнике.

Первые версии телефона предусматривали передачу звуковых колебаний без преобразования их в электрический сигнал («шнурковый телефон»). В этом случае скорость доставки ограничена скоростью распространения звуковых колебаний в проводнике. Так, в стали скорость звуковых колебаний составляет порядка 5000 м/сек. Для передачи некоторых сообщений на дальние расстояния, например для биржевых сделок, срочных государственных сообщений, этот параметр весьма критичен. Если же принять во внимание второй параметр – расстояние, то применение «механического» телефона повлечет необходимость использования весьма сложных и дорогих устройств для обеспечения работоспособности системы.

3. Исследовательская часть. Принцип Действия

3.1. Для чего нам необходимо знать, описать, сформулировать ПД?

Само по себе описание принципа действия системы будет малоэффективным, если не определить цель. Ниже представлены некоторые возможные цели для описания ПД.

Описательно-познавательные цели: классификация, построение модели ТС, понять, как работает ТС, связь с другими науками, развитие ТРИЗ как науки, определение границы ТС, применение современных ТРИЗ инструментов, построение функциональной модели.

Аналитические цели: сравнение технических систем, анализ функционирования, постановка задач, определение уровня изобретения, построение S-кривых.

Эвристические цели: решение изобретательских задач, решение исследовательских задач, нахождение ПД по сформулированной функции, прогнозирование.

В чем состоит *принцип действия* описания «Принцип Действия»? Какова его функция? На наш взгляд, функция ПД состоит в изменении в нашем сознании существующей субъективной модели и построении новой. В этом особенность модели «ПД». Она позволяет изменять, корректировать другие модели для достижения поставленных целей.

3.2. Традиционное понимание ПД

В традиционном «объяснительном» смысле ПД чаще всего представляет собой словесное или графическое описание ТС. Как правило, в описании дается цепочка причинно-следственных преобразований, происходящих в ТС. Описание может быть устным, письменным, в виде анимации или фильма, а также на масштабном макете ТС. Для описания и представления ПД широко используется компьютерное моделирование.

При этом объяснительное описание, как правило, составлено и предназначено для человека, опирается на определенный базовый уровень

знаний, явно или неявно подразумевает какой-то прототип, параметры которого нас не устраивают, может содержать описание проблемы прототипа, а также путей ее преодоления в новой ТС.

3.3. Принцип Действия. Попытка определения

Вообще говоря, при описании явлений окружающего мира, создании и совершенствовании ТС мы используем различные модели природных и искусственных объектов.

При этом необходимо отметить наличие двух систем: 1) собственно объекта, который нам надлежит описать и в основе функционирования которого заложены определенные явления, эффекты; 2) наше описание этого объекта.

ПД реализуется физически во времени, пространстве и структуре ТС и внешней среды в процессе функционирования этой ТС. Всякое описание объекта является его моделью. Таким образом, в первую очередь, ПД – наша модель реального физического процесса. Эта модель строится на определенном наших потребностях и знаниями уровне функционирования этого объекта. Занимаясь описанием, поиском, определением ПД мы имеем дело с построением моделей. Какова функция этой модели? Что в ней является рабочим органом, что – изделием? В процессе описания обрабатывается наше знание об объекте.

Принцип действия – это описание способа выполнения главной функции ТС

Что такое способ выполнения? Способ выполнения может быть описан различными способами: моделью воздействия инструмента на изделие, описанием функций более низкого ранга; причинно-следственными связями; диаграммой Сибирякова-Исикавы; сетью проблем и частичных решений (см., напр.: [8]) и другими.

3.4. Пример: шнурковый телефон

Рассмотрим простейший вид телефона – шнурковый. Он состоит из двух коробочек и натянутого шнура между ними. Принцип действия всего телефона – звук распространяется по шнуру (веревке, нити, проволоке). Рассмотрим ПД подсистем. **Нить:** лучшая «звукопроводность», чем у воздуха. Звук распространяется направленно, не выходя за пределы нити. **Коробка:** усиление звука за счет резонансных свойств внутреннего объема. **Дно коробки:** преобразовывать колебания воздуха в колебания нити. Дно служит мембраной. **Узел** на конце нити: передавать механические колебания между дном и нитью.

Приведенное выше описание ПД дано грубо, без детального анализа работы системы. Однако этого описания вместе с начальными знаниями по физике достаточно, чтобы объяснить наблюдаемый парадокс: звук голоса передается лучше и дальше, чем по воздуху, не слышно для окружающих.

Помимо приведенных в описании ПД подсистем, в работе этого телефона есть ряд «ноу-хау». Во-первых, нить должна быть натянутой. Кстати, именно натяжение нити руками абонентов позволяет выполнить контакт между дном и нитью в виде простого узла и не использовать клей или иные виды крепления.

Кроме того, натянутая нить не должна ничего касаться. В противном случае, часть колебаний будет «гаситься» этим предметом и слышимость ухудшится. Отсюда возникает проблема. Связь возможна только по прямой. Для того чтобы проложить нить с огибанием препятствия необходимо дополнительное устройство.

Как видно на этом примере, для передачи звука из одной точки в другую недостаточно воспользоваться только главным принципом – распространением звуковых колебаний в твердом теле, в частности в нити, шнурке, натянутом между двумя абонентами. Понадобился еще ряд

вспомогательных, дополнительных устройств, которые устраняют недостатки ТС, построенной только на одном, главном принципе.

Выделим наиболее важные признаки ПД:

1. ПД – это способ выполнения функции соответствующего уровня.
2. Многоуровневость ПД.
3. Наличие общей понятийной базы для объяснения.

Таким образом: **Принцип действия – это описание способа выполнения главной функции технической системы и ее подсистем через описание функций более низкого ранга, на уровне, определяемом поставленной целью описания.**

3.5. Пределы развития различных ПД ТС «Телефон»

Передача механических колебаний без преобразования их в другие виды сигнала. Пределы развития этого ПД ограничены, во-первых, скоростью распространения сигнала в проводнике (от 330 м/сек в воздухе до 5000 м/сек в стали), во-вторых, затуханием звука при его распространении. Поглощение звуковых колебаний той средой, в которой они распространяются, носит сложный характер; например, зависит от частоты звука. В-третьих, в XIX веке возможности управлять звуковыми колебаниями, главным образом, усиливать их, были значительно меньшими, чем возможности управления электрическими колебаниями.

Передача электрического сигнала по проводнику для управления механическими звуковыми устройствами. На этом ПД были построены различного рода музыкальные инструменты, управляемые дистанционно. Для передачи звука необходимо его преобразование в электрический сигнал. В период зарождения телефона не существовало устройств, подобных цифро-аналоговым преобразователям. К этому принципу был осуществлен возврат десятки лет спустя – с появлением электронных устройств с достаточным быстродействием.

Механическое преобразование звука в электрический сигнал, передача его и обратное преобразование при помощи электромагнитного эффекта. Главная проблема такого ПД заключалась в преобразовании звука в электрический сигнал. Этот процесс осуществлялся механическим прерывателем, состоящим из гибкой токопроводящей мембраны и стержня, закрепленного на небольшом расстоянии от нее. Под действием звуковых колебаний мембрана изгибалась и замыкала электрическую цепь. Качество преобразования было очень низким.

Передача электрических колебаний с преобразованием их из звуковых и обратно посредством электромагнитного преобразователя. Фактически, на основе этого ПД была создана минимально работоспособная система. Качество связи еще оставляло желать лучшего, но было вполне приемлемым для практического применения. Главная проблема возникла уже на ином системном уровне. Для того чтобы осуществлять связь между разными абонентами, имеющими телефон, требовалось соединить каждого абонента системы со всеми остальными.

3.6. Другие признаки ПД

Как уже было показано выше, ПД имеет следующие признаки:

1. Связь с функцией, выполняемой технической системой; ПД является моделью описания реального способа выполнения этой функции.
2. Ранговость ПД.
3. Связь с имеющимися знаниями.

Помимо этих признаков, отметим и некоторые другие, не претендуя на полноту изложения:

1. **Наличие подпроблем и их частичных решений.** В описание ПД могут быть включены подпроблемы, мешающие выполнению главной функции ТС. Именно этим обусловлено

появление в ТС подсистем, выполняющих функции более низкого ранга. Для полноты понимания и подчеркивания отличий от прототипа в описании ПД должны быть приведены также частичные решения этих проблем.

2. **Описание частичных решений в виде разрешения противоречий.** При решении изобретательских и исследовательских задач в описании ПД могут быть включены приемы разрешения противоречий.

3. **Совершенствование описания ПД во времени.** Любое описание ПД не претендует на полноту и может быть исправлено, дополнено по мере появления новых знаний о сути процессов, протекающих в ТС. Полнота описания также зависит от нашего понимания этих процессов и проверки модели ПД на практике.

4. **Эвристический характер.** Построение ПД может быть осуществлено для решения изобретательской или исследовательской задачи, на «объяснение». Помимо описания ПД искусственных объектов – ТС, мы часто сталкиваемся с необходимостью объяснения природных явлений. Например: «Почему вершины некоторых гор покрыты снегом?»

5. **Познавательный (гносеологический) характер.** Регулярное и систематическое применение модели ПД дает одну из стратегий получения новых знаний. То же самое можно сказать и о работе над анализом понятия ПД.

6. **Включение в модель ПД субъекта – человека.** Описание ПД осуществляется исследователем для самого себя либо для другого человека. В ходе работы с моделью, составления описания, осмысливания и переосмысливания исследователь изменяет фрагмент картины мира.

7. **Целеполагание: зачем нам нужно сформулировать ПД (запросы надсистем).** Требуется найти ПД или описать имеющийся с какой-то определенной целью, заданной требованиями надсистем.

8. **Адекватность модели «ПД» реальному объекту – ТС и процессам в ней происходящим, в которой воплощен этот ПД или будет воплощен.** Составленное описание ПД может быть неверным. Например, построенная по этому описанию ТС не будет работать так, как это заложено в описании. Необходима проверяемость модели. Пример: при совершенствовании телефона с механическим прерывателем Грэхам Белл ввел в описание ПД модель «волнообразных токов» и их отличие от «импульсоционных». Это в значительной мере повлияло на выбор более эффективного ПД.

9. **Применяемость (или наличие) в других областях техники.** Описанный ПД может применяться в других областях техники, в других ТС. В этом случае возможен перенос ПД и технологий.

4. Результаты

В ходе работы был выявлен и систематизирован материал по зарождению ТС «Телефон» в виде множества ТС, основанных на различных принципах действия. Дано рабочее определение «Принципа Действия», описан ряд признаков ПД. Исследованы технические и нетехнические системные факторы процесса создания, выбора и смены принципа действия, а также возвраты к принципам действия ранее отвергнутых технических систем и заимствования готовых решений и ПД в других областях техники. Подготовлены материалы для учебных примеров.

Рассмотрение истории развития ТС «телефон» охватывает период до создания Александром Грэхемом Беллом электромагнитного телефона

(1876). Необходимо отметить, что анализ дальнейшего развития ТС «телефон» также представляет значительный интерес. Однако это выходит за рамки настоящего исследования и статьи. Авторы предполагают использовать имеющийся материал по истории развития этой ТС для написания отдельных статей.

5. Выводы

1. Принцип действия целесообразно рассматривать как модель, описывающую реальную систему и основы ее функционирования.

2. Принцип действия – это описание способа выполнения главной функции системы и ее подсистем через описание функций более низкого ранга, на уровне, определяемом поставленной целью описания.

3. Функция системы «модель ПД» состоит в изменении существующей модели ТС, имеющейся у исследователя, не путем поиска необходимого ПД, а путем его построения.

4. ПД присуща ранговость (многоуровневость), обусловленная наличием проблем, их частичных решений, обеспечивающих выполнение функций более низкого ранга.

5. Важная особенность ПД – включение в него существующей системы знаний: от понимания исследователя, составляющего описание, до общепринятых научных моделей.

6. Литература

1. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979. – 184 с.

2. Глазунов В.Н. Поиск принципов действия технических систем. М.: Речной транспорт, 1990. – 109 с.

3. Рубин М.С. Развитие расходомеров. Б.м., б.г. Рукопись. – 37 с.

4. Саламатов Ю.П. Идеализация технических систем. Красноярск, 1984. – 115 с. Рукопись.
5. Уилсон М. Американские ученые и изобретатели. Пер. с англ. Изд. 2-е. М.: Знание, 1975. – 136 с.
6. Du Moncel. Le Téléphone, le Microphone, et le Phonographe. Paris, 1878. – 324 p.
7. Laennec, R. T. H. De l'Auscultation Médiante ou Traité du Diagnostic des Maladies des Poumons et du Coeur. Paris, J.A.Brosson and J.-S.Chaudé, 1819.
8. Mirakyan A., Khomenko N., Lelait L., Kaikov. I. The potential of OTSM-TRIZ as a frameworking method for modern regional, integrated energy planning and modeling // Proceedings the 5th TRIZ Symposium in Japan, 2009. Saitama, September 10-12 (English language Proceedings). P. 331-340.
9. Novitskaya Elena. Evolution of the shape of telephone components. 2004. <http://www.gnrtr.com/Generator.html?pi=210&cp=3>
10. Reis J. Philipp. «On telephony by means of the galvanic current». Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt-am-Main, für das Rechnungs Jahr 1860-1861. P. 57-64 (published in 1862). Reprinted: Adamant Media Corporation, 2007.
11. Shulman Seth. The telephone gambit: chasing Alexander Graham Bell's secret. – 1st ed. W. W. NORTON & COMPANY, New York London, 2008. – 256 p.
12. Van der Weyde Peter H. The Telephone [Reis] // The Manufacturer and Builder. New York. Vol. I. No. 5. May 1869. P. 129-130.

Благодарности

Авторы выражают благодарность своим коллегам: Атому Миракяну, Дмитрию Кучерявому, Юлию Мурашковскому, Науму Фейгенсону за их

вопросы, комментарии и дискуссии, которые помогли прояснить многие вопросы, освещенные в этой статье. Мы также благодарим Библиотеку Института Технологии Карлсруэ (Германия), Российскую Национальную Библиотеку (Санкт-Петербург, Россия) и дом-музей Филиппа Райса (Фридрихсдорф, Германия) за знакомство с материалами и экспозициями, которые позволили нам сделать эту статью более интересной.

7. ПРИЛОЖЕНИЕ. Способы и устройства для передачи звуковых колебаний на расстояние

Сокращения: ПД – Принцип Действия. ЦЕЛЬ – указана цель изобретения.

Пример 1. Передача голосом. Способ известен: до н. э.

ПД: распространение звуковых колебаний в воздушной среде.

ЦЕЛЬ: Передать звуковые колебания на возможно большее расстояние.

Звуковые колебания голоса передаются через окружающую воздушную среду. При подобной передаче звуковые колебания распространяются в виде сферической звуковой волны равномерно во все стороны. Дальность связи зависит от силы голоса человека, передающего сообщение, чувствительности уха человека, принимающего сообщение, и состояния окружающей среды. Дождь, туман, ветер, воздушные тепловые течения и т. п. значительно ослабляют звук. Дальность передачи составляет примерно 200 м для сильного мужского голоса.

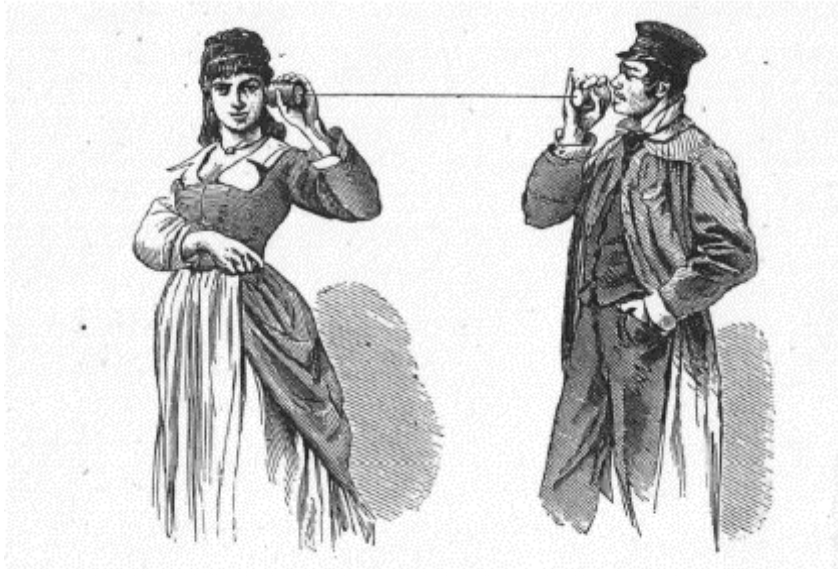
Пример 2. Использование рупора при передаче голосом. Способ известен: до н. э.

ПД: распространение звуковых колебаний в воздушной среде.

ЦЕЛЬ: Передать звуковые колебания на расстояние в заданном направлении. Увеличить дальность передачи (распространения звука). Первое упоминание о применении рупора – армия Александра

Македонского. Простейшим рупором могут служить сложенные ладони. Дальность связи зависит от силы голоса и состояния окружающей среды.

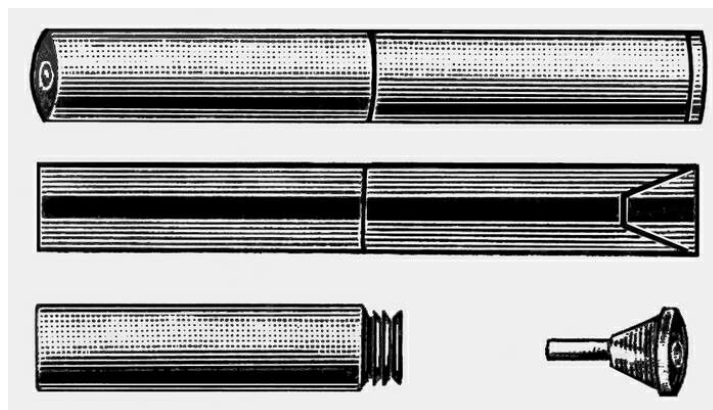
Пример 3. Шнурковый телефон. 1667 – первое описание; известен значительно ранее.



ПД: распространение звуковых колебаний в твердом теле.

ЦЕЛЬ: Передать звуковые колебания на расстояние в заданном направлении. Звуковые колебания голоса передаются через натянутую нить или проволоку. Для согласования акустических сопротивлений воздушной среды и нити, а также для усиления звука используются коробочки (рупор, резонатор), на обоих концах нити. Дальность связи примерно 100-150 м практически для любого человека со средней силой голоса (Рис из: [6, стр. 28]).

Пример 4. Стетоскоп Лаеннека. 1816.



ПД: распространение звуковых колебаний в твердом теле или трубе.

ЦЕЛЬ: Передать звуковые колебания на небольшое расстояние (20 см) в заданном направлении.

Звуковые колебания (шумы внутренних органов человека) от поверхности тела через стетоскоп передаются к уху врача. Предназначен для диагностики заболеваний по шумам внутренних органов человека. Представляет собой трубку длиной 15-30 см из твердого материала с одним или несколькими внутренними резонирующими объемами. Рисунок стетоскопа Лаэннека из его книги «De l'auscultation mediate», 1819.

Пример 5. Акустические трубки. 1817.

ПД: распространение звуковых колебаний в трубе.

ЦЕЛЬ: Передать звуковые колебания на расстояние в заданном направлении.

Звуковые колебания голоса передаются через замкнутую воздушную среду внутри трубы. Используется эффект отражения от стенок трубы с малыми потерями на затухание звука. Долгое время **переговорные трубы** широко использовались в качестве внутреннего средства связи на судах.

Пример 6. Волшебная лира Витстона (Wheatstone). 1819.

ПД: распространение звуковых колебаний в твердом теле.

ЦЕЛЬ: Передать звук музыкального инструмента на расстояние в заданном направлении.

Звуковые колебания музыкального инструмента передавались через еловый стержень длиной 3-10 метров к ящику-резонатору. Устройство применялось для концертных и цирковых выступлений и в качестве забавной игрушки.

Пример 7. Явление «ворчащая проволока», открытое Чарлзом Пейджем (Page). 1837.

ПД: электромагнитное преобразование электрических колебаний в звуковые.

ЦЕЛЬ: Преобразовать электрические колебания в механические (звуковые).

Металлический стержень, подвергаемый быстрым намагничиваниям и размагничиваниям, издает звуки, находящиеся в строгом соотношении с числом замыканий и размыканий производящего их тока. Фактически наблюдалось явление магнитострикции, которому позднее (1842 г.) дал подробное описание и объяснение Джоуль (Joule).

Пример 8. Электрическая гармоника Фромана (Froment). 1847.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

Цель: управление излучателями различных тонов на расстоянии.

Передается не сам звук музыкального инструмента, а электрические сигналы от определенных клавиш на электрические звонки. Каждый звонок настроен на определенную ноту. Интересно отметить, что уже было известно электромагнитное реле (1831 г.) и телеграф (1833 г.).

Пример 9. Идея Шарля Бурселя (Charles Bourseul). 1854.

ПД: Преобразование звуковых колебаний в электрические и распространение их в проводнике.

ЦЕЛЬ: Передать звуковые колебания на расстояние, на которое звук не распространяется в воздушной среде.

Высказан принцип передачи звуковых колебаний посредством их преобразования в электрические и обратно. Подробно принцип действия автором не был изложен.

Пример 10. «Фонавтограф» Леона Скотта (L. Scott). 1855.

ПД: Преобразование звуковых колебаний в графическую форму.

ЦЕЛЬ: Исследование характера звуковых колебаний.

Прибор состоит из коробки, дно которой обтянуто перепонкой (мембраной). Мембрана снабжена небольшим острием, которое размещено над цилиндром с бумажной лентой, покрытой сажей. Если над коробкой производился какой-либо звук, то перепонка приходила в

соответствующие колебания, и острие вычерчивало на бумаге вращающегося цилиндра характерные кривые.

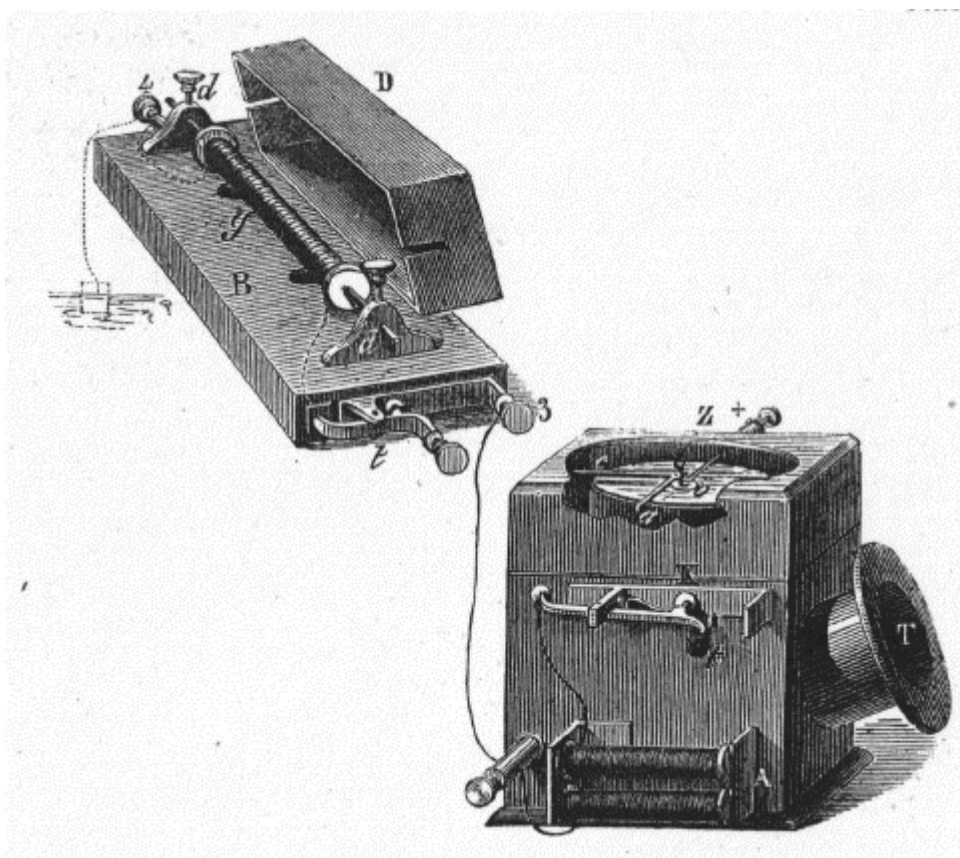
Пример 11. Петрина (Pétrina) (Прага). 1856.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

Цель: управление излучателями различных тонов на расстоянии.

Передается не сам звук, а электрические сигналы от определенных клавиш на различные излучатели звука. В качестве излучателей используются четыре металлических прута, различные по длине и производящие звуки различного тона своими вибрациями. Таким образом, можно передать на расстояние звуки разного тона, простую мелодию.

Пример 12. Телефон Рейса (Reiss), (Германия). 1860.



ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: Передать звуковые колебания на расстояние, на которое звук не распространяется в воздушной среде.

Передача: преобразование механических колебаний в электрические посредством механического прерывателя. Прерыватель состоит из мембраны и контактов-штырьков. Мембрана колеблется под действием звуковых волн и периодически (соответственно звуковым колебаниям) замыкает контакты. Передача электрических колебаний по проводам.

Прием: электромагнитная катушка с подвижным сердечником в виде спицы. Спица колеблется под действием переменного магнитного поля (Рис из: [6, стр. 11]).

Пример 13. Телефон Сесилия и Леонарда Врея (Cecil and Leonard Gray). 1861.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: Усовершенствование телефона Рейса путем увеличения силы воздействия на мембрану при преобразовании акустического сигнала в электрический.

Передача: усиление резонанса ящика при помощи дополнительной перепонки и дополнительного замкнутого резонансного объема в ящике. В цепи прерывателя использован **жидкий проводник** – ртуть, соединяющий мембрану электрически с остальной цепью, но обеспечивающий мембране свободные колебания. **Прием:** приемное устройство представляет собой дифференциальное включение двух катушек, расположенных соосно, так, чтобы между сердечниками оставался зазор. Для усиления резонанса в ящике выполнено маленькое отверстие напротив зазора между сердечниками.

Пример 14. Яц (Jeates), 1865.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: улучшить качество преобразования акустического сигнала в электрический.

Усовершенствование телефона Рейса. Под действием звуковых колебаний мембрана замыкает и размыкает электрическую цепь.

Колебания получаются «прерывистыми», поскольку сопротивление между мембраной и платиновыми иглами изменяется от значения «ноль» до значения «бесконечность». Для получения более точного преобразования звуковых колебаний в электрические Jeates ввел между концами платиновых игл каплю соленой воды. Соленая вода проводит электрический ток и обеспечивает плавное изменение сопротивления контакта. Токи получаются не импульсными, а «волнообразными». Это давало возможность воспроизводить членораздельные звуки. Однако по неизвестным причинам Jeates не смог развить эти преимущества.

Пример 15. Телефон Ван дер Вейде. (Van der Weyde). 1868.



Fig. 3.—The Receiver.

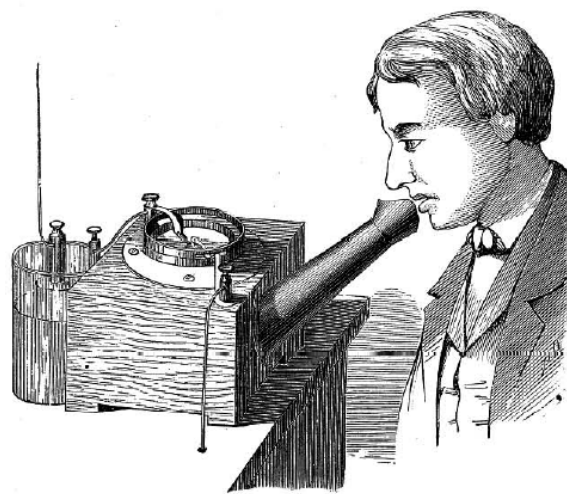


Fig. 2.—Transmitting Apparatus.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: Усовершенствование телефона Рейса. Увеличение силы воздействия на мембрану при преобразовании акустического сигнала в электрический. **Передача:** усиление резонанса ящика при помощи вогнутых стенок. **Прием:** несколько железных проволок вместо одной в качестве сердечника катушки (Рис из: [12, стр. 129]).

Пример 16. Химический телефон Эдисона (Edison). 1872.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: увеличение громкости при преобразовании электрического сигнала в акустический.

Передача: преобразование звуковых колебаний в электрические механическим прерывателем. **Прием:** использование эффекта электроосмоса. Вращающийся кусок мокрого мела становится очень скользким, когда по нему пропускают электрический ток. Изменение силы трения дает изменение силы звука – «скрипа». Один конец легкого стержня был прикреплен к диафрагме, другой упирался в поверхность вращающегося мелового цилиндра. Когда электрический сигнал по стержню передавался цилиндру, сила трения стержня о поверхность цилиндра колебалась в соответствии с изменениями электрического тока. Это в свою очередь вызывало вибрацию диафрагмы, которая создавала слышимые звуковые волны.

Пример 17. Гармонический телефон Грея (Elisha Gray). 1874.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: передать по телеграфу сигналы разных тонов.

Передача: несколько электрических прерывателей, настроенных на разные ноты гаммы; управление прерывателями посредством клавиш, подобных телеграфным. Передается не сам звук, а электрические сигналы от определенных клавиш на прерыватели. **Прием:** электромагнит, перед полюсами которого расположена мембрана – дно металлической коробки. В передней стенке ящика выполнены две S-образные прорези. Ящик играет роль резонатора.

Пример 18. Телефон Варлея (Varley). 1874.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: 1) передать по телеграфу сигналы разных тонов; 2) улучшить качество передаваемого звука; 3) увеличение уровня звука при преобразовании электрического сигнала в акустический.

Передача: При помощи электромагнитных камертонов предлагается преобразовывать и передавать звуки строго определенных тонов. Камертоны управляются клавишами. **Прием:** конденсатор в качестве

излучателя звука (фактически это **электростатический громкоговоритель**). Конденсатор состоит из 4 пластин. Для усиления звука конденсатор помещен внутри большого барабана-резонатора.

Пример 19. «Поющий» конденсатор Поллара и Гарнье (Pollard and Garnier). 1875.

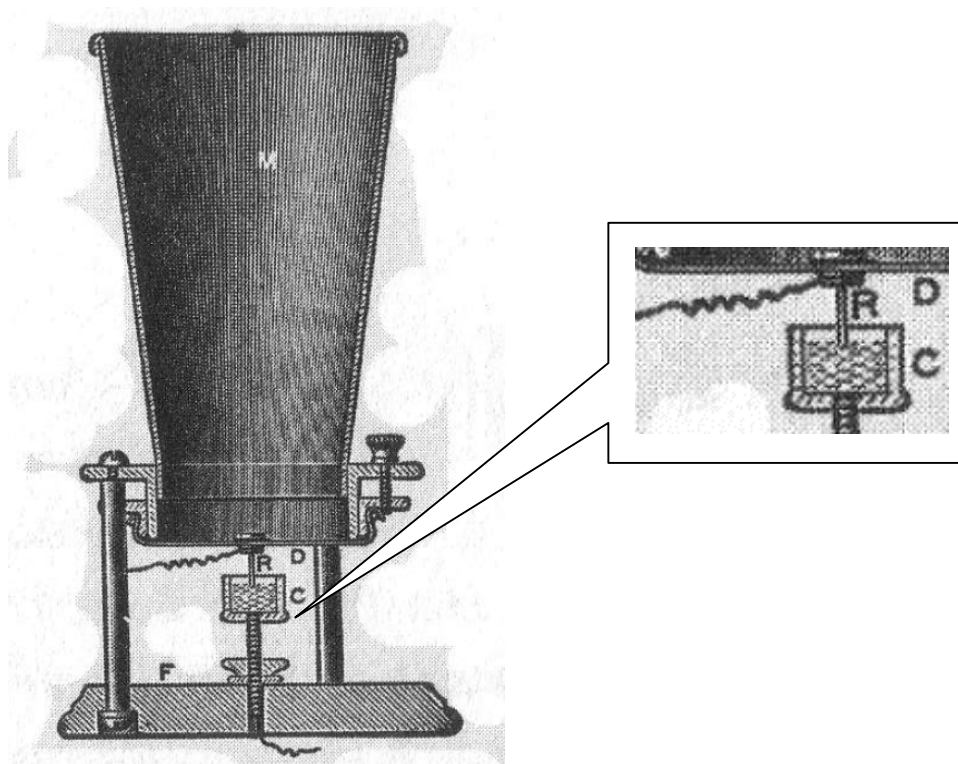
ПД: Преобразование электрических колебаний в звуковые.

ЦЕЛЬ: увеличение громкости звука при преобразовании электрического сигнала в звуковой.

Передача: преобразование механических колебаний в электрические посредством прерывателя. В качестве прерывателя используются стерженьки из угля или платины и мембрана. Мембрана колеблется под действием звука и размыкает-замыкает стерженьки.

Прием: конденсатор в качестве излучателя звука (фактически это **электростатический громкоговоритель**). Конденсатор состоит из 24 пластин. Напряжение на конденсатор подается с повышающего трансформатора.

Пример 20. Телефон Элиша Грея (Elisha Gray). 1876.



ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: улучшить качество преобразования акустического сигнала в электрический.

Контакты механического прерывателя расположены в объеме подсоленной или подкисленной воды, хорошо проводящей электрический ток. При прерывании мембраной контакта электрическое сопротивление цепи изменяется не прерывисто, а непрерывно, «волнообразно».

Передача: «волнообразные токи» получаются вследствие изменения расстояния между платиновыми проволоками в объеме электропроводящей жидкости при их вибрациях. Соответственно изменяющемуся расстоянию изменяется сопротивление жидкого слоя, заключенного между проволоками, а следовательно и величина электрического тока в цепи.

Прием: к арматуре электромагнита прикреплена мембрана. Для усиления звука мембрана размещена в ящике-резонаторе (Рис из: [6], стр. 49; [11], стр. 12).

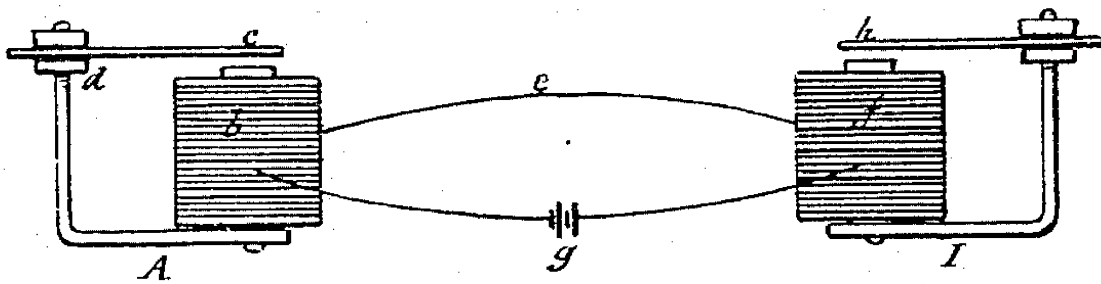
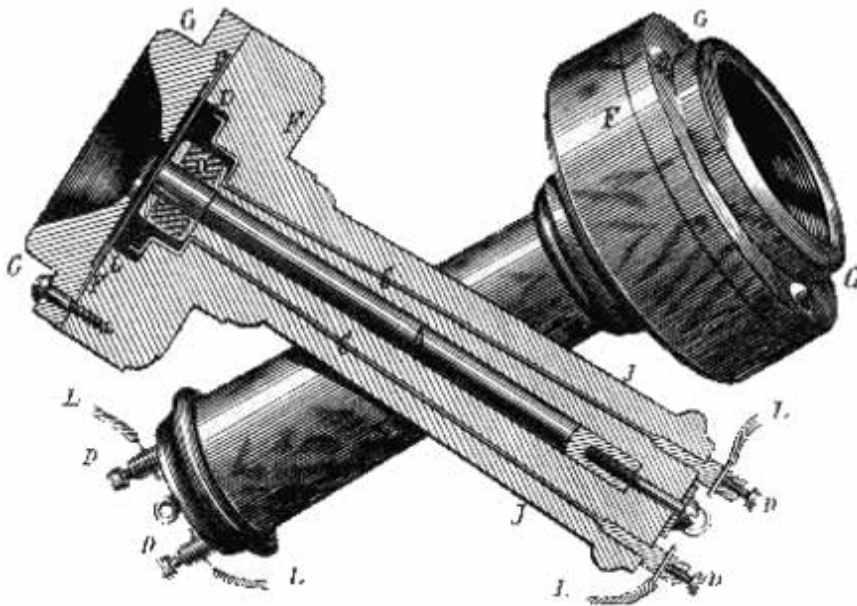
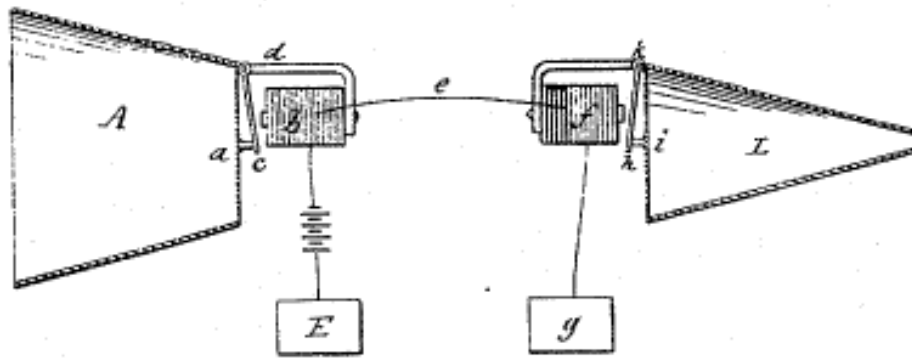
Пример 21. Телефон Грахама Белла (Bell Alexander Graham). 1876.

ПД: распространение электрических колебаний в проводнике.

ЦЕЛЬ: улучшить качество преобразования акустического сигнала в электрический.

В приемном и передающем устройстве используются однотипные устройства на основе электромагнитного принципа преобразования звуковых колебаний в электрические и обратно.

К арматуре электромагнита прикреплена мембрана. Для усиления звука мембрана размещена в ящике-резонаторе (Рис из: Патент US 174465A. Bell Alexander Graham, 1876; [6, стр. 61, 62]).



Анализ принципа действия – инструмент постановки задач и совершенствования ТС

Кашкаров А. Г.

Аннотация

В статье приведены исследования автора, направленные на совершенствование моделей технической системы, демонстрирующих процессы и принцип действия, развитие инструментов анализа этих моделей и правил постановки задач.

Ключевые слова: принцип действия, модель, потоки, причинно-следственная структура, вещественно-энергетические преобразования, анализ эффективности.

Введение

Предлагаемая работа направлена на развитие ТРИЗ [1] и ФСА [2]. Она является логическим продолжением исследований автора [3, 4, 5] по алгоритмизации моделирования, анализа и совершенствования Технических Систем (ТС) на основе представления модели ТС системой вещественно-энергетических преобразований. Такая модель ТС включает в себя причинно-следственные связи процессов, происходящих в ТС, и принципы действия.

Понятие Принцип Действия ТС должно быть ключевым в методологии ТРИЗ и связывать большинство аналитических процедур ТРИЗ. Этому препятствуют неоднозначность понимания термина Принцип Действия и, следовательно, отсутствие общепринятых методик его моделирования. ТРИЗ как методология, стремящаяся стать Наукой, призвана выявлять проблемы и показывать пути совершенствования ТС. ТРИЗ, как и любая другая техническая наука, должна базироваться на моделях, интерпретирующих исследуемую систему. Чем больше модель отображает реальную ТС, тем глубже понимание взаимосвязи происходящих в ней процессов, и тем более эффективно и жизнеспособно будет найденное решение проблемы. В общем случае возможно получение

решений проблем ТС при рассмотрении только модели оперативной зоны (без анализа всей ТС и понимания, как она работает). Однако такие решения редко реализуются на практике, поскольку они не учитывают многофакторные связи процессов, происходящих в ТС, и порождают ряд вторичных проблем. Интуитивное понимание принципа действия ТС может быть недостаточно для постановки «правильных» задач.

Понятие «Принцип Действия». Существующее положение

Согласно энциклопедическим словарям «**Принцип действия**» – это основа действия какого-либо прибора, машины и т. п. Рассмотрим подробнее это понятие. **Принцип** – то, чем объединяется известная совокупность фактов, норма, правило, основа. **Действие** трактуется как процедура, операция, работа, управление, энергия, вмешательство, процесс и т. д. Другими словами, это то, что изменяет состояние объекта или системы. В простейшем случае «Принцип Действия» – это модель того, как работает устройство. Такая модель затрагивает только полезную работу ТС и отражает правила ее функционирования при реализации назначения. Другими словами, модель принципа действия определяет поведение системы в соответствии со свойствами ее компонентов и призвана показать взаимосвязанные действия, процессы изменения (преобразования) состояний объектов системы и их отношений в пространстве и во времени.

Важно разделять понятия Принцип Действия, его основа и особенность, поскольку эти понятия используются для разных целей анализа.

Основа принципа действия ТС – физический закон, эффект, процесс или их цепочка, определяющие наиболее важные изменения в ТС при ее работе.

Особенность принципа действия ТС – физический закон, физический эффект, процесс или конструктивная особенность для его

реализации, являющиеся отличительными признаками ТС среди данного класса устройств. Для примера рассмотрим высокочастотный трансформатор, в котором две электрические обмотки расположены на магнитном сердечнике. Принцип устройства трансформатора поясняется Рисунком 1.

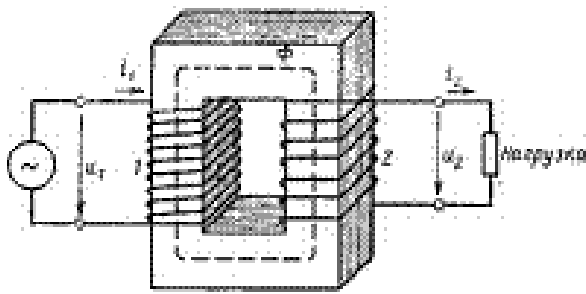


Рисунок 1. Принцип устройства трансформатора

Принцип действия трансформатора **основан** на явлении взаимной индукции.

Принцип действия трансформатора заключается в следующем. При подаче электрической энергии переменного тока на одну обмотку трансформатора по этой обмотке потечет переменный ток, который создаст переменный магнитный поток в сердечнике. Этот магнитный поток, сцепленный с обеими обмотками, изменяясь, будет индуцировать в обмотках электродвижущую силу, пропорциональную числу витков. **Особенностью** принципа действия такого трансформатора является использование ферритового сердечника, ограничивающего работу трансформатора в определенном диапазоне частот.

Понятие «Принцип Действия» в ТРИЗ

Понимание принципа действия – того, как работает то или иное устройство, – необходимо в методологии ФСА-ТРИЗ при выполнении большинства аналитических процедур, в частности:

- построение Функциональной модели и проведение диагностического анализа;
- построение потоковых моделей ТС и их анализа;
- построение причинно-следственных цепочек недостатков ТС;
- диверсионный анализ;
- выявление противоречий;
- benchmarking и Функционально-Ориентированный поиск;
- прогноз развития ТС;
- синтез ТС.

Очевидно, что модель Принципа Действия ТС и ее анализ могут стать связующим звеном инструментов ТРИЗ, углубить анализ ТС и повысить уровень технических решений. Важнейшими характеристиками моделей ТС, используемых для анализа, должны быть простота построения по определенному набору правил, наглядность для восприятия, а также легкость для понимания взаимного влияния различных факторов и сути зависимостей процессов, происходящих в ТС.

Понятие «Принцип действия» ТС в публикациях ТРИЗ трактуется как «совокупность физических, химических и т. п. эффектов, согласованное применение которых обеспечивает выполнение ее функции» [6, 7]. Такое определение не совсем корректно, поскольку работоспособность любой ТС обеспечивается преимущественно физическими законами, а не только физическими (химическими и т. п.) эффектами. Построение модели ТС на основе физических эффектов, отображающих принцип действия, используется только при синтезе новой ТС [6-8]. Однако существующая методика построения такой модели и наглядность для восприятия далеки от совершенства. Само понятие «физический эффект» – неоднозначно, поэтому и описание принципа действия может трактоваться по-разному (даже для простых ТС). В одном компоненте ТС обычно наблюдается несколько физических эффектов, поэтому модель чрезмерно разрастается.

Анализ ТС может проводиться на разных уровнях абстракции. Если анализ ТС проводится на уровне функциональных блоков, включающих множество компонентов, то расписывать все физические эффекты крайне трудоемко и нецелесообразно.

Существующие подходы к выявлению принципа действия

Для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, регулировке, контроле и ремонте обычно пользуются функциональными¹⁴ и принципиальными¹⁵ схемами [9]. Схемы, в зависимости от видов элементов и связей изделия, подразделяют на следующие виды:

- электрические;
- гидравлические;
- пневматические;
- кинематические;
- оптические;
- комбинированные.

Для наглядного представления общих принципов построения ТС и уяснения принципов их работы часто используются мнемонические схемы. Пример мнемонической схемы для парогазовой установки генерации электроэнергии приведен на Рисунке 2. Такие схемы помогают описать принцип действия ТС в общих чертах, однако они только частично отображают процессы, происходящие в компонентах, и не позволяют провести качественный анализ принципа действия.

¹⁴ Функциональная схема – схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или в изделии (установке) в целом.

¹⁵ Принципиальная (полная) схема – схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия (установки).

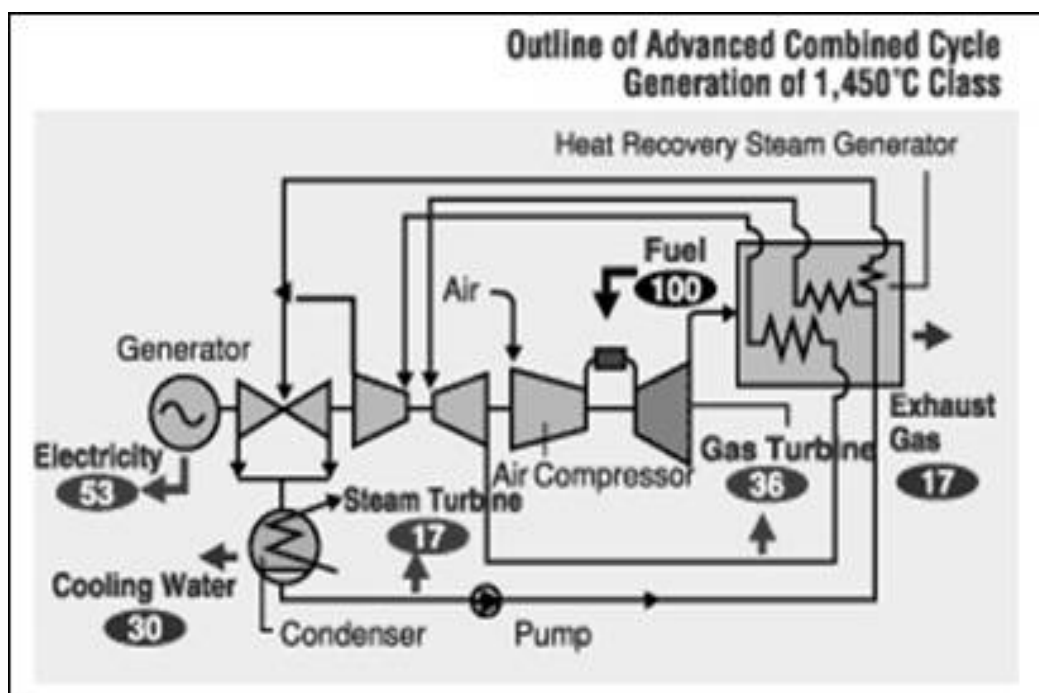


Рисунок 2. Схема парогазовой установки генерации электроэнергии

Наиболее глубоко вопросы моделирования, анализа функционирования и синтеза рассмотрены в **Теории Систем** [10]. Изучение любой системы предполагает создание модели, позволяющей предсказать ее поведение в определенном диапазоне условий, решать задачи анализа и синтеза реальной системы. В зависимости от целей и задач изучения системы моделирование может проводиться на различных уровнях абстракции. Функциональная организация, отражающая принципы действия системы, может быть описана:

- алгоритмически;
- аналитически;
- графически;
- таблично;
- посредством временных диаграмм функционирования;
- вербально (словесно).

При описании системы рассматривают ее как структуру, в которую в определенные моменты времени вводится нечто (вещество, энергия, информация и т. д.) и из которой в определенные моменты времени нечто выводится.

Функциональная схема – графический документ, в котором в виде условных обозначений отражены состав, структура и принцип действия устройства, а также его отдельных блоков. Функциональная схема является экспликацией отдельных видов процессов, протекающих в целостных функциональных блоках и цепях¹⁶ устройства. Функциональная цепь состоит из взаимосвязанных функциональных блоков-компонентов, участвующих в распространении и преобразовании ресурсов¹⁷ (вещества, энергии, полей, сил, информации, финансов и т. д.) от источников до объектов назначения функциональной цепи. Функциональный блок исследуемой системы схематично представлен на Рисунке 3.

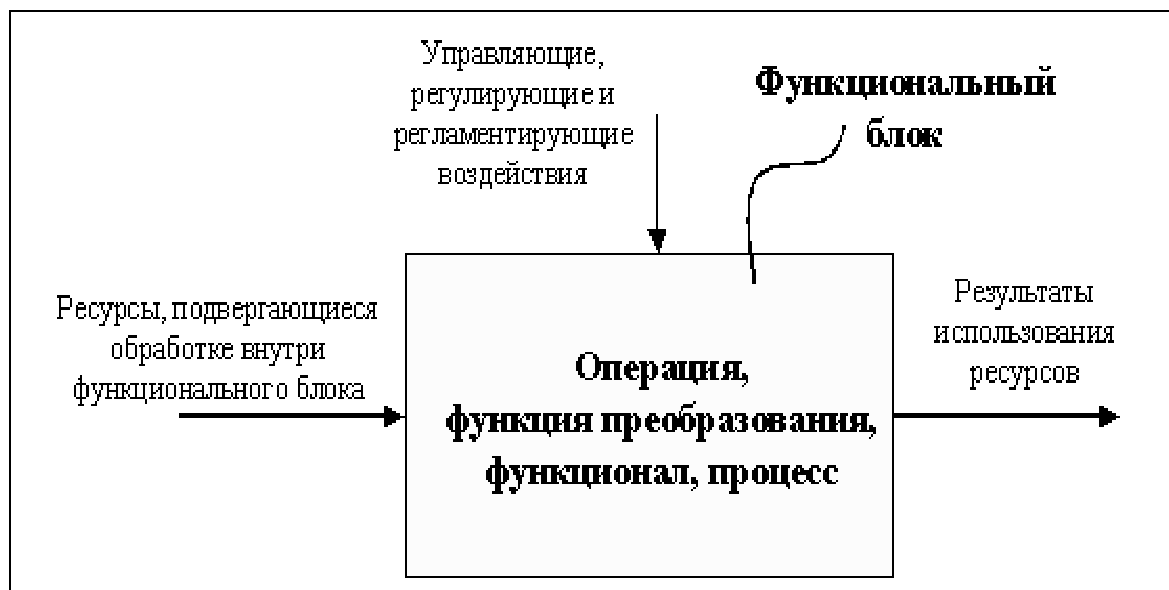


Рисунок 3. Функциональный блок

¹⁶ Функциональная цепь – линия, канал, тракт определенного назначения.

¹⁷ Ресурс – количественная мера возможности выполнения какой-либо деятельности; условия, позволяющие с помощью определенных преобразований получить желаемый результат.

Функциональный блок преобразует входные ресурсы в выходные результаты (то, что требуется получить в результате выполнения данной функции преобразования). Управление определяет, когда и как это преобразование может или должно произойти. Преобразования, осуществляемые функциональным блоком, могут описываться формулами, графиками, таблицей, описанием процесса или условным обозначением. Функциональные блоки системы имеют связи, через которые осуществляются взаимодействия. Характеристикой любого взаимодействия (действия) являются энергия, поле или сила. На каждое воздействие материальный объект формирует реакцию, сопровождающуюся изменением параметров состояния вещества, преобразованием энергии, полей и/или сил. Если эти изменения происходят в системе объектов, то целесообразно говорить о взаимосвязанных вещественно-энергетических преобразованиях системы.

Построение модели принципа действия

Если функциональная или принципиальная схема ТС отсутствует, то можно предложить несколько вариантов построения модели принципа действия. Например, сначала можно построить структурную схему существующей ТС, включающую функциональные блоки (компоненты) и их конструктивные связи. Далее в модель вводятся надсистемные и отмечаются системные источники ресурсов (энергии, силы, вещества, поля, сигналов управления, информации и т. д.). Отмечаются и при необходимости вводятся в модель потребители результатов деятельности ТС, обычно являющиеся объектами назначения ТС. По структурной схеме ТС прослеживаются полезные потоки и преобразования ресурсов от их источников до объектов назначения. Ряд связанных функциональных блоков, через которые проходит вещественно-энергетический поток от источников до приемников, является функциональной цепью. Для выявления принципа действия ТС достаточно описать взаимосвязанные

последовательности полезных преобразований ресурсов и сопутствующих процессов в функциональной цепи, отмечая условия их возникновения и протекания. Однако описательный характер такого представления принципа действия сложен для визуального восприятия и анализа. Для этой цели наиболее подходят принципиальные схемы, в которых каждый компонент имеет условное обозначение и соответствующий ему функционал¹⁸. При этом обозначения в электрических, гидравлических, пневматических, кинематических, оптических и комбинированных схемах только помогают понять принципа действия. Для визуализации процессов в компонентах, их анализа и оценки эффективности принципа действия используют трудоемкие математические модели ТС.

Достаточно просто визуализировать процессы в компонентах ТС и в их связях можно, если построить модель **вещественно-энергетических преобразований** ТС. Более подробно о методиках построения и анализа моделей вещественно-энергетических преобразований ТС изложено в [3, 4]. Такую модель можно построить, например, на основе функциональной модели, используемой в ФСА [2]. На первом этапе моделирования каждая функция функциональной модели интерпретируется соответствующим потоком энергии или вещества, полем или силой и маркируется как входной ресурс (вход), управление или результат (выход). Далее устанавливаются причинно-следственные связи между входами и выходами компонента. Анализируя причинно-следственные последовательности процессов преобразования в компонентах и их взаимные влияния можно составить модель системы процессов компонента. Для того чтобы в первом приближении визуализировать процессы, происходящие в компонентах, достаточно использовать всего 4 обозначения для любых (даже химических) вещественно-энергетических преобразований. Эти условные обозначения

¹⁸ Функционал – Числовая функция.

(см. Таблицу 1), названные автором «Суперпозиция», «Аккумуляция», «Модификация» и «Мутация» отображают количественные и качественные изменения ТС в пространстве и во времени.

Таблица 1. Условные обозначения преобразований.

<i>Изменения</i>	<i>Количественные</i>	<i>Качественные</i>
В пространстве	 – Суперпозиция (разделение, объединение или векторное сложение вещественно-энергетических потоков, полей и сил)	 – Модификация (конверсия физических свойств вещества, вида энергии или взаимосвязанная конверсия составляющих)
Во времени	 – Аккумуляция (накопление или расход вещества и энергии, сопровождающееся переходными процессами)	 – Мутация (необратимые изменения свойств вещества и вида энергии)

Эти же обозначения отображают качественные отношения объектов к вещественно-энергетическим потокам и их свойства. Причинно-следственными связями этих преобразований будут являться потоки вещества и энергии, поля и силы, потоки информации и т. д., которые можно отображать на модели стрелками разного цвета.

Для лучшего представления процессов преобразования в компоненте можно над изображениями вещественно-энергетических потоков ввести общепринятое обозначение изменяемой физической величины. Полученная модель отображает причинно-следственную структуру процессов (преобразований) в ТС, поэтому, пользуясь такой моделью, легко проводить причинно-следственный анализ недостатков [3, 11]. Если в этой модели оставить только взаимосвязанные полезные преобразования и полезные потоки энергии и вещества, поля и силы, то модель преобразуется в модель принципа действия (функциональную схему).

На основании вышеизложенного предлагается определение термина **Принцип Действия** ТС: это система вещественно-энергетических преобразований ТС, реализующих ее назначение. Такое определение принципа действия подходит для рассмотрения разных уровней абстракции ТС.

Используя предлагаемый выше метод можно построить модель вещественно – энергетических преобразований и модель принципа действия для любой ТС. В частности, для электрического трансформатора (смотри Рисунок 1) упрощенная модель вещественно-энергетических преобразований и модель принципа действия примут вид, приведенный на Рисунке 4.

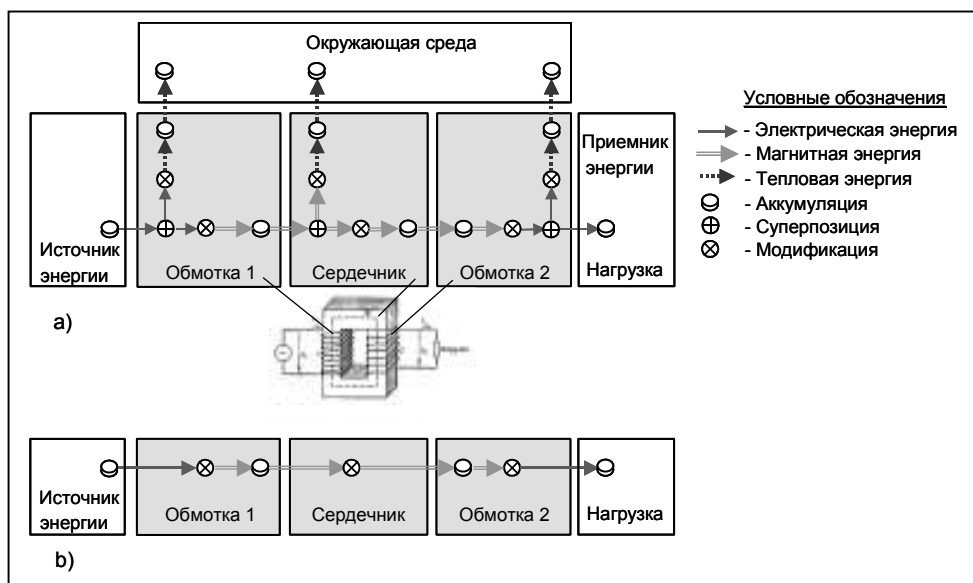


Рисунок 4. Электрического трансформатор: а) – упрощенная модель вещественно-энергетических преобразований; б) – модель принципа действия

Наглядность представления принципа действия ТС по предлагаемым правилам может быть продемонстрирована на примере губного свистка (Рисунок 5). Для подробного описания принципа действия свистка достаточно согласно модели, приведенной на Рисунке 5с, заменить принятые условные обозначения (суперпозиция, аккумуляция и модификация) наименованиями конкретных процессов преобразования потока воздуха, учитывающих особенности конструкции.

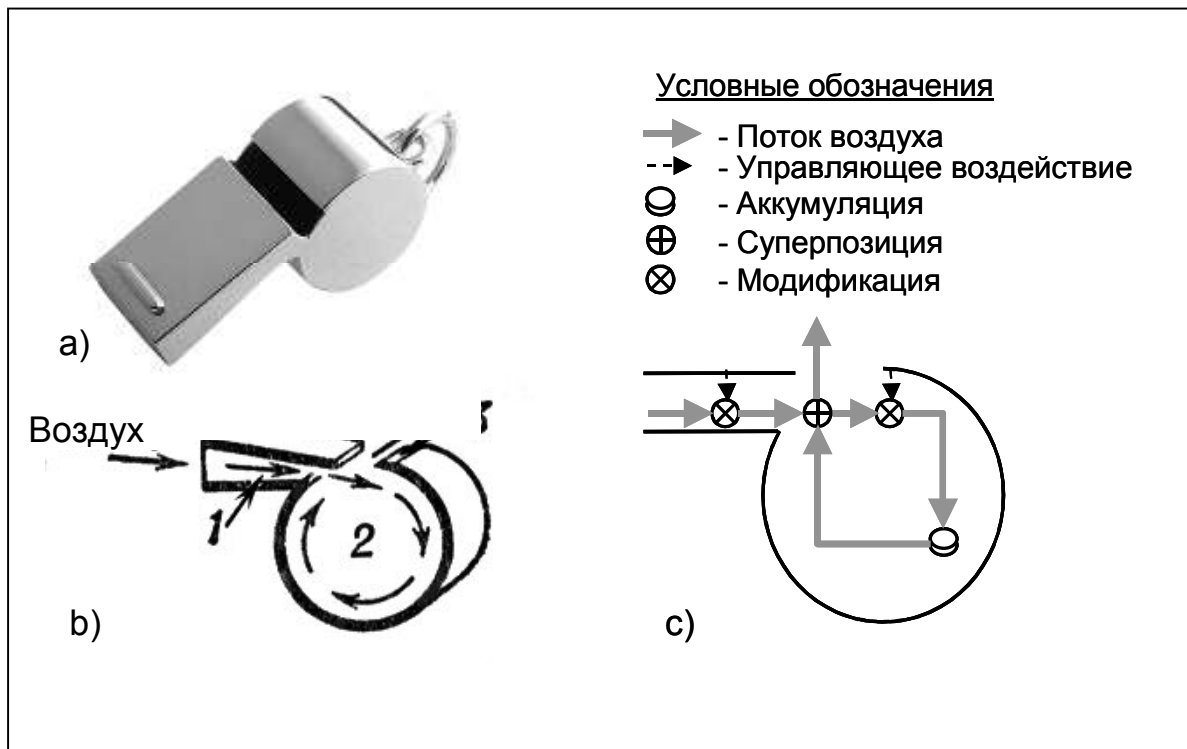


Рисунок 5. Губной свисток: а) – общий вид; б) – схема, иллюстрирующая принцип действия; в) – модель принципа действия

Пример традиционного представления принципа действия метал-галидной батареи приведен на Рисунке 6.

Упрощенная модель вещественно-энергетических преобразований этой батареи (в одном из режимов работы) приведена на Рисунке 7. Если на модели вещественно-энергетических преобразований метал-галидной батареи удалить тепловые потоки и влияющие на них преобразования, то получим модель принципа действия.

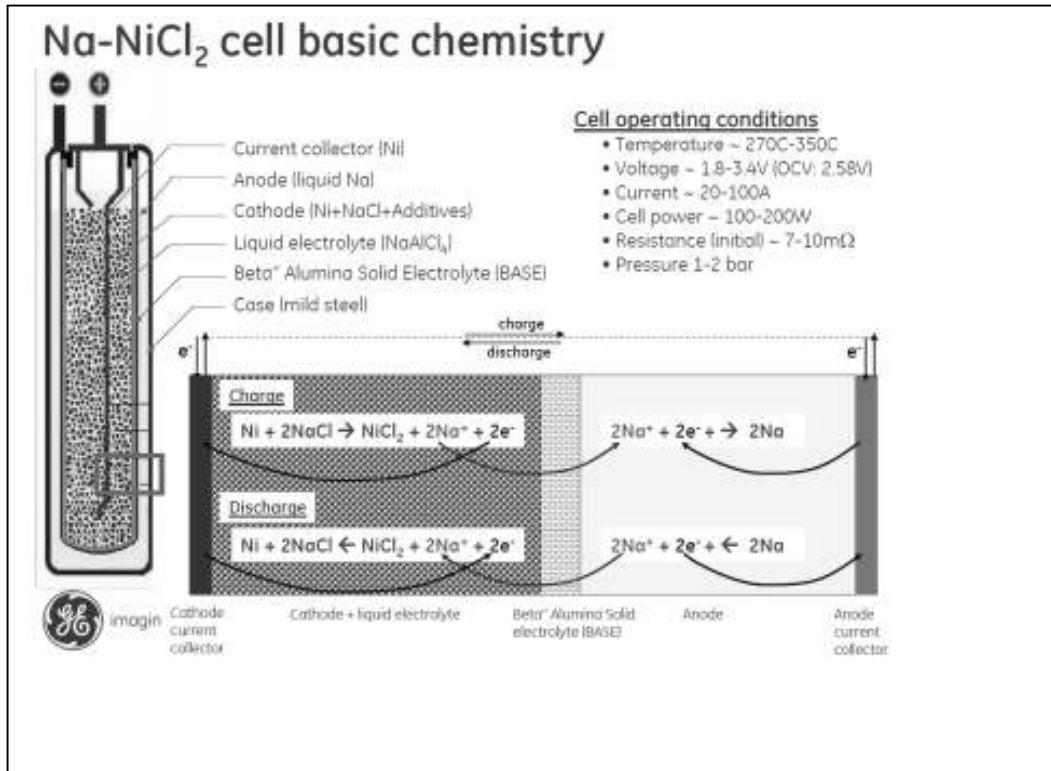


Рисунок 6. Метал-галидная батарея: а) – традиционное представление принципа действия

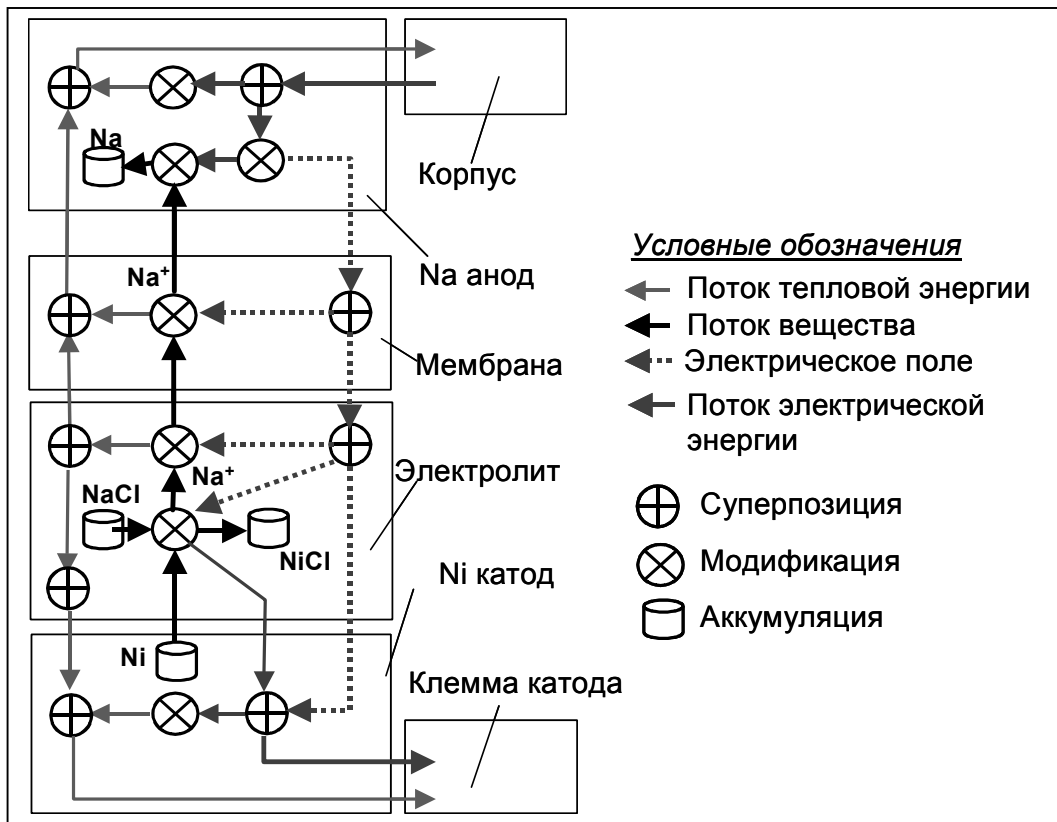


Рисунок 7. Метал-галидная батарея. Упрощенная модель вещественно-энергетических преобразований

Анализ принципа действия

Каждый функциональный блок (компонент) имеет ряд конструктивных и эксплуатационных назначений. Вещественно-энергетические преобразования и управляющие воздействия в модели ТС формируют эксплуатационные назначения функционального блока (компонента). Ограничение распространения и формирование направленности вещественно-энергетических потоков, полей, сил и управляющих воздействий, а также организация связей взаимных связей компонентов функциональных цепей формируют конструктивные назначения функционального блока (компонента).

При анализе модели вещественно-энергетических преобразований ТС необходимо отметить только полезные потоки вещества и энергии, поля и силы, а также их преобразования, формирующие принцип действия и управление процессами. Неотмеченные в этой модели потоки вещества и энергии, поля и силы, а также их преобразования будут являться вредными воздействиями, потоками и преобразованиями или потерями. Оценив их значения, легко поставить задачи на совершенствование ТС.

Для того чтобы оценить эффективность ТС и ее принципа действия, сравнить ТС, имеющие разные принципы действия, определить наиболее проблемные компоненты и поставить задачи на совершенствование принципа действия, необходима унифицированная оценка характеристик ТС и ее компонентов. В ТРИЗ широко применяется понятие «Идеальность» [1], которое может быть использовано как для оценки ТС в целом, так и для каждого ее компонента в отдельности. Согласно с этим ТС характеризуется эффективностью работы при реализации ее назначений, отнесенной к соответствующим материальным и энергетическим затратам. Значимые материальные (C_m) и энергетические (C_e) затраты ресурсов для всей ТС могут быть рассчитаны в стоимостном выражении для каждого этапа жизненного цикла ТС или просуммированы.

Эффективность работы системы, ее цепи или компонента может описываться числовым функционалом, зависящим от преобразовательных функций компонентов, либо качественным функционалом. Функционал количественно или качественно описывающий полезную деятельность системы называют функционалом эффективности (F). Функционалы отдельных компонентов (F_i) могут описывать внутренние процессы системы и являться составляющими (сомножителями) функционала эффективности функциональной цепи ТС:

$$F = \Pi(F_i).$$

Функционалы эффективности ТС, ее функциональной цепи и компонента могут быть определены отношением результатов (R_i) их функционирования (с учетом адекватности) к израсходованным в процессе функционирования ресурсам (S_i).

$$F_i = A_i * R_i / S_i, \text{ где}$$

A_i – адекватность результатов функционирования объекта можно оценить формулой:

$$A_i = (R_i - |\Delta R_i|) / R_i, \text{ где}$$

ΔR – расхождение полученного и желаемого (идеального) результатов. Анализируя адекватность результатов функционирования ТС и ее компонентов можно оценить функционал эффективности управления ТС (ее цепей управления).

Идеальность (I) компонента (функционального блока или цепи) ТС может быть определена отношением его взвешенного функционала эффективности к нормированной стоимости компонента (C_{ni}):

$$I_i = W * F_i / C_{ni}, \text{ где}$$

W – вес функционала эффективности компонента может быть определен отношением числа вещественно-энергетических преобразований этого компонента, входящих в принцип действия ТС или управления, к числу значимых преобразований компонента;

(C_{ni}) – нормированная стоимость выбранного компонента определяется отношением его стоимости к стоимости компонента ТС, имеющего максимальную величину. Сравнивая значения Идеальности конкурирующих ТС можно определить лучшую ТС. Компоненты ТС, имеющие низкие значения Идеальности, являются первыми кандидатами на совершенствование или на устранение их из системы.

Заключение

По мнению автора, представленная методическая разработка является связующим звеном большинства методических инструментов ФСА-ТРИЗ. Она может быть полезна на всех этапах выполнения методических процедур анализа и решения проблем, включая прогноз развития. По опыту автора, использование модели вещественно-энергетических преобразований для анализа ТС всегда приводит к нетривиальным решениям.

Список литературы

1. Альтшуллер Г. С. АРИЗ – значит победа. АРИЗ-85В. – В кн.: Правила игры без правил. – Петрозаводск: Карелия, 1989.
2. Литвин С. С., Герасимов В. М. Основные положения методики проведения ФСА / Методические рекомендации. Ч. 4, 5. // Журнал ТРИЗ. Обнинск: Протва-Прин, 1992. 3. 2 (№6).
3. Кашкаров А. Г. Вещественно-энергетические преобразования в ТС. Методика построения и анализа моделей / Диссертация на соискание звания «Мастер ТРИЗ». Июль 2009. <http://www.triz-summit.ru>
4. Кашкаров А. Г. Релевантные модели ТС. Алгоритм построения и анализ // Материалы конференции ТРИЗ-Фест 2009. Санкт-Петербург, 2009. <http://www.triz-summit.ru>

5. Кашкаров А. Г. Совершенствование принципа действия // Материалы конференции ТРИЗ-Фест 2010. Санкт-Петербург, июль 2010. <http://www.triz-summit.ru>

6. Глазунов В. Н. Поиск принципов действия в технических системах. Т. 4-М «Речной транспорт». 1990. – 111 с.

7. Горин Ю. В. Применение физических эффектов и явлений при решении изобретательских задач. ОЛМИ, 1974.

8. R. Koller. Konstruktions methode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin – Heidelberg – New-York: Springer – Verlag, 1976.

9. ГОСТ 2.701 – СХЕМЫ. ВИДЫ И ТИПЫ.

10. Родионов И. Б. Теория систем и системный анализ. Курс лекций. <http://victor-safronov.narod.ru>

11. 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 2007. www.matriz.ru

Особенности тризовского подхода к анализу-описанию устройства (структуры) технических объектов

Ключ В. Е.

Аннотация

Автор исходит из того, что тактические задачи-трудности, возникающие при проектировании технических объектов и относящиеся к особенностям принципов их действия, могут продуктивно решаться с помощью тризовского вепольного анализа, а задачи подобного же рода, но уже стратегического масштаба (т. е. касающиеся проблем прогнозирования ближнего и дальнего будущего технических объектов и принципов их действия) могут продуктивно решаться в рамках тризовского функционально-структурного анализа. Так что важнейшей задачей тризовских теоретических исследований является не ревизия этих тризовских заходов, а дальнейшее развитие заложенных в них исходных и очень продуктивных идей-принципов. Исходя из этого, автор основное внимание в статье уделяет такой широко известной модели, полученной тризовцами на путях функционально-структурного анализа вещей – средств Д., как «полная ТС», имея своей целью как повышение аналитической мощи этого тризовского инструмента, так и подтверждение на этом примере своего исходного тезиса. Для этого автор в опоре на такие категории системного подхода, как деятельность (Д.) и средства Д., а также на такую закономерность в эволюции-развитии актов Д. любого вида, как уменьшение доли участия людей в актах Д. (происходящее за счет увеличения доли участия технических средств Д.): во-первых, производит смысловую корректировку функциональной схемы нижнего (исполнительного) этажа уже известной блок-схемы этой модели, во-вторых, дает развернутое и принципиально новое описание функционального устройства органа управления этой модели. И далее показывает, что модель «полная ТС» в ее модифицированном (т. е. в функционально более развернутом и более стройном логически) описании может служить и исходным концептом, и картой-лоцией в Д. разработчика вещей. К тому же она дает мощный импульс нашим общемировоззренческим размышлениям.

Принцип действия технической системы

Литвин С. С.

Определение Принципа Действия

Предлагается связать определение Принципа Действия (ПД) Технической Системы (ТС) с определением ее Функции. В TRIZplus и G3:ID принято следующее определение Функции – действие одного материального объекта по изменению (или сохранению) параметров другого материального объекта. Из этого определения следует, что во-первых, Функция это всегда некое действие, и во-вторых, это действие направлено на изменение или сохранение какого-то параметра. Таким образом Функция системы определяет, **что** субъект Функции делает с ее объектом, но не говорит, **как** именно, за счет чего это действие выполняется.

Предложено следующее определение Принципа Действия: конкретный физический способ изменения или преобразования функционального параметра, реализующий Функцию.

Если ТС имеет две и более функции, то у них может быть одинаковый ПД или у каждой из них свой собственный.

Пример 1 – зубная щетка

Функция 1 – удалять налет с зубов. Изменяемый параметр – положение налета в пространстве. Возможные Принципы Действия – механический перенос (в этом смысле и обычная щетка, и флосс-нить, и полоскание имеют одинаковый ПД), термическое удаление, и т. п.

Функция 2 – отделять налет от зубов. Изменяемый параметр – адгезия налета к зубам. Возможные ПД – механическое «сдираание» (обычная щетка, флосс), растворение (полоскание), ультразвуковое разрушение налета, лазерное разрушение налета, и т. п.

Принцип Действия Технологических Процессов

Предложено рассматривать технологические процессы, как комбинацию различных единиц оборудования с разными ПД, выполняющих разные Функции.

Пример 2 – процесс гомогенизации высоковязкого орехового масла при добавлении порошков кукурузного крахмала и соевых протеинов

Функция – смешать (равномерно) несколько разных ингредиентов (перемещать частицы ингредиентов относительно друг друга). Изменяемый параметр – количество (концентрация) частиц в определенном объеме. Используемое оборудование – шнековый смеситель (ПД – механическое перемещение частиц относительно друг друга), дисковый смеситель (ПД – сдвиг частиц относительно друг друга), струйный смеситель (ПД – перемещение частиц относительно друг друга за счет гидравлического удара), вибромиксер (ПД – сверхбыстрое перемещение частиц друг относительно друга за счет резонанса).

Принцип Действия Активного Агента и Системы Доставки

Для большинства товаров народного потребления (consumer goods) активный агент (по существу рабочий орган) продукта (active ingredient) и система его доставки (delivery system) имеют разные Функции и соответственно разные Принципы Действия.

Пример 3 – система отбеливания зубов в домашних условиях

Функция собственно отбеливателя (Активного Агента) – изменять цвет зубов. Активный Агент в большинстве подобных продуктов – химический отбеливатель (ПД – химическая реакция эмали зубов и окислителя). В лазерных отбеливателях Активным Агентом является оптическое поле (ПД – физическое разрушение дисколорантов).

Функции Системы Доставки соответственно – доставить отбеливатель к зубам и удерживать его на зубах. В старых системах доставки эти функции выполнялись специальной капой, надеваемой на зубы (ПД –

механическая доставка и удержание отбеливателя). В современных продуктах типа WhiteStrips для доставки отбеливателя используется прозрачная пленка с односторонней проницаемостью (ПД для Функции доставки – мембранная технология, ПД для Функции удержания – физическая адгезия).

Уровни Функции

Существует отчетливая иерархия Функций. Чем выше уровень Функции, тем большим количеством Принципов Действия ее можно реализовать. Введено понятие Мега-Функции, объединяющей группу однородных Функций. Для разных конкретных Функций, реализующих одну Мега-Функцию, ПД будут также разными.

Пример 4 – изготовление изделия с множеством отверстий микронного диаметра

Функция (уровень 1) – отделять частицы от объекта (именно такова функциональная природа проделывания отверстий). Типовые Принципы Действия на этом уровне – механическое удаление частиц, например, микро-сверление, выжигание материала (лазер), и т. п.

Функция (уровень 2) – перемещать материал (формировать отверстия в изделии). Здесь уже возможны другие ПД, не связанные с удалением частиц из отверстий. Например, механическое раздвигание материала (штамповка).

Мега-Функция (уровень 3) – формировать изделие с отверстиями. Этот уровень функции уже допускает более нетривиальные Принципы Действия, такие как формирование изделия любой формы (в том числе с отверстиями) из гранул, нитей, порошка, и т. п.

Влияние Количественных Характеристик на Принцип Действия

Иногда в рамках некоего общего Принципа Действия имеет смысл выделять под-виды ПД.

Пример 5 – проделывание отверстий в тонких пленках

Для одного и того же Принципа Действия (механическое прокалывание пленки) возможны сильно отличающиеся под-виды ПД в зависимости от скорости прокалывания. При сравнительно малой скорости ПД сводится к обычной штамповке. При космических скоростях прокалывания происходит качественный скачок в ПД с новыми уникальными возможностями (порошковая пушка).

На базе предложенного понимания Принципа Действия уточнено определение Рабочего Органа ТС как элемента ТС, реализующего ее Принцип Действия.

Рассмотрено также влияние уточненного определения ПД и механизмов его формулирования на такие разделы ТРИЗ, как Функциональный Анализ, Законы Развития ТС (включая S-Curve Analysis), Объединение Альтернативных Систем, MPV Analysis, etc.

Алгоритм выявления принципа действия ТС на основе функционального и потокового анализа

Логвинов С. А.

Наряду с понятием «техническая система», понятие «принцип действия» является одним из основных понятий ТРИЗ. Оно является основой для определения уровня изобретений и построения S-образных кривых. Как правило, интуитивного определения принципа действия вполне достаточно для использования большинства классических ТРИЗ-инструментов. Однако для успешного применения некоторых современных ТРИЗ-инструментов необходимо более формальное определение принципа действия (ПД) технической системы (ТС). К сожалению, в настоящее время отсутствует общепризнанный способ выявления и формулирования ПД ТС.

Уточним методические инструменты, требующие более формального определения ПД ТС. Это:

- Функционально-ориентированный поиск.
- Объединение альтернативных систем.
- Прогнозные инструменты.

Для чего необходимо определение ПД? Прежде всего, для сравнения и классификации ТС. Т. е. ПД не является «инструментом абсолютного описания ТС», способом «записать формулу ТС». Скорее, это инструмент сравнения ТС, инструмент поиска сходств и различий анализируемых ТС. При решении практических задач мы никогда не сравниваем транзистор и бульдозер. Как правило, сравниваем системы, которые, в зависимости от условий задачи и уровня рассмотрения, могут рассматриваться как имеющие одинаковый ПД или как существенно отличающиеся. Проведем простой мысленный эксперимент: поставим рядом самолет и вертолет и попытаемся сравнить их принцип действия. Автор неоднократно

провоцировал обсуждение этого примера и убедился, что удовлетворяющего всех ответа на этот вопрос не существует.

Сделаем следующий шаг в нашем мысленном эксперименте. Поставим рядом третью техническую систему – дирижабль. Появление третьего объекта сразу вносит ясность в запутанные отношения между первыми двумя объектами. Несомненно, самолет и вертолет имеют одинаковый ПД: подъемная сила создается за счет движения одного из элементов ТС относительно воздуха. А в дирижабле подъемная сила статическая, создается за счет силы Архимеда.

Тем не менее остается интуитивное ощущение неполного описания ситуации. Все-таки самолет и вертолет очень разные системы. Наша интуиция подкрепляется объективными фактами. Эти две ТС существенно различаются по техническим (скорость полета) и даже экономическим параметрам (стоимость эксплуатации этих систем различается в разы). И, наконец, главный аргумент – вертолет способен к зависанию, а самолет нет. Как могут так сильно отличаться технические системы с одинаковым ПД?

Для поиска ответа спустимся на один уровень системного рассмотрения – сравним элементы, создающие подъемную силу (крыло самолета и несущий винт вертолета). Физический механизм их работы совпадает. Однако в самолете крыло неподвижно относительно центра масс ТС, а в вертолете винт вращается относительно центра масс. Теперь можно сделать общий вывод: самолет и вертолет имеют одинаковый ПД на уровне ТС и имеют разный принцип действия на уровне рабочего органа, создающего подъемную силу.

Отметим две очень интересные детали.

Первая. Самолет и вертолет отличаются от дирижабля по способу реализации одной из главных функций. Здесь функциональный подход к формулированию ПД вполне работоспособен. А вот различие самолета и

вертолета уже не описываются физическим способом реализации ГФ. В обеих системах используется подъемная сила, возникающая при движении крыла (лопасти) относительно воздуха. Различие лежит скорее в параметрах, описывающих эти функции. В самолете крыло движется по линейной координате, совпадающей с направлением движения центра масс. А в вертолете движение осуществляется по угловой координате. Это ограничение функционального подхода представляется очень важным для понимания.

Вторая. Для того чтобы разобраться с «отношениями» двух ТС, нам понадобилась третья ТС, существенно от них отличающаяся. Этот весьма неожиданный для автора результат, как оказалась, довольно давно известен и описан теорией личностных конструкторов Джоржа Келли. Согласно этой теории, когнитивный процесс наблюдения сходства и различий приводит к формированию т. н. личностных конструкторов – шаблонов, с помощью которых человек распознает и прогнозирует события. При этом для формирования конструктора необходимы, по крайней мере, три элемента (явления или предмета): два из элементов конструктора должны быть похожими друг на друга, а третий элемент должен отличаться от этих двух. В нашей ситуации таким третьим элементом стал дирижабль.

Сделаем практические выводы:

- Формальное описание ПД отдельной ТС представляет собой чисто академическую задачу. В практических задачах, как правило, сравнивается ПД двух (или более) ТС.
- Сравнение ПД ТС целесообразно вести минимум на двух системных уровнях. Наиболее интересна ситуация, когда на верхнем уровне ПД совпадает, а на нижнем уровне – отличается. Именно этот системный уровень должен подробно анализироваться. Именно здесь находится объяснение отличия MPV сравниваемых систем.

- Для облегчения формулирования ПД целесообразно вводить в рассмотрение третью ТС, существенно отличающуюся от анализируемых.

Отдельно рассмотрим, как проявляются границы применимости функционального подхода. Определение принципа действия ТС целесообразно вести на основе идентификации физического механизма реализации ГФ ТС. Идентификация физического механизма осуществляется в следующей последовательности:

Шаг 1. Определяем физический эффект (превращение), реализующее ГФ ТС. Если эти эффекты различны, формулируем различие ПД ТС. Если эффекты совпадают, а ТС явно различаются, – переходим к следующему шагу.

Шаг 2. Определяем особенности параметров ГФ. Если наборы параметров ГФ качественно различны, формулируем различие ПД ТС. Если наборы параметров ГФ совпадают, а ТС явно различаются, – переходим к следующему шагу.

Шаг 3. Определение структуры потоков, реализующих ГФ ТС. Если структуры потоков, реализующих ГФ различны, формулируем различие ПД ТС. Если структуры потоков, реализующих ГФ совпадают, а ТС явно различаются, – переходим к следующему шагу.

Шаг 4. Определение параметров потоков, реализующих ГФ ТС. Если параметры потоков, реализующих ГФ качественно различны, формулируем различие ПД ТС. Если параметры потоков, реализующих ГФ совпадают, а ТС явно различаются, – переходим к следующему шагу.

Шаг 5. Определяем влияние свойств материалов, применяемых в ТС, на работу системы в целом.

Рассмотрим эти шаги подробнее.

Шаг 1 достаточно очевиден. Например, с его помощью хорошо классифицируются источники света. Лампа накаливания, газоразрядная

лампа и светодиод основаны на разных физических эффектах и имеют разный ПД.

Шаг 2 рассмотрен выше. Отличие ПД самолета и вертолета лежит в области параметров ГФ. В целом этот шаг эффективен именно при различии пространственных характеристик ГФ сравниваемых ТС. Другой интересный пример – сравнение перфоратора и монтажного пистолета. Обе ТС имеют рабочий орган, ударяющий в бетон или кирпич. Т. е. реализуется механическое разрушение материала твердым инструментом. Однако сверло перфоратора имеет относительно низкую скорость и просто крошит бетон. Дюбель монтажного пистолета имеет высокую скорость, поэтому проникает в бетон без выкрашивания фрагментов материала. Понятие «высокая скорость» в этом случае имеет совершенно четкий физический критерий. Скорость дюбеля превышает скорость распространения трещины в материале. Поэтому строительный пистолет реализует качественно иную модель взаимодействия рабочего органа с материалом и, соответственно, имеет отличающийся ПД.

Шаг 3 рассмотрим на примере двухконтурного турбореактивного двигателя и турбовинтового двигателя. Эти две ТС имеют одинаковый набор физических эффектов, реализующих ГФ. Однако структура потоков в этих двигателях существенно отличается. Именно структура потоков первого и второго контура обеспечивает низкую шумность двухконтурных двигателей.

Шаг 4 рассмотрим на примере двухконтурного турбореактивного двигателя и турбовентиляторного двигателя. Имея одинаковую структуру потоков, они отличаются только степенью двухконтурности, т. е. соотношением параметров потоков. У двухконтурного турбореактивного двигателя степень двухконтурности не превосходит 2. У турбовентиляторных двигателей степень двухконтурности может достигать 4-6. В результате турбовентиляторные двигатели имеют

меньший удельный вес по отношению к взлетной тяге и меньший удельный расход топлива в широком диапазоне дозвуковых скоростей полетах.

Шаг 5 позволяет эффективно анализировать ТС, имеющие одинаковый набор физэффектов и одинаковую структуру потоков. Зададимся простым вопросом: чем отличается ПД свинцово-кислотного от ПД никель-кадмиевого аккумулятора? Они аналогичны на функциональном и потоковом уровне. Однако обладают абсолютно разными эксплуатационными свойствами и, как следствие, занимают разные рыночные ниши. Это различие становится легко понятным, если мы включим в определение ПД особенности материалов системы. Это может вызвать закономерное возражение: как можно включать свойства материала в понятие «принцип действия»? Ведь мы говорим именно о принципе, т. е. о чем-то общем, не сводимом к частным свойствам элемента ТС. Тем не менее, существуют ТС, свойства которых (а иногда и сама возможность функционирования) всецело определяются свойствами материалов, использованных в ТС.

Приведу несколько примеров.

1) Большинство электрохимических систем основаны на частных особенностях свойств конкретных материалов. Любопытная деталь – аккумуляторы одного электрохимического типа могут иметь множество конструктивно-технологических особенностей. Однако их рабочее напряжение будет одинаковым и определяться только потенциалами окисления и восстановления электродных материалов.

2) Свойства всех полупроводниковых приборов определяются свойствами полупроводникового материала (прежде всего – шириной запрещенной зоны). И появление коммерчески доступных материалов с новым набором свойств приводит к появлению новых ТС. Например, светодиоды появились только после того, как промышленность освоила

прямозонные полупроводники АЗВ5. А голубые светодиоды (и бурное развитие светодиодного освещения) было бы невозможно без нитридов галлия/индия.

3) Развитие авиации четко описывается линией дерево/полотно – алюминий – титан – композиты. Именно развитие основных конструкционных материалов обеспечивало качественные скачки МРV авиационных ТС. И в некоторых случаях мы имеем все основания считать деревянный самолет имеющим иной принцип действия, нежели композитный.

В завершение следует отметить, что заложенная в Шаг 5 идея выявления ПД на основе свойств материалов имеет любопытное развитие в свете расширяющегося применения «умных материалов». В этом случае материалы становятся носителем некой функции, и мы фактически возвращаемся к Шагу 1 – классификации на основе механизма реализации ГФ системы.

Определение принципа действия технической системы

Петров В. М.

Аннотация

В статье предлагается гипотеза определения принципа действия, структура принципа действия, его предназначение и способ применения.

Ключевые слова: принцип действия, потребность, функция, система.

Введение

Данная статья не предполагает дать окончательную формулировку определения принципа действия технической системы. В ней выдвигаются гипотезы, которые иллюстрируются примерами.

Статья является своего рода исследованием, постановкой вопросов, а не окончательным утверждением.

Автор надеется, что эти вопросы вызовут дискуссию, которая поможет более точно выявить определение принципа действия системы.

Предназначение принципа действия

Зачем вообще нужно знать, что такое принцип действия системы и, что это определение даст для ТРИЗ?

На наш взгляд, определение принципа действия системы, прежде всего, необходимо для:

- классификации технических систем по подобию биологии (таксономия),
- анализа существующих систем,
- синтеза новых систем.

История вопроса

Определения «Принципа действия» в общеизвестных энциклопедиях и справочниках нам не удалось найти. Имеется много описаний принципа действия конкретных систем.

Первое известное нам определение принципа действия в литературе по ТРИЗ дал Борис Голдовский в 1974 году в работе «О противоречиях в технических системах» [1]. Позже это определение было описано в работах [2, 3]:

«Особенности использования в технической системе природных явлений и эффектов, направленных на выполнение главной полезной функции (ГПФ), составляют **принцип действия** системы. Это важная характеристика ТС, ее существенный признак, по которому различают средства выполнения одной и той же функции. Например, функцию «транспортировки груза в воздушной среде» можно осуществить с помощью дирижабля, вертолета, самолета, ракеты, снаряда. И в самолете, и в вертолете используется одно и то же природное явление: образование подъемной силы на теле особой формы, движущемся в воздушной среде с углом атаки. Однако в самолете энергия двигателя преобразуется в энергию движения всего аппарата в воздушной среде, которая преобразуется в подъемную силу на крыле. А в вертолете энергия двигателя преобразуется в обособленное от других элементов движение многокрыльевого устройства – несущего винта. Соответственно, различают принципы создания подъемной силы – «самолетный» и «вертолетный». Основываясь на одинаковом принципе действия, мы называем самолетом и аппарат братьев Райт, и современный реактивный лайнер. По главной полезной функции и принципу действия системы определяется и принадлежность того или иного элемента данной ТС».

«...существенным признаком ТС является ее **принцип действия** (ПД). Принцип действия ТС представляет собой минимально необходимую совокупность природных эффектов и явлений (процессов), обеспечивающих выполнение ГПФ. ТС, имеющие общие ГПФ и принцип действия, составляют **функционально-физический класс**, занимающий

одну из параметрических ниш (термин «физический» здесь применен обобщенно, как синоним термина «природный»).

Поскольку каждая ТС состоит из нескольких подсистем, то принцип действия ТС совпадает с принципом действия одной из подсистем, являющейся **центральной** подсистемой.

Остальные подсистемы имеют свои принципы действия. Разницей в принципах действия подсистем, а также являющейся следствием этого разницей в структуре и в сочетаниях параметров отличаются друг от друга ТС, входящие в один функционально-физический класс...

Из представления ТС в виде единства ГПФ и ПД также следует, что замена ПД системы приводит к появлению совершенно иной ТС (в том же функциональном классе)».

В [4] дается другое определение:

«**Принцип действия** – представление *технической системы* в виде принципиальной схемы, в которой в упрощенной форме показаны основные конструктивные элементы и указаны во взаимосвязи действующие *физические эффекты* (могут быть и другие эффекты), служащие основой работы технической системы. П.д. можно описать в виде *физического принципа действия* – цепочки или сети взаимосвязанных физических эффектов. Такое представление легко отобразить ориентированным графом, вершинами которого являются наименования физических эффектов, а ребрами – входные и выходные *потоки вещества, энергии и информации*. При этом П.д. легко построить с помощью *поточковой функциональной структуры*, заменяя наименования *физических операций* в соответствующих физических эффектах. Представление П.д. в виде графа позволяет создавать автоматизированные банки данных по П.д. и осуществлять их компьютерную обработку. П.д. – это один из уровней описания технической системы и *иерархии* ее внутренних факторов».

В этой же работе раскрываются понятия, выделенные курсивом. Укажем некоторые из них.

Физический принцип действия – понятие, используемое при функционально-физическом анализе *технических объектов* и *синтезе физического принципа действия*, ф.п.д. технической системы называют структуру совместимых (см. *Совместимость физических эффектов*) и объединенных *физических эффектов*, обеспечивающих преобразование заданного начального входного воздействия A_1 в заданный конечный результат C_n .

Синтез физического принципа действия – выбор по *техническому заданию* из фонда физических эффектов *принципа действия технических систем*.

В [5] предлагают разрабатывать принцип действия ТС с помощью комбинации физических эффектов.

По нашим представлениям, подходы, указанные в [4] и [5], идентичны.

Гипотеза

Из приведенных выше формулировок нам наиболее близка формулировка, выдвинутая Б. Голдовским. Используя ее, выдвинем гипотезу.

Принцип действия – это *способ выполнения главной функции системы*.

Главная функция системы выполняется *рабочим органом*.

Таким образом, **принцип действия** – это *способ осуществления рабочего органа*.

Это своего рода главный принцип его работы, чаще всего он выражен в виде физического или химического действия. Возможно взаимодействие нескольких действий.

Метод доказательства

Доказательство гипотезы или ее опровержение будем осуществлять на примерах технических систем.

Нам представляется целесообразным такое доказательство осуществлять по цепочке:

Потребность → Функция → Принцип действия → Система (1)

Эта цепочка – основная линия **системно-ориентированного синтеза**, который является частью *системно-ориентированного подхода*, разработанного автором. Он включает также *системно-ориентированный анализ*.

Безусловно, одну и ту же **потребность** можно удовлетворить *разными функциями*, одну и ту же **функцию** можно выполнить *разными принципами действия*, а один и тот же **принцип действия** можно осуществить *разными системами*.

Для доказательства мы несколько изменим последовательность.

Потребность → Функция → Система → Принцип действия (2)

Это вызвано тем, что мы будем исходить из анализа существующих технических систем. Анализ будет проводиться в следующей последовательности:

1. Определение потребности, которая была удовлетворена.
2. Определение функций, которыми была удовлетворена данная потребность.
3. Определение систем, которые выполняли эти функции.
4. Определение принципов действия этих систем.

Доказательство

Рассмотрим примеры. Начнем с простейшего.

Пример 1

Потребность. Создание детали.

Функция. Рассмотрим одну из возможных функций – *обработка материала*.

Принцип действия (способ осуществления обработки материала):

1. Резание.
2. Плавление.
3. Штамповка.
4. Прессовка.
5. Ковка и т. д.

Система. Для каждого из принципов действия имеются свои системы с разными рабочими органами. Например, *резание* может осуществляться:

- ножом,
- резцом,
- фрезой,
- пилой и т. д.

Во всех этих случаях режущий инструмент имеет твердость больше, чем у детали. Инструмент перемещается относительно детали и внедряется в нее (создание усилий направленных внутрь детали), т. е. выполняются два действия одновременно.

Существует резка расплавлением или испарением материала: электродуговая, лазерная, электронная и прочие виды резки, создающие большую температуру. При этом имеется только одно движение по направлению резания, но не в глубину.

Этот пример *подтверждает* выдвинутую гипотезу определения принципа действия.

Пример 2

Рассмотрим другой пример.

Потребность. Видеть в темноте.

На сегодняшний день известны два принципиально разных направления удовлетворения этой потребности: *освещать предмет и видеть в инфракрасном (ИК) излучении.*

Каждое направление можно считать или **принципом действия** или **функцией**. Пока это открытый вопрос. Далее для простоты будем считать, что это функция.

Функция. Выберем функцию *освещение предмета*.

Принцип действия. Опишем, основные принципы действия, которыми можно создать освещение:

1. Использование химической энергии.
 - 1.1. Горение (окисление) горючего материала (топлива).
 - 1.2. Нагрев продуктов сгорания или тел каления.
2. Использование электрической энергии.
 - 2.1. Электрический нагрев тел каления.
 - 2.2. Создание плазмы.
 - 2.3. Электрическая дуга (подвид создания плазмы).
 - 2.4. Индуктивный нагрев. Вихревые токи разогревают заготовку под действием джоулева тепла.
 - 2.5. Излучение фотонов в полупроводниках(светодиод)и т. п.
3. Использование люминесценции:
 - 3.1. Электролюминесцентная энергия.
 - 3.2. Триболюминесцентная энергия. Преобразования механических воздействий в свет.
 - 3.3. Биоломинесцентная энергия. Бактериальные источники света в живой природе.

Каждое из этих направлений имеет свои поднаправления, а также их комбинации.

Случай 1

Система. Первоначально опишем системы использующие горение:

- лучина,
- костер,
- факел,
- свеча,
- масляный светильник,
- спиртовой светильник,
- керосиновая лампа,
- газовый светильник и т. п.

Принцип действия. Во всех системах рабочий орган – **огонь**.

Если воспользоваться выдвинутой гипотезой, то у всех этих систем один принцип действия – горение (химический эффект). Тем не менее системы различаются.

Это означает, что гипотезу следует уточнить.

В первых двух случаях горит дерево (если факел сделан из лучин, то и он полностью изготовлен из дерева). Остальные системы используют горючие материалы. В данном случае принцип действия зависит от горючего материала, но имеется и общая часть – фитиль.

Формально формулировка гипотезы подходит (*способ осуществления рабочего органа*), но получается слишком общее определение.

Гипотезу стоит уточнить.

Видимо, к высказанной выше гипотезе необходимо добавить следующее:

«...с учетом принципа действия подсистем (физических, химических, биологических, математических процессов и эффектов), дополняющих главный принцип действия».

Под этим мы понимаем и использование дополнительной *среды, материалов, элементов, процессов, алгоритмов* и т. п.

Случай 2

Теперь обратимся к первым двум системам: *лучине* и *костру*.

По уточненному определению «принципа действия» эти системы ничем не отличаются.

Следует ли считать, что принцип действия у этих систем *один и тот же или нет?*

Это спорный вопрос.

Если считать, что принципы действия разные, то в определение стоит так же добавлять **значение параметров**, в данном случае это размер. Такие параметры будем называть **существенными**.

Этот вопрос оставляем открытым.

Случай 3

Подтверждение уточненной гипотезы можно показать на электрических лампах, например, дуговых. В них источником света является *электрическая дуга*.

Общий принцип действия таких ламп – создание *электрической дуги*.

В дуговой лампе газ между электродами ионизируется под воздействием высокой температуры и электрического поля, в результате чего переходит в состояние плазмы.

Рассмотрим два вида таких ламп:

- *ртутная газоразрядная лампа*,
- *ксеноновая дуговая лампа*.

У них один общий принцип действия – *электрическая дуга*.

Они отличаются материалами, заполняющими колбу.

Ксеноновая лампа заполнена *ксеноном*, а *ртутная* – *парами ртути*.

В ртутных лампах (Дуговая Ртутная Люминесцентная – ДРЛ) используется излучение *люминофора*, нанесенного на внутреннюю поверхность колбы.

Имеются разновидности ртутных ламп:

- дуговые ртутные металлогалогенные лампы (Дуговая Ртутная с Излучающими добавками – ДРИ),
- дуговые ртутные металлогалогенные лампы с зеркальным слоем (ДРИЗ),
- ртутно-кварцевые шаровые лампы (ДРШ),
- ртутно-кварцевые лампы высокого давления (Дуговые Ртутные Трубочатые – ДРТ).

Дуговая ртутная металлогалогенная лампа (ДРИ) конструктивно схожа с ртутной лампой (ДРЛ), однако в нее дополнительно вводятся **добавки галогенидов** некоторых металлов (натрия, таллия, индия и др.), за счет чего значительно увеличивается световая отдача.

Дуговые ртутные металлогалогенные лампы с зеркальным слоем (ДРИЗ) представляет собой обычную лампу ДРИ, часть колбы которой изнутри частично покрыта зеркальным отражающим слоем, благодаря чему такая лампа создает направленный поток света.

Ртутно-кварцевые лампы высокого давления (ДРТ) представляют собой цилиндрическую кварцевую колбу с впаянными по концам электродами. Колба наполняется *аргоном*, и в нее вводится *металлическая ртуть*.

Общий принцип действия таких ламп один и тот же.

У каждой из ламп имеются свои особенности, которые частично видоизменяют общий принцип действия, за счет **добавлений** или **изменений**.

Таким образом, мы **подтвердили** необходимость введения **дополнения к гипотезе**.

Случай 4

Рассмотрим **светодиоды**. Это полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник,

создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока.

Принцип действия всех светодиодов одинаковый: *при пропускании электрического тока через p-n переход в прямом направлении, носители заряда – электроны и дырки – рекомбинируют с излучением фотонов*(из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой).

Для получения разных цветовых характеристик используются **разные материалы** полупроводника¹⁹.

Этот пример **подтверждает уточненную гипотезу**.

Пример 3

Потребность. Находиться (грузу или человеку) в определенном месте в определенное время.

Функция. Перемещение (груза или человека) из пункта А в пункт Б.

Перемещение можно осуществить в различных средах:

1. На поверхности земли:
 - 1.1. По дороге.
 - 1.2. По направляющей (рельс).
 - 1.3. По пересеченной местности.
2. Над поверхностью земли.
3. Под землей.
4. На поверхности воды.
5. Над поверхностью воды.
6. Под водой.
7. В воздухе.
8. В космосе.

Если говорить о перемещении (передаче) **информации**, то его можно осуществлять и **виртуально** – электронным путем через Интернет, спутники и т. д.

¹⁹Цвета и материалы полупроводника. Светодиод. Материал из Википедии.

Случай 4

Рассмотрим перемещение по **дороге**, которое может осуществляться:

1. Пешком.
2. Вьючным транспортом.
3. Гужевым транспортом.
4. Велосипедом.
5. Машиной (автомобиль, грузовик, автобус).
6. Двух-трех колесным моторным транспортным средством (мопед, мотороллер, мотоцикл) и т. д.

В первых трех видах систем рабочим органом являются **ноги**.

В остальных – **колеса**.

Таким образом, если принять первоначальную гипотезу, то принцип действия велосипеда не отличается от машины, мотоцикла и т. п.

Можно ли согласиться с такой формулировкой? Мы уже отмечали эти особенности на примере с освещением.

Безусловно, существуют и принципиально другие способы перемещения, например, гусеница, движение змеи, воздушная подушка и т. д.

Случай 5

Приведем более сложный случай на примере летательных аппаратов (ЛА).

Потребность и функция были описаны выше.

Рабочий орган. В данном случае их два: *двигатель* и *средства поддержания ЛА* (за счет чего создается подъемная сила).

У каждого из них могут быть разные принципы действия.

Основной принцип действия двигателя – это создание реактивной силы, которая может осуществляться:

- пропеллером,
- турбиной,

- реактивным двигателем и т. д.

Основные принципы действия создания подъемной силы следующие:

- **аэростатический** – использование Архимедовой силы (*аэростат, дирижабль*);
- **аэродинамический** – силовое воздействием воздуха на движущееся тело – аэродинамическая подъемная сила (*самолеты, вертолеты и т. п.*);
- **инерционный** – силой инерции летящего тела за счет начального запаса скорости или высоты, поэтому такой полет называют также пассивным (баллистические ракеты, искусственные спутники Земли, орбитальные космические станции и т. п.);
- **ракетодинамический** – реактивной силой за счет отбрасывания части массы летящего тела.

Общий принцип действия в данном случае – это *совместное действие двух принципов действия*: создание тяги и создание подъемной силы.

Случай 6

Интересно отметить, что колесо (**рабочий орган**) у механизированных средств перемещения (автомобиля, мотоцикла и т. п.) **выполняет сразу две функции**: перемещение и поддержание на дороге. Такое же действие осуществляет винт вертолета. В противоположность самолету, средствам передвижения на воздушной подушке и судам с подводными крыльями, у которых функцию поддержания осуществляет один рабочий орган, а передвижение другой.

Структура «принцип действия»

Можно обсудить структуру принципа действия.

Возможно, стоит разделить принципы действия по уровням, в зависимости от вида выполняемой функции:

1. **Главный принцип действия.**
2. **Основной принцип действия.**
3. **Вспомогательный принцип действия.**

Под **главным принципом действия**, можно понимать, описанную выше гипотезу, т. е. принцип действия *рабочего органа*, выполняющего **главную функцию системы**. При классификации *главный принцип действия* системы определяет ее **род** (верхний ранг классификации). Он представляет собой родовой признак или название родовой группы.

Основным принципом действия, будем называть принцип действия *основных элементов* системы (система *энергообеспечения: источник и преобразователь энергии* или *информации*; система *управления*; элементы *связей* и может быть *корпус*), выполняющих **основные функции системы**. При классификации *основной принцип действия* системы определяет ее **вид** (2-й ранг классификации). Он представляет собой видовой признак или название видовой группы.

Вспомогательным принципом действия будем называть принцип действия *вспомогательных элементов*, выполняющих **вспомогательные функции системы**. При классификации *вспомогательный принцип действия* системы определяет ее **группу** (3-й ранг классификации). Он представляет собой групповой признак или название группы семейства.

Может быть, стоит рассматривать **общий принцип действия**, объединяющий *главный, основной и вспомогательный*?

Структуру принципа действия можно представить следующим образом (см. рис. 1).

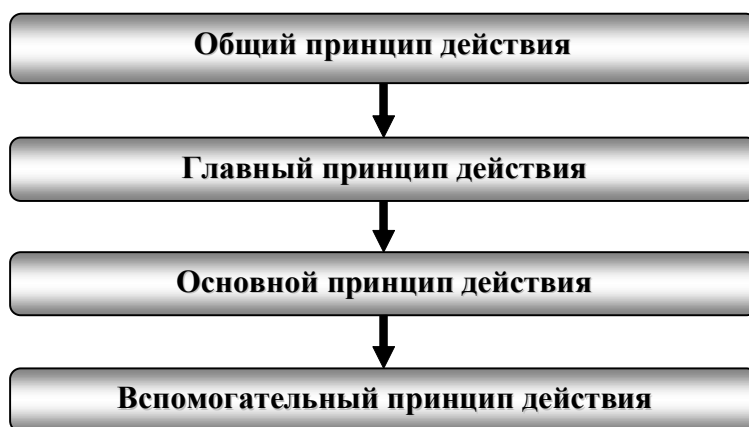


Рис. 1. Структура принципа действия

Уточненная гипотеза

В общем случае, видимо, можно сформулировать принцип действия так:

Главный принцип действия – это *способ выполнения главной функции системы, т. е. способ осуществления рабочего органа.*

Основной принцип действия – это *способ выполнения основной функции системы, т. е. способ осуществления основных элементов или дополнительных элементов* (в том числе материалов).

Вспомогательный принцип действия – это *способ выполнения вспомогательной функции системы, т. е. способ осуществления вспомогательных элементов.*

Общий принцип действия – это объединение *главного, основного и вспомогательного принципов действия.*

Возможно, что общий принцип действия будет складываться из главного и каких-то дополнений из действий основных или вспомогательных элементов (подсистем).

Дополнительными элементами могут служить: *среда, материалы, элементы, процессы, алгоритмы* и т. п.

Возможны случаи, когда один рабочий орган выполняет несколько главных функций (случай б), осуществляющих главный принцип действия

или для выполнения главного принципа действия необходимо несколько рабочих органов (случай 5).

Продемонстрируем структуру понятия «принцип действия» на примере.

Пример 4

Потребность. Информировать кого-то о чем-то.

Информация может быть:

- визуальной,
- звуковой,
- тактильной,
- температурной и т. п.

Функция. Для удовлетворения этой потребности необходимо использовать как минимум три функции:

- генерирование информации,
- передача информации,
- восприятие информации.

Рассмотрим только звуковую информацию на примере телефона. Краткая история развития телефона изложена автором в [6, 7, 8].

Главный принцип действия: преобразование звукового сигнала (голоса) в электрический сигнал, передача электрического сигнала, обратное преобразование электрического сигнала в звуковой.

Рассмотрим несколько основных принципов действия только для функции передачи информации.

Случай 7

Основной принцип действия: передача по проводам.

Вспомогательный принцип действия.

1. Первоначально телефон крепился к стене. Провод отходил от стены.

2. Затем телефонный аппарат можно было подключать к розетке с помощью короткого провода.

3. Далее провод подключения удлиннили. Такой аппарат можно было переносить на длину провода.

4. Следующим этапом создали радиотелефон, который в пределах небольшого расстояния передавал сигнал от телефонной трубки к стационарному аппарату без проводов (радиопередача).

Случай 8

Основной принцип действия: передача по радио (мобильный телефон).

Вспомогательный принцип действия.

1. Ретрансляционные станции.
2. Спутники.
3. Интернет.

Практическое использование понятия «принцип действия»

Понятие «принцип действия» поможет глубже осознать структуру и работу системы.

Оно может быть полезно при анализе существующих систем и синтезе новых.

Синтез новых систем проводится по цепочке (1).

Общий алгоритм синтеза новой системы показан на рис. 2.

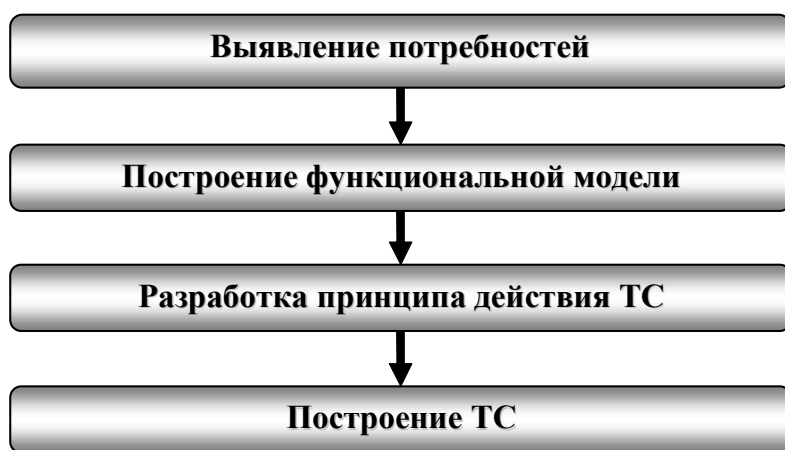


Рис. 2. Общий алгоритм синтеза новых систем

Каждый из пунктов имеет свою последовательность и свою технологию, которые в данной статье не рассматриваются.

Технология выявления потребностей описана в [9], технология построения функциональной модели – в [10].

Разработка принципа действия новой системы осуществляется в следующей последовательности:

1. *Определение главного принцип действия.*
2. *Определение основных принципов действия.*
3. *определение вспомогательных принципов.*

Общий принцип действия системы определяют после формулировки всех принципов действия будущей системы. Он представляет собой взаимодействие *главного, основного и вспомогательных принципов действия*. Причем отбираются только существенные для этого признаки (физические, химические и прочие эффекты, технологические процессы, математическое преобразование, алгоритм и т. п.). Это первый этап – выбор общей концепции построения новой системы. Алгоритм показан на рис. 3.

На следующем этапе начинают построение системы. Выявляют концепцию осуществления общего принципа действия, т. е. разрабатывают отдельные элементы системы и устанавливают взаимосвязи.

Именно в этом мы видим главное предназначение принципа действия технической системы.



Рис. 3. Развернутый алгоритм синтеза новых систем

Закономерности развития принципов действия технической системы

Вся история развития техники – это, на наш взгляд, история развития принципов действия технических системы элементов, выполняющих эти принципы действия.

В связи с этим нам представляется, что развитие принципа действия подчиняется тем же законам развития технических систем.

Это можно продемонстрировать на примере развития освещения от лучины до светодиодов и органических светодиодов, от камеры-обскуры до современного электронного фотоаппарата и т. д. и т. п.

Вопросы для обсуждения

1. Считать ли **общие направления удовлетворения потребности** принципом действия, функцией или еще чем-то? См. пример 2 (освещение, ИК излучение).
2. Должен ли принцип действия учитывать **параметры системы**? См. пример 2, случай 2 (размер древесины).
3. Стоит ли разделять принцип действия на **главный, основной и вспомогательный**? См. пример 3, случай 4.
4. Нужно ли рассматривать **общий принцип действия**? См. п. «Структура принципа действия».
5. Имеется ли специфика развития принципа действия или она подчиняется общим законам развития технических систем?

Выводы

Гипотеза, выдвинутая первоначально, имеет только теоретическое значение.

Такой принцип действия мы предлагаем называть **главным**. Он выполняет **главную функцию системы**, осуществляемую *рабочим органом*. Если для выполнения главной функции системы необходимы две или более функции, выполняющиеся разными рабочими органами, то общий принцип действия складывается из них.

Главный принцип действия может дополняться **основными и вспомогательными принципами действия**, тогда рабочий орган имеет определенные дополнения или изменения. Это могут быть дополнительные вещества, поля, процессы или алгоритмы. Кроме того, могут учитываться **значения некоторых существенных параметров**.

Такой принцип действия системы мы предлагаем назвать **общим**.

Все эти утверждения выдвинуты в качестве вопросов для обсуждения и дискуссий.

Литература

1. Голдовский Б. И. О противоречиях в технических системах // Материал ОЛМИ. Горький, 1974 (рукопись). Фонд ЧОУНБ, 32-5.
2. Голдовский Б. И., Вайнерман М. И. Рациональное творчество. О направленном поиске новых технических решений. М.: Речной транспорт, 1990. С. 23.
3. Голдовский Б. И. О противоречиях в технических системах – 2. Нижний Новгород, 1999. <http://metodolog.ru>
4. Техническое творчество: теория, методология, практика. Энциклопедический словарь-справочник / Под ред. А. И. Половинкина, В. В. Попова. М.: НПО «Информ-система», 1995. 408 с. С. 138.
5. Глазунов В. Н. Поиск принципов действия технических систем. М.: Речной транспорт, 1990. – 112 с.
6. Петров В. Системный подход в бизнес-проектировании. / Труды Международной конференции «Три поколения ТРИЗ» и Саммит разработчиков ТРИЗ. ТРИЗ Фест – 2006. 13-18 октября 2006 г. Санкт-Петербург, 2006. С. 343-350.
7. Петров В. Бизнес-проектирование. Системный анализ продвижения продукта на рынок / Управленческий консалтинг. Настольная книга руководителя. Книга 2. Киев: ПЦ «Фолиант», 2006. – 416 с. С. 73-83.
8. Petrov V. Designing Business Projects. TRIZ: una Nuevo Enfoque Para La Innovacion Sistemica. (Memorias). 1er. Congreso Iberoamericano de Innovacion Tecnologica. 4 al 7 de septiember de 2006 Puebla, Mexico. P. 174-182.
9. Петров В. М. Законы развития потребностей / Методы прогнозирования на основе ТРИЗ. Сборник научных трудов. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ. Выпуск 3. Санкт-Петербург, 2010. С. 222-260.

10. Петров В. М. Функциональный подход / Развитие инструментов решения изобретательских задач: Сборник трудов конференции. Библиотека Саммита разработчиков ТРИЗ. Вып.2. – СПб.: СПГУ, 2008. С. 172-195.

Определение и алгоритм выявления принципа действия технической системы на основе ее функционального анализа

Пиняев А. М.

Сокращения

ФСА – функционально-стоимостной анализ

ТРИЗ – теория решения изобретательских задач

ТС – техническая система

Аннотация

Принцип действия ТС и алгоритм его выявления определены на основе применения методики функционального анализа. В настоящей работе принцип действия технической системы определяется как упрощенная компонентно-функциональная модель ТС. Упрощенная модель включает в себя те функции, выполнение которых необходимо для адекватного выполнения главной и дополнительных системных функций. Эта совокупность также включает в себя некоторые из тех функций, устранение которых вызывает новые или усиливает существующие вредные системные функции. Для того чтобы функция была включена в эту совокупность, вызываемые ее устранением вредные функции должны приводить к невозможности использования технической системы на одном из этапов ее жизненного цикла. Оставшиеся функции, выполняемые системой, не включаются в принцип ее действия. Предлагаемый алгоритм определения принципа действия системы основан на построении полной компонентно-функциональной модели технической системы и исключении из нее тех функций, которые не удовлетворяют определению принципа действия.

Введение

Принцип действия является одним из основных понятий технологии промышленного конструирования. Принцип действия, с одной стороны, позволяет выделить рассматриваемую ТС из техносферы путем указания существенных признаков, свойственных только ей. С другой стороны, принцип действия позволяет «узнать» рассматриваемую систему в многообразии ее конструктивных исполнений. С помощью принципа

действия мы можем отличить фонарик от прожектора и в то же время увидеть, что фонарик остается фонариком независимо от его габаритов, интенсивности света, типа и энергоемкости батарей и т. п. – до тех пор, пока функции и принципы действия его компонентов не изменяются.

Таким образом, принцип действия позволяет нам правильно выбирать объекты анализа при выявлении законов развития ТС. Он также позволяет нам подбирать пары альтернативных систем при синтезировании новой системы путем их объединения. Принцип действия играет важную роль и при функционально-ориентированном информационном поиске, позволяя правильно определить лидирующую область техники для данной функции. Весьма важно правильно определять принцип действия и при прогнозировании развития ТС.

В литературе по теории конструирования технических систем [1] и аксиоматическому конструированию [2] вопрос определения принципа действия технических систем обсуждается достаточно детально и приведены рекомендации по разработке технических систем на основе принципа действия. Однако, несмотря на ключевую роль понятия принципа действия для технологии промышленного конструирования в целом и для ТРИЗ в частности, точность и инструментальность известных определений недостаточна для развития систем в чрезвычайно сложной, перегруженной информацией современной техносфере. Требуется новое, более конкретное и работоспособное определение, которое позволяло бы выполнять анализ областей техносферы быстро, уверенно и точно. Разработке такого определения и посвящается настоящая работа.

Предлагаемое Определение Принципа Действия

В соответствии с предлагаемым определением, *принцип действия технической системы – это совокупность ее элементов и их функций, необходимых и достаточных для выполнения главной и дополнительных*

функций технической системы при приемлемом уровне выполнения ее вредных функций.

Таким образом, новое определение позволяет использовать хорошо развитый аппарат методики ФСА+ТРИЗ в части компонентно-функционального анализа рассматриваемой системы.

Необходимо учитывать, что элементы, упомянутые в новом определении, во многих случаях включают надсистемные компоненты. Так, правильное определение принципа действия велосипеда невозможно без учета функций водителя.

Важно также, что предложенное определение включает в себя совокупность физических, химических, геометрических и других явлений и эффектов, на которых основывается работа системы. Эти эффекты включены через указание конкретных элементов ТС. Так, принцип действия самолета с подсистемой «реактивный двигатель» будет отличаться от принципа действия самолета с винтовым двигателем, хотя функциональные модели этих технических систем одинаковы. Можно даже предложить характеристику разницы в принципах действия ТС на основе количества отличающихся компонентов и функций.

Необходимо также указать, что из приведенного определения следует достаточность рассмотрения технической системы на ее верхнем иерархическом уровне.

При практическом применении определение принципа действия ТС выполняется в два этапа:

1. Построение компонентно-функциональной модели ТС на верхнем иерархическом уровне с использованием методики ФСА+ТРИЗ.
2. Проверка необходимости компонентов и функций в построенной модели для выполнения главной и дополнительных функций ТС без превышения допустимого уровня выполнения

системных вредных функций. Этот этап выполняется по описанной ниже методике.

Методика Выявления Принципа Действия

Методика заключается в серии мысленных экспериментов по удалению компонентов и функций из компонентно-функциональной модели ТС. Удаляя компонент или его функцию, мы отслеживаем влияние этого изменения на главную, дополнительные и вредные функции системы. Если влияние незначительное, рассматриваемый компонент или функция удаляются из модели принципа действия. Таким образом, в этой модели остаются только те компоненты и функции, которые абсолютно необходимы для функционирования ТС. Эта упрощенная модель является, по предлагаемому определению, принципом действия системы. Примеры анализа ТС по предлагаемой методике приведены в Приложении.

Примеры Определения Принципа Действия

Для каждого примера в Приложении приведена компонентно-функциональная модель ТС в табличной форме. Переход к принципу действия показан путем вычеркивания компонентов и функций из полной модели в соответствии с методикой, описанной в предыдущей главе.

Пример 1. Аппарат для производства гранул методом водяной резки

Эта ТС описана в [4] и предназначена для производства сухого гранулированного стирального порошка из вязкой смеси ингредиентов. Особенностью этой ТС является способность производить гранулы примерно одинакового размера, что благоприятно влияет на потребительские свойства стирального порошка и на промышленный процесс его упаковки.

Анализ показал, что некоторые функции компонентов верхнего иерархического уровня не являются абсолютно необходимыми для выполнения главной функции ТС. Так, функция Распределителя

«распределять струйки в пространстве» не является необходимой, если Распределитель делает только одну струйку, что не противоречит принципу действия.

По аналогичной причине не является необходимой функция Формирователя «распределять водяные струи в пространстве».

При рассмотрении функции Формирователя «вращать водяную струю» действие «вращать» было заменено на обобщенное действие «перемещать», так как именно это действие необходимо для выполнения главной функции.

При рассмотрении функций Гасителя было выявлено, что функции «закручивать водяную струю» и «преобразовывать водяную струю в стоячую воду» относятся к одному из возможных способов работы этого компонента, причем главная функция системы не зависит от того, как именно гаситель работает, до тех пор, пока он выполняет свои основные функции «принимать водяную струю» и «направлять воду в сток воды».

В целом принцип действия Apparata для производства гранул близок к его компонентно-функциональной модели. Это характерно для большинства современных ТС, поскольку при их разработке значительное внимание уделяется снижению затрат, а следовательно, уменьшению избыточности.

Пример 2. Установка для нагревания жидкости электрическим током

Эта ТС [5] предназначена для нагревания жидкостей путем пропускания через них электрического тока. Особенностью этого примера является то, что один из компонентов ТС – Соединяющая Труба – выполняет только транспортные функции и не является абсолютно необходимым для выполнения главной функции системы. Соответственно, Соединяющая Труба не включается в принцип действия системы.

Пример 3. Электромеханическая зубная щетка со светоизлучающим элементом [5]

Компонентно-функциональная модель этой ТС совпадает с принципом ее действия.

Литература

1. Hubka Vladimir. Principles of Engineering Design. P. 14-15.
2. Suh Nam P. Axiomatic Design: advances and applications. P. 14-37.
3. Литвин С. С., Герасимов В. М. Основные положения методики функционально-стоимостного анализа. Методические рекомендации. Информ-ФСА, Москва, 1991.
4. Пат. США № 6733709.
5. Ohio State University Extension Fact Sheet: Ohmic Heating of Foods. <http://ohioline.osu.edu>
6. Пат. США № 7845039.

ПРИЛОЖЕНИЕ: Примеры Определения Принципа Действия

Пример 1. Аппарат для производства гранул методом водяной резки

Системная функция: преобразовывать поток жидкого продукта в поток сухих гранул.

Принцип Действия:

Компонент	Функция
Распределитель	Содержать продукт Разделять продукт на отдельные струйки Распределять струйки в пространстве Задавать диаметр струйки Держать формователь водяных струй
Формирователь водяных струй	Прерывать струйку продукта Потреблять воду Формировать водяную струю Направлять водяную струю

	Распределять водяные струи в пространстве Вращать Перемещать водяную струю
Гаситель водяных струй	Принимать водяную струю Закручивать водяную струю Преобразовывать водяную струю в стоячую воду Направлять стоячую воду в сток воды
Насос продукта	Принимать продукт от его источника Сжимать продукт Перемещать продукт
Источник продукта	Преобразовывать исходные ингредиенты в продукт Перемещать продукт Поставлять продукт в насос
Сушильная камера	Удалять влагу из капель продукта Содержать горячий воздух Содержать капли продукта
Вентилятор	Перемещать горячий воздух
Конвейер	Перемещать гранулы
Водяной насос	Принимать воду от источника Сжимать воду Перемещать воду
Источник воды	Поставлять воду Очищать воду
Сток воды	Удалять воду
Гравитационное поле	Перемещать капли продукта Ускорять капли продукта

Пример 2. Установка для нагревания жидкости электрическим током

Системная функция: нагревать жидкость.

Принцип Действия:

Компонент	Функция
Нагревательная камера	Содержать жидкость Направлять жидкость Пропускать электрический ток через жидкость Нагревать жидкость Преобразовывать специализированную электрическую энергию в электрический ток
Соединяющая труба	Содержать жидкость Направлять жидкость
Насос жидкости	Перемещать жидкость Сжимать жидкость
Источник питания	Потреблять стандартную электрическую энергию Вырабатывать специализированную электрическую энергию
Система управления	Включать/выключать стандартную электрическую энергию Изменять параметры специализированной электрической энергии
Источник жидкости	Поставлять жидкость в насос

Пример 3. Электромеханическая зубная щетка со светоизлучающим элементом

Системные функции:

- Удалять загрязнения с поверхностей зубов.
- Наносить гель или пасту на поверхность зубов.
- Удалять органические вещества из межзубных карманов.
- Обесцвечивать зубные пигменты.
- Массировать десны.

Принцип Действия:

Компонент	Функция
Чистящая головка (с шейкой)	<ul style="list-style-type: none"> Удерживать щетинки Перемещать щетинки Отделять загрязнения от зубной поверхности Удерживать гель или пасту Излучать свет
Соединитель	<ul style="list-style-type: none"> Соединять чистящую головку с ручкой Отсоединять чистящую головку от ручки Передавать электрическую энергию от ручки к чистящей головке Пропускать вал
Ручка	<ul style="list-style-type: none"> Соединять щетку с рукой Содержать источник питания Содержать мотор Соединять источник питания с мотором Соединять источник питания с соединителем Преобразовывать движение мотора в движение вала Удерживать вал Включать и выключать источник питания

О законе полноты выполнения принципа действия систем

Рубин М. С.

Ключевые слова: принцип действия систем, принцип работы, физиология, морфология систем, система функций, структура функций, ткань системы, функционально-подобные системы, функционально-идеальная модель, параметрическое описание систем, закон полноты выполнения принципа действия.

1. Введение

Описанный в различных работах по ТРИЗ закон полноты частей технической системы имеет ряд существенных недостатков [11]. Логика этого закона, приводит, например, к тому, что плуг, копье, стул, стол, нож, ковш экскаватора и множество других объектов нельзя признать техническими системами из-за отсутствия в них двигателя или трансмиссии. Необходимо развитие этого закона, позволяющее устранить имеющиеся в нем внутренние противоречия. Мы постараемся показать, что это возможно сделать введением в этот закон понятия принципа действия системы.

Знание принципа действия той или иной системы необходимо для ее правильной эксплуатации, обслуживания, развития (включая прогнозирование) и объяснения уже происшедших событий, например, сбоев или аварий. Построение принципа действия систем необходимо для анализа функционирования и филогенетического развития систем, создания классификаций, выделения трендов и прогнозирования развития систем, для осуществления переноса функций, свойств и трендов развития между подобными системами.

Несмотря на очевидную важность принципа действия для развития систем, довольно много вопросов связано с представлениями о том, что же такое «принцип действия», как его можно формировать и описывать, как это понятие связано с другими понятиями в ТРИЗ.

В статье будут рассматриваться не только технические, но и другие системы, для развития которых понятие «принцип действия» не менее важно.

2. Не только в технике

По результатам анализа частоты запросов в поисковых системах были выделены основные области, для которых применяются понятия, близкие к понятию «принцип действия»:

- технические системы (например, принцип работы какого-то устройства, технологии, электрической схемы);

- информационные системы, сети, компьютерные программы (например, принцип работы той или иной программы);

- биологические системы (чаще применяется совместно с понятием физиология, например, «Физиология сердца – принцип работы системы кровообращения»);

- юридические и правовые системы, управление и бизнес (например, «Принцип построения управления персоналом» или «Бизнес модель – 7 базовых принципов», правовые принципы в законодательстве);

- научные системы, научные понятия (например, «построение принципиальной модели, объясняющей явление прилипания-скольжения», «Принципиальная модель системы, обладающей способностью к самоосознанию»).

Из анализа запросов в поисковых системах можно выделить несколько основных синонимических выражения для понятия «принцип действия»: принцип работы (самый распространенный запрос из этого ряда), принципиальная схема, физиология (растений и животных).

Мы постараемся выделить общие подходы к описанию этих понятий в разных областях человеческой деятельности.

Принцип действия (в дальнейшем мы будем иметь в виду под этим названием и принцип работы, и принципиальную схему, и физиологию) можно формулировать:

- для функционально-ориентированных систем (например, технические системы, программы, органы растений и животных);
- для саморазвивающихся систем (например, экосистемы, социальные сети, город, цивилизации и т. д.).

Принцип действия может описывать систему в онтогенезе или в филогенезе. Принцип действия мы будем описывать тремя его составляющими: морфология (структурно-компонентная модель), структура системы функций и «ткани» системы (то, из чего создаются элементы и поля взаимодействия).

3. Многовариантность описания принципа действия

Очень часто при создании описания принципа действия той или иной системы возникают серьезные разногласия в том, как это описание должно быть. Одна из причин подобных разногласий состоит в многовариантности возможного описания принципа действия систем.

3.1. Разный уровень обобщенности описания принципа действия.

Приведу один пример обобщенного описания очень крупной системы. В рамках одного из исследований нам пришлось описывать модель принципа действия цивилизации. Речь шла о любой цивилизации: и в наше время, и в прошлые века, на разных континентах, на разном уровне развития и т. д. Была собрана информация о цивилизациях, о том, как они развивались, были определены элементы, из которых состоят цивилизации, какие модели уже известны для описания цивилизаций, что вообще такое цивилизация. В результате получилась очень простая модель. Цивилизация – это процесс превращения естественной (уже существующей) окружающей среды в искусственную среду при помощи культуры

(технологий, науки, искусства, законодательства и т. д.). То есть два элемента (естественная среда и искусственная среда) связаны полем взаимодействия – культурой. Принцип действия цивилизации оказался работоспособным для самых разных ситуаций: от мировой цивилизации до небольшого поселка. Модель можно детализировать: из чего состоит естественная среда, из чего состоит искусственная среда, из каких элементов состоит культура. Можно выделять отдельные потоки или элементы в этой модели (например, информационные) и составлять принцип действия уже для этих подсистем. Естественно, модели разного уровня обобщения не должны противоречить друг другу. Таким образом, возникает комплекс моделей принципов действия, в которых акцент делается на разные процессы с разным уровнем подробности описания.

Например, можно разработать обобщенное описание принципа действия для всех редакторов текста или для всех компьютерных мышек. Можно подготовить более конкретное описание принципа действия, например, только для всех возможных текстовых процессоров, работающих и с текстом, и с картинками, и с таблицами, и с другими объектами; для всех только лазерных мышек. Возможна, естественно, и большая детализация в описании принципа действия.

Для каждого конкретного случая выбирается тот вариант, тот уровень обобщения описания принципа действия, который необходим для решения той или иной задачи.

3.2. Разные аспекты рассмотрения

Для одной и той же системы принцип действия можно описать с разных аспектов. Например, принцип действия обычного производственного предприятия можно описать с позиций технологического процесса, в аспекте бизнес-процессов, в юридическом аспекте и т. д. Каждый из этих принципов действия будет описывать систему со своего аспекта.

Все аспекты рассмотрения систем можно разделить на материальные и нематериальные. Можно выделить всего 4 материальных аспекта описания принципа действия системы: физический, химический, биологический, технический. Можно выделить несколько основных нематериальных аспектов описания систем: социальный, художественный, эстетический, психологический, лингвистический, экономический, финансовый, юридический, политический и т. д.

Все нематериальные аспекты рассмотрения систем, так или иначе, связаны с материальными аспектами, но в некоторых случаях эту связь можно не учитывать для рассмотрения конкретной системы и задачи. Например, для анализа алгоритмов и программ не обязательно рассматривать «железо», на базе которого эти алгоритмы и программы реализуются.

Во многих случаях принцип действия одной и той же системы можно описывать как «конструкцию» и как «технологию» – в зависимости от того, как это удобно сделать в том или ином случае. В первом случае элементами модели являются «объекты» и их функции, а во втором – операции и их функции. Например, при моделировании электрических сетей часто удобнее рассматривать систему не как конструкцию, а как технологический процесс с операциями преобразования сигналов.

3.3. Что раньше: модель или система?

Можно выделить две принципиально разные ситуации, при которых создаются модели принципа действия систем:

- система уже есть, и для ее анализа создается модель принципа действия;
- системы еще нет (например, программного продукта), и для ее создания вначале придумывается принцип действия: из каких частей она будет состоять, какие функции будут выполняться.

В некоторых случаях моделирование можно начать с позиции, словно системы еще нет (хотя на самом деле она есть), и воссоздавать ее принцип действия с нуля. Полученную модель затем можно сравнивать с реальными системами. Подобный подход будет проиллюстрирован в разделе 4 на примере модели расходомеров.

Отдельным случаем можно считать создание модели принципа действия для филогенеза системы. В этом случае возникает вопрос самого предмета для рассмотрения и очень важной становится создание картотеки: какие бывают системы, которые мы хотим проанализировать. Например, при создании модели текстового редактора нужно ли в качестве источника, создающего текст иметь в виду только человека или учитывать возможность его создания машиной (автоматом)? В модели текстового редактора получателем текста должен быть человек или это может быть и машина? Что учитывать в модели?

3.4. Разные исходные парадигмы

Во времена египетских фараонов принцип действия часов принципиальным образом отличался от принципа действия часов более позднего времени: длительность одного часа ночью и днем отличались друг от друга. Дело в том, что ночь была короче (или длиннее) дня, а количество часов в них были тогда приняты одинаковыми для удобства проведения религиозных служб.

Модель принципа действия солнечной системы во времена Птолемея коренным образом отличается от современной модели.

Многие аварии или ошибки, так или иначе, могут быть связаны с искаженным представлением принципа действия той или иной системы. Например, модель принципа действия Чернобыльской АЭС у руководства этой станции в день аварии явно не соответствовала реальности.

3.5. Развитие моделей принципа действия

Модели принципа действия могут быть многовариантны просто оттого, что они развиваются. Можно выделить два типа развития моделей принципа действия:

- Сама система не изменяется, а ее описание модели принципа действия изменяется, уточняется, развивается.
- Создается модель принципа действия для новой системы, которой еще нет или которая должна стать развитием известной системы.

Для разного типа развития модели принципа действия используются разные подходы, методики, инструменты развития.

Приведенные примеры показывают многовариантность создания моделей принципа действия для одних и тех же систем.

4. Морфология систем

Выше уже было сказано, что для описания принципа действия системы мы будем использовать три его составляющих: описание морфологии системы, структуры функции системы и ткань системы. В этом разделе речь пойдет о морфологии.

В ТРИЗ наиболее близким к морфологии понятием является компонентно-структурная модель. В биологии – это морфология растений и животных, анатомия человека. В программировании – это основные блоки и структура программ. В бизнесе – элементы, из которых формируется бизнес: продукт или услуга, их производство, система продаж, источники финансирования, система управления и т. д.

Для прогнозирования развития систем в филогенезе возникает необходимость в создании модели принципа действия обобщенных систем. Мы уже приводили пример описания принципа действия любой цивилизации. Морфология этой модели может быть описана тремя

составляющими: естественная среда, искусственная среда и культура (поле взаимодействия), преобразующая естественную среду в искусственную.

Другой пример – обобщенная морфология городского транспорта. Морфология минимальной обобщенной модели этой системы может состоять из следующих основных и дополнительных элементов²⁰:

- транспортные средства (перемещают людей и/или грузы);
- дороги (удерживают транспортные средства, создают точку опоры для разгона и торможения транспортного средства – это, например, автомобильные и железные дороги, воздушные и водные транспортные коридоры);
- система управления транспортными потоками;
- устройства загрузки-выгрузки пассажиров и грузов (остановки, станции, склады, стоянки, гаражи и т. д.);
- источники энергии;
- дополнительный элемент: системы развития, обслуживания и ремонта основных элементов городского транспорта.

Построение обобщенной модели принципа действия системы позволяет анализировать общие для всех видов городского транспорта закономерности развития. Дальше эта модель может детализироваться для конкретного вида транспорта, для конкретного города, для того или иного времени. Таким образом, обобщенные элементы и их взаимодействия могут дополняться деталями, включая уточнение функций и их взаимодействие, а также уточнением «ткани», из которых эти элементы могут быть построены. О ткани системы речь пойдет в разделе 8.

При выделении элементов системы и описании морфологии могут возникать неопределенности. В качестве примера рассмотрим анатомию человека (морфологию системы человек): включать ли в число элементов этой системы колонии микроорганизмов или нет? Включать ли воздух в

²⁰ <http://www.temm.ru>

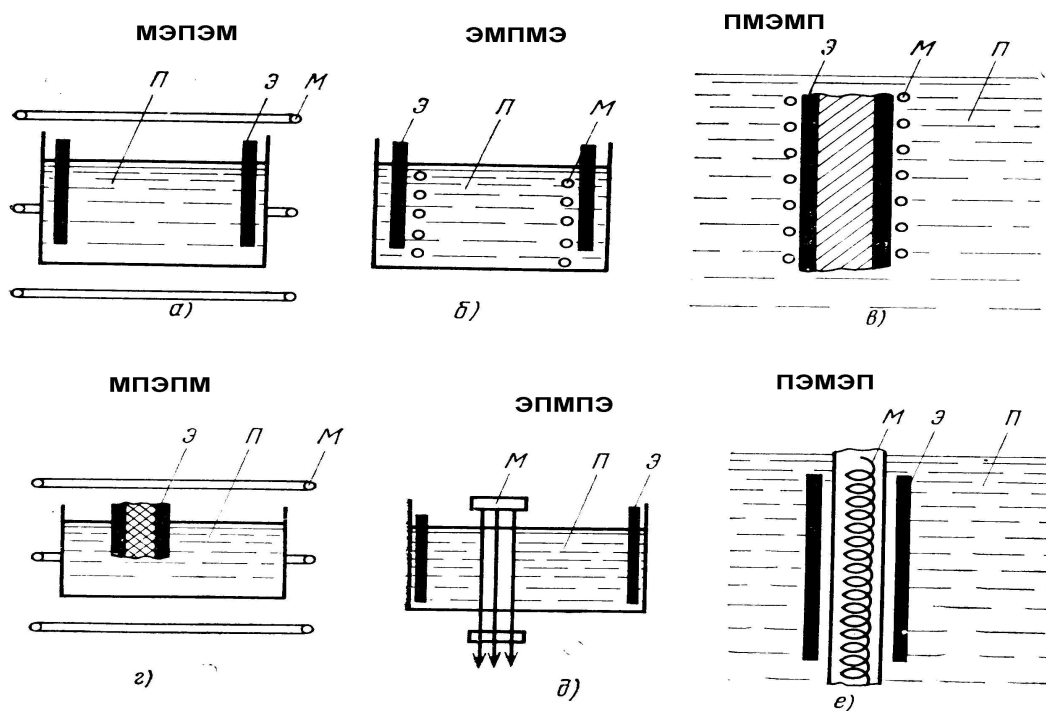
морфологию легких животных или нет? Кожа, слизистые и оболочки внутренних органов имеют сходную структуру – нужно их объединить в единый элемент организма или нет? Подобные же трудности могут возникать при рассмотрении морфологии не только биологических, но и технических систем, программных комплексов, информационных и других систем.

Описание морфологии нематериальных систем, например финансовых, мало чем отличаются от описания морфологии других систем. В качестве примера можно выбрать описание морфологии лизинга (долгосрочная аренда оборудования или зданий с их последующим выкупом арендатором). Эта довольно уникальная по своим свойствам финансовая услуга состоит из следующих обязательных составляющих (элементов): объект лизинга, лизингодатель, лизингополучатель, право собственности на объект лизинга, лизинговые платежи, договор лизинга. В этой финансовой системе речь идет исключительно о финансовом (нематериальном, нефизическом) аспекте этих элементов и соответствующих параметрах: залоговая стоимость объекта лизинга, цена объекта лизинга, размер предоплаты лизингополучателя, сроки и размер лизинговых платежей, момент перехода права собственности и т. д. К этой системе могут быть добавлены другие элементы: поставщик объекта лизинга, кредит, страховка, налогообложение и т. д. Форма лизинга во многом может определяться значением тех или иных параметров элементов морфологии этой системы. Морфология (компонентно-структурная модель) лизинга во многом определяет и финансовые процессы, которые реализуются в процессе лизинговых операций. Например, если лизингополучатель одновременно является поставщиком объекта лизинга, то это – возвратный лизинг.

В приведенном примере морфологии финансового лизинга хотелось бы отметить, что в ней присутствуют элементы и поля взаимодействия,

связывающие эти элементы между собой. В случае лизинга полями взаимодействия могут быть различные договора (лизинга, купли-продажи, страхования, залога и т. д.), действующее законодательство, сопутствующие социально-психологические и экономические связи, судебная система и т. д.

Морфология – самостоятельная часть описания принципа действия не обязательно зависящая от выполняемых функций в системе. На основе одной и той же морфологии могут быть реализованы разные функции и функциональные структуры. Вспомним, например, известный пример морфологического ящика на основе описания принципа устройства электромагнитного расходомера [1, 3].



В этой модели можно выделить три основных элемента: измеряемый поток (П), введенные в этот поток электроды (Э) и расположенная снаружи магнитная система (М), создающая магнитное поле. Поток пересекает магнитные силовые линии, и на электродах возникает электродвижущая сила, соответствующая измеряемому потоку. Структуру исходной конструкции можно записать так: МЭПЭМ. В центре – поток, с обеих сторон потока – электроды, снаружи – магнитная система. Очевидно,

путем перестановки частей можно получить еще пять конструкций; ЭМПМЭ (б); ПМЭМП (в); МПЭПМ (г); ЭПМПЭ (д); ПЭМЭП (е).

К моменту, когда такой морфологический анализ провели впервые, были известны только лотковый расходомер по схеме МЭПЭМ и лаг (измеритель скорости) со схемой ПЭМЭП. Четыре схемы оказались новыми, имеющими свои особенности и преимущества. Например, схема МПЭПМ позволяет измерять локальный расход по ширине потока. Лаг по схеме ПМЭМП работает на внутреннем магнитном поле соленоида и потому более чувствителен, чем лаг по схеме ПЭМЭП, работающий на поле рассеяния.

Аналогичную морфологическую структуру можно построить и для магнитного фильтра. Он включает магнитную систему (М), ферромагнитный порошок (Ф), сквозь который проходит поток запыленного воздуха (обозначим этот поток буквой И – изделие). Структура фильтра МФИФМ. Ясно, что возможны еще пять структур: ФМИМФ; ИМФМИ; МИФИМ; ИФМФИ; ФИМИФ.

Получится морфологическая таблица, причем в ней окажутся схемы самых разных по функциям технических систем: расходомеры, сигнализаторы, фильтры, устройства управления потоками и изделием, обработка изделия или потока и т. д.

Морфологический анализ как раз и позволяет вначале предложить ту или иную морфологию системы, а только потом рассмотреть возможные функции на ее основе.

5. Системы функций и принцип действия

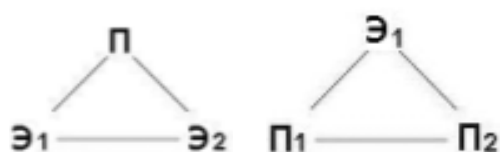
Кроме общности в морфологии системы могут иметь подобную систему функций, подобный набор функций и их взаимодействие между собой (функционально-подобные системы). Например, еще до 1880 года Эдисон поставил задачу воспроизвести на основе электрического тока всю цепочку функций, которая была к тому времени в системе газового

освещения: генерация носителя энергии, доставка к необходимому месту, измерение расхода и потребления, выключение и включение, преобразование в световой поток и т. д.²¹ С точки зрения системы (структуры) функций принцип действия газового освещения и электрического освещения во многом схожи.

Газовое освещение и электрическое освещение – это альтернативные системы, конкурирующие друг с другом. Приведем примеры частично конкурирующих или вовсе не конкурирующих между собой систем, с разными основными функциями, но со схожей системой функций. Сравним, например, системы телекоммуникаций и энергосистемы. При том, что поставка электроэнергии и обеспечение информацией – это разные функции, в их структуре, в системе выполняемых функций можно найти довольно много общего. И в той и в другой системе, например, требуется генерация (энергии и информации соответственно), сгенерированное необходимо транспортировать на разные расстояния, необходимо обеспечить пропускную способность сетей, защитить их от перегрузок, адаптировать к дневным и сезонным изменениям потоков. Такую же аналогию с системой функций телекоммуникаций можно обнаружить в транспортных системах, почте, в биологических и других системах. Выявление функционально-подобных систем позволяет переносить признаки одних систем (структуру, функции, задачи, противоречия, решения) на другие, прогнозировать развитие систем.

Таким образом, для описания принципа действия необходимо (но не достаточно) описать морфологию системы и структуру функций.

6. Элеполи – инструмент описания морфологии и функций систем



Элеполи²² – удобный язык описания функций системы и ее

²¹ <http://www.temm.ru>

²² Элеполь – модель минимальной системы из элементов и полей взаимодействия.

морфологии. Необходимость перехода от веполей к элеполям связана не только с тем, что в нематериальных системах нет вещества, но и для устранения некорректности, которая имеется в веполях и их преобразованиях. Можно выделить два типа элеполей: внутренний (с двумя элементами) и внешний (с двумя полями).

Элеполь имеет два вида связей между элементами²³. Непосредственная связь Э1–Э2 – это реализация той или иной необходимой функции или требования (что делается, какая функция или какое требование выполняется). Связь через поле взаимодействия Э1–П–Э2 – это то, с помощью чего удастся обеспечить необходимое действие или требование, как нужная функция или требование реализуются. Таким образом, элеполь отвечает на вопросы «что делается» и «как делается». Элеполь не отвечает на вопрос «из чего делается» (понятие «ткань системы» будет обсуждаться в разделе 8).

Общие правила для построения элепольных структур:

– элементы во внутреннем элеполе могут взаимодействовать только через поля взаимодействия;

– в элеполе поле действует на оба элемента, входящих во внутренний элеполь;

– во внешнем элеполе поле преобразуется в другое поле при взаимодействии с элементом (измерительные системы, социокультурные поля взаимодействия, преобразования потоков информации);

– элементно-полевые структуры, например, поток жидкости, информационный поток, художественное произведение и т. д. носят двойственный характер и рассматриваются либо в качестве вещества (элемента), либо в качестве поля взаимодействия в зависимости от рассматриваемой ситуации и решаемой задачи.

²³ Элементом может быть и операция в технологическом процессе.

Например, в компьютерной программе элементами могут быть отдельные выражения, базы данных, значения тех или иных величин, а полями взаимодействия – операторы сравнения, операции согласования разных вычислительных процессов между собой и т. д. В нематериальных системах не всегда очевидно, какие объекты являются элементами, а какие – полями взаимодействия в силу двойственности их свойств. Например, таблица со списками тех или иных параметров может рассматриваться как элемент системы, например, при описании характеристик элементов той или иной системы (характеристики станков предприятия, финансово-экономических показателей основных фондов и т. д.). Аналогичная таблица со списками параметров может рассматриваться в другом случае как поле взаимодействия, если она связывает между собой какие-то другие составные элементы базы данных (например, связь даты с данными о погодных условиях в этот день и одновременно с данными о программе телепередач).

Двойственный характер объектов (и свойства вещества, и свойства поля) присущ и для материальных объектов. Например, поток вещества обладает одновременно и свойствами вещества (масса, химический состав и т. д.), и свойствами полей (распределение скоростей, температур, давлений электрического потенциала и т. д.). Элементно-полевую структуру можно обозначать в виде $(\Pi_1-\mathcal{E}_1)$, то есть и поле, и элемент одновременно.

В качестве примера описания морфологии и системы функций в технике рассмотрим построение обобщенной модели датчика расходомера [2]. Для этого была использована следующая методика:

1. Проведение анализа (морфологического и функционального) конкретных типов систем данного класса (расходомеров переменного перепада давления, камерные, электромагнитные и др.).

2. Построение обобщенной морфологической модели системы и формулировка обобщенной функции для каждого обобщенного элемента.

2.1. Для этого определяется главная обобщенная функция системы (для расходомеров: измерять расход потока жидкости или газа).

2.2. Выделяется основной элемент (или элементы), на который направлена функция в качестве элемента обобщенной морфологической модели системы (для расходомеров: поток жидкости или газа).

2.3. Ставится обобщенная задача для выполнения главной функции, выстраивается цепочка задач и соответствующих им обобщенных элепольных (вепольных) решений (для расходомеров: как значение объема потока сделать измеряемой величиной, как эту величину измерить за пределами самого потока). Для создания таких обобщенных решений используется система стандартов на решение изобретательских задач.

2.4. В обобщенную морфологическую модель системы ввести элементы и поля элепольных структур цепочки решения из 2.3.

3. Обобщенным элементам и полям морфологической модели и обобщенным функциям из п. 2 поставить в соответствие конкретные элементы, поля и функции из п. 1.

4. При возникновении несоответствий необходимо уточнить п. 1 и 2.

5. Для анализа полученной обобщенной модели может быть выстроена иерархия выделенных обобщенных элементов и функций, проведен исторический анализ развития на основе патентных или иных материалов, выделены основные (модельные) противоречия (для расходомеров: добавку в поток необходимо вводить для его измерения и нельзя вводить, чтобы не влиять на сам поток).

Элементы расходомеров	Элементы морфологии	Функциональная составляющая в датчике расходомера
Поток	($\Pi_1-\mathcal{E}_1$)	Поток со свойствами вещества и поля одновременно
Добавка	Вещество (В2)	Создать измеряемый параметр соответствующий расходу потока
	Поле (Π_2)	
Носитель информации	Вещество (В3)	Переместить параметр расхода за пределы потока
	Поле Π_3 или Π_4	

Одна из составляющих модели датчика расходомера (поток жидкости или газа) представляет собой элементно-полевую структуру ($\Pi_1-\mathcal{E}_1$).

Для построения полного веполя необходимо к потоку ($\Pi_1-\mathcal{E}_1$) добавить вещество В2, либо воздействовать на него полем Π_2 . Значит в расходомере поток ($\Pi_1-\mathcal{E}_1$) должен взаимодействовать с добавкой в виде вещества (В2) или поля (Π_2) для формирования сигнала о расходе потока и далее этот сигнал должен взаимодействовать с носителем информации в виде вещества (В3) или поля (Π_3 или Π_4). Эта модель описывает морфологию и функциональную структуру всех возможных типов расходомеров. Для описания принципа действия систем можно выстраивать цепочки (структуру) необходимых функций и вепольные (элеполевые) варианты их реализации.

7. Параметрический подход к описанию принципа действия

Еще раз повторимся: для описания принципа действия необходимо описание морфологии системы, структуры функций и описание «ткани» системы. Добиться единства в описании этих трех составляющих принципа действия можно при помощи параметрического подхода [10].

Морфология. Каждый элемент может быть представлен в виде множества параметров и связей этих параметров между собой. Среди этого множества параметров есть особые параметры или их группы. Например, время, пространство (для нематериальных систем это не физическое

пространство). Для материальных систем обязательно присутствуют такие параметры как масса, вес, температура, объем, плотность и др. Особая группа параметров – полевые, то есть те, которые могут влиять на параметр другого элемента, находящегося в другом месте пространства (не обязательно физического).

Корректное описание функций также возможно на основе параметрического подхода. Функции могут рассматриваться как уменьшение, увеличение, изменение, стабилизация, измерение параметра того или иного объекта. Требования в задаче, свойства объектов, формулировки противоречий и ИКР также могут быть сведены к набору тех или иных параметров и их изменений.

Образ ткани системы также можно описывать через набор параметров и их взаимодействий. При этом возникает набор параметров и их взаимодействий, выходящий за рамки того, что необходимо для морфологии и структуры функций системы: лишние или даже вредные функции систем.

8. Ткань системы в описании принципа действия

Ткань системы – это то, из чего сделана система: из какого вещества или поля, из каких тканей организма, из каких лингвистических конструкций, из каких программных элементов или операторов. Без конкретного наполнения любая морфологически-функциональная модель остается мечтой.

Вернемся к описанию расходомеров. Поток может иметь разные состояния: газ, жидкость, твердое или эластичное тело (например, дробь), порошок и т. д. Характеристика потока может быть и более определенной: жидкий металл, кровь, нефть, глина, природный газ, река, море и т. д. Понятно, что это сильно будет влиять и на возможный (работоспособный) вариант принципа действия расходомера. Например, для потока глины с различными твердыми включениями ультразвуковой принцип будет плохо

применим. Иерархия функций задает и иерархию элементов системы и соответствующей ткани, из которых они могут быть реализованы. Для определенности выберем поток жидкости. Варианты реализации полевой добавки может быть разной, например, магнитное поле или ультразвуковое поле. Ультразвуковые расходомеры могут работать на принципе перемещения акустических колебаний движущейся средой, а могут работать на принципе эффекта Доплера.

Таким образом, описание принципа действия включает в себя три составные части: морфологию, систему функций (их цепочки и структуру), описание ткани системы и эффекты на их основе.

Для анализа каждой из этих трех составляющих принципа действия могут использоваться различные инструменты ТРИЗ. Например, системе функций может соответствовать функциональный ИКР, ИКР свойств может соответствовать требованиям морфологии системы, а ресурсный ИКР может быть связан с тканью системы.

Для технологий переноса решений по аналогии с подобными системами также можно использовать разделение принципа действия на три составные части:

- перенос на основе общности морфологии (морфологический анализ, элементы компонентно-структурного, вепольного-элепольного анализа);
- перенос на основе общности системы функций (функционально-ориентированный поиск, перенос свойств и решений функционально-подобных систем и др.);
- перенос на основе общности ткани системы (материаловедение, указатель применения эффектов и др.).

Многовариантность описания принципа действия делает необходимым введение понятия минимально-необходимой модели принципа действия системы – описания системы, в которой невозможно удалить ни одной функции или элемента. Примером может сложить

описанная выше морфологически-функциональная модель датчика расходомеров.

9. Закон полноты выполнения принципа действия

Напомним формулировку закона о полноте частей системы, которая и сейчас не вызывает никаких нареканий: «Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы» [3]. Проблемы возникают с уточнением этого закона: «Каждая техническая система должна включать четыре основные части: двигатель, трансмиссию, рабочий орган и орган управления».

В таком уточнении формулировки закона отменяются все технические системы, в которых нет преобразования какого-то вида энергии в механическую энергию. Чтобы как-то исправить эту ситуацию, приходится идти на самые разные ухищрения: допускать, что преобразовывать можно не только в механическую энергию, что преобразовывать можно не только энергию, но и, например, информацию и т. д. Но и в этом случае такие объекты, как плуг, копье, стул, стол, нож, ковш экскаватора и множество других нельзя признать техническими системами.

Существуют системы, в которых невозможно или очень сложно выделить «рабочий орган». Например, трудно определить рабочий орган в таких системах, как дом, бизнес-процесс или логотип.

Между тем, в этих объектах есть все составляющие принципа действия: морфология, структура функций, ткань системы. Это позволяет проводить анализ, создавать, развивать эти системы, применяя все инструменты ТРИЗ. Например, при создании логотипа или для бизнес-процесса можно сформулировать морфологию создаваемого объекта, функции и подобрать соответствующую «ткань», способную их реализовать. Сформулированные при этом задачи могут анализироваться и

решаться инструментами ТРИЗ: противоречия, ИКР, приемы, стандарты, ресурсы и т. д.

Принцип действия – это схема, модель функционирования уже существующей или только создаваемой системы, которая включает морфологию системы, структуру функций системы и ткань системы. Одна и та же система допускает многовариантность в описании принципа действия. Может быть сформулирована минимально необходимая модель принципа действия системы.

На основе такого подхода возможна более точная и расширенная формулировка закона о полноте выполнения принципа действия системы:

«Необходимым условием принципиальной жизнеспособности функционально-ориентированной или саморазвивающейся системы является наличие, работоспособность и взаимная совместимость всех составных частей минимально-необходимой модели принципа действия системы: морфологии системы, системы функций, ткани системы».

На основе обобщения принципов действия систем могут выделяться различные классы систем. В частности, для машин, работающих на основе преобразования энергии, можно описать обобщенный принцип действия:

- морфологию (источник энергии, двигатель, трансмиссию, рабочий орган, орган управления);
- систему функций, соответствующую перечисленным элементам морфологии;
- ткань системы (какие источники энергии возможны, какие преобразования энергии возможны, из каких материалов может быть создана трансмиссия, рабочий орган и т. д.).

Предлагаемая формулировка закона охватывает не только технические, но и любые иные системы: материальные и нематериальные. Например, для создания логотипа:

- морфология (какие элементы могут или должны войти в логотип);

– какие функции должен выполнять логотип в целом и его отдельные элементы;

– на основе каких материалов, знаков, цветов, частей, орнаментов могут быть созданы необходимые элементы, какие взаимодействия при этом возникают, как они обеспечивают систему функций.

В качестве примера приведем упрощенное описание принципа действия биологической системы обеспечения кислородом живых организмов.

Морфология этой системы в обобщенном виде включает в себя: источник кислорода (растворенный в воздухе, воде или в другой среде), конечный получатель кислорода (клетки организма), элементы выделения кислорода из источника (жабры, легкие, трахеи), элементы доставки кислорода к клеткам организма. При более детальном рассмотрении могут быть выделены и другие элементы этой системы: защитные, регулирующие и т. д.

Система функций в кислородном обмене живых организмов в целом завязана на морфологию: источник кислорода необходимо доставить в нужное место организма, отделить от смеси сам кислород, доставить этот кислород в нужное место. При этом возникает ряд дополнительных (но не менее важных) функций: вывести из организма углекислый газ, вывести уже использованный источник кислорода, поддерживать высокий уровень влажности, обезопасить пищевод от источника кислорода, регулировать интенсивность газообмена, создавать избыточное или пониженное давление и т. д.

Ткань системы. Большое значение имеет ткань источника кислорода: вода с растворенным кислородом или воздух. Не меньшее влияние оказывает размер организма, для клеток которого необходимо доставить кислород. Одни и те же функции в этой системе могут выполняться при помощи разной ткани организма.

Если источником кислорода является вода (растворенный в воде кислород), то предпочтительнее становятся системы без изменения направления потока, так как вода имеет большую инерцию и вязкость. В этом случае эффективнее прямоточные системы газообмена, как у рыб. Воздух легкий и имеет низкую вязкость, он лучше поглощает углекислый газ. В этом случае принцип работы газообменных систем может быть основан на вдыхании и выдыхании воздуха (вентиляционные), хотя известны органы для газообмена на основе постоянного потока воздуха (диффузионные легкие у скорпионов, некоторых улиток и раков).

Схожие функции по газообмену у живых существ могут реализовываться на основе разных тканей: жабры, легкие, трахеи, кожа, дыхальца, устьица растений.

Принцип действия систем газообмена может быть описан на высоком уровне обобщения или более детально: для растений, насекомых, рыб, птиц, млекопитающих и т. д. Общность принципа действия газообменных систем живых существ позволяет рассматривать возможности дыхания человека в жидкости, насыщенной кислородом. В этом случае избегается кессонная болезнь при подъеме с глубин океана, допустимы перегрузки космонавтов, которые невозможно выдержать при дыхании воздухом²⁴.

Решение изобретательских задач можно представить в виде трех взаимосвязанных стадий: анализ и синтез морфологии системы, анализ и синтез функций, подбор тканей системы и эффектов, необходимых для реализации нужной морфологии и системы функций.

Совершенствование методов ТРИЗ для их использования в нетехнических областях (биологии, искусстве, программировании, бизнесе, маркетинге и т. д.) ведется в рамках развития теории эволюции материи и моделей (ТЭММ). Предлагаемое совершенствование закона полноты частей системы и расширенное понимание принципа действия

²⁴ <http://clinicall.ru>

систем – это шаги по расширению применимости аппарата ТРИЗ в нетехнических областях.

10. Функционально-идеальная модель и принцип действия

К инструментам формирования и развития принципа действия систем можно отнести практически все инструменты ТРИЗ. В этом разделе мы остановимся на функционально-идеальном моделировании систем и рассмотрим особенности его применения.

В настоящее время между функционально-идеальным моделированием систем и свертыванием (триммингом) ставится знак равенства [4]. Между тем свертывание является только одним из возможных вариантов повышения идеальности систем. Существуют ситуации, при которых свертывание не может быть рекомендовано или его применение затруднительно:

- в ситуации, когда система находится на этапе развертывания;
- при создании наиболее общих, минимально-необходимых функциональных моделей.

Обычно методика функционально-идеального моделирования включает в себя построение функциональной модели, диагностический анализ, ранжирование элементов модели на основе уровня идеальности и тримминг-фактора. Идеальность элемента (I) определяется отношение его функциональной значимости (F) к сумме проблемной (P) и затратной (C) значимостей, или $I = F / (P+C)$. Тримминг-фактор для каждого элемента функциональной модели рассчитывается по формуле $T = F^2 / (P+C)$.

На основе этого показателя все элементы можно выстроить в порядке снижения значения их идеальности (тримминг-фактора) и определить, таким образом, порядок рассмотрения элементов функциональной модели для постановки задач. Обычно формулируются только задачи, направленные на свертывание элементов. В дополненной методике функционально-идеального моделирования кроме свертывания

предлагается рассматривать и другие возможности повышения идеальности:

- за счет снижения затрат и вредных функций элемента,
- повышения числа полезных функций элемента.

Предлагаемое уточнение было успешно опробовано в практике реализации прогнозных проектов. Например, в развитии телефонных сетей превалируют процессы развертывания. В результате выделенные задачи для операций организации телефонного соединения с наименьшей идеальностью невозможно решить путем свертывания, так как их развитие на данном этапе связано с процессами развертывания: переходом к би- и к полисистемам, повышению функциональной значимости операций и т. д.

11. Выводы

11.1. Для моделирования материальных и нематериальных систем из разных областей могут использоваться единые подходы построения, анализа и развития принципа действия систем (принципа работы, физиологии, принципиальных схем и т. д.). Эти методы дополняют теорию эволюции материи и моделей (ТЭММ), разрабатываемую в рамках одного из направлений развития ТРИЗ.

11.2. Описание принципа действия состоит из трех взаимосвязанных частей: морфология системы, система функций, ткань системы.

11.3. Существует многовариантность описания принципа действия систем: аспектная многовариантность, уровня обобщенности, на основе различных исходных парадигм и т. д.

11.4. Закон полноты частей технических систем корректнее формулировать как Закон полноты выполнения принципа действия систем.

11.5. Функционально-идеальное моделирование включает не только свертывание, но и другие направления повышения идеализации: снижение затрат и вредных функций, повышение количества полезных функций.

11.6. Установление подобия между системами возможно по трем направлениям: на основе морфологии системы, системы функций и ткани системы.

12. Литература

1. Рубин И. Д. Некоторые пути развития электромагнитных расходомеров // Изв. вузов СССР. Нефть и газ. 1977. № 5. С. 83-86.

2. Рубин М. С. Развитие расходомеров. Баку, 1978. <http://www.temm.ru>

3. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979. Кибернетика.

4. Герасимов В. М., Литвин С. С. Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности // Для разработки новой и совершенствования действующей технологии, для рационализации управления и организации производства / Под ред. М. Г. Карпунина. М: Энегоатомиздат, 1987. <http://www.trizminsk.org>

5. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск: Наука, 1991.

6. Саламатов Ю. П. Система законов развития техники // Шанс на приключение. Петрозаводск, Карелия, 1991.

7. Литвин С. С., Герасимов В. М. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа. Методические рекомендации. Ч. 4, 5 // Журнал ТРИЗ. 1992. № 3.2.92. С. 7-45.

8. Рубин М. С. О теории проектирования инновационно-технологических систем. СПб., 2008. <http://www.temm.ru>

9. Герасимов О. М. Методика выполнения экспресс-проектов по совершенствованию технологических процессов. ЦИТК «Алгоритм». СПб., 2009. <http://www.gen3.ru>

10. Рубин М. С. Параметрический ТРИЗ. СПб., 2009. <http://www.temm.ru>

11. Рубин М. С. Мифы о законах развития технических систем. СПб., 2009. <http://www.temm.ru>
12. Рубин М. С. Филогенез социокультурных систем. Секреты развития цивилизаций. СПб., 2010. <http://www.temm.ru>
13. Рубин М. С. Элеполи и универсальная система стандартов решения изобретательских задач. СПб., 2010. <http://www.temm.ru>

Оценка целесообразности и особенности построения модели принципа действия технической системы

Соколов Е. Л.

Зачем нам нужен принцип действия

О принципе действия сказано уже достаточно много. Это понятие разрабатывается в науке несколько десятков лет. С помощью имеющихся наработок создают конкурирующие методики (включая программные комплексы), с помощью которых успешно ищут новые принципы действия известных технических систем (ТС) и синтезируют структуры новых ТС. Это означает, что по параметру «степень формализации» мы начинаем уступать. Именно поэтому необходимо внимательно присмотреться к особенностям методик построения ПД, чтобы затем адаптировать эти особенности для целей совершенствования уже существующих инструментов ТРИЗ. Ожидаемым результатом такого совершенствования должно стать повышение эффективности инструментов ТРИЗ, например, их большую автоматизацию, позволяющую снизить влияние субъективных факторов.

Давайте внимательно посмотрим на весь спектр определений принципа действия (ПД), приведенных в различных статьях и работах.

- ПД: конкретный физический способ изменения или преобразования функционального параметра, реализующий функцию (С. Литвин).

- В настоящей работе ПД технической системы определяется как совокупность выполняемых ею функций. Под совокупностью понимается иерархическое «дерево функций». Указанная совокупность включает в себя те функции, выполнение которых необходимо для адекватного выполнения главной и дополнительных системных функций (А. Пиняев).

- ПД – это что-то вроде «особенностей взаимодействия элементов системы друг с другом и с надсистемой, которые (особенности) обеспечивают требуемый уровень рассматриваемых Главных Параметров Ценности (MPV) системы» (А. Ефимов).

- ПД основан на идентификации физического механизма реализации ГФ ТС.

- ПД – представление технической системы в виде принципиальной схемы, в которой в упрощенной форме показаны основные конструктивные элементы и указаны во взаимосвязи действующие физические эффекты (могут быть и другие эффекты), служащие основой работы технической системы (3, по А. Захарову).

- ПД ТС представляет собой минимально необходимую совокупность природных эффектов и явлений (процессов), обеспечивающих выполнение ГПФ (Б. Голдовский).

- ПД – представление ТС в виде принципиальной схемы, в которой в упрощенной форме показаны основные конструктивные элементы и указаны во взаимосвязи действующие физические (иные) эффекты, служащие основой работы ТС (А. Половинкин).

- ПД можно описать в виде физического принципа действия – цепочки взаимосвязанных физических эффектов (например, в виде ориентированного графа) (А. Половинкин).

Список можно продолжать, но очевидны следующие моменты:

- ПД – конкретный способ реализации ГПФ (или MPV).

- ПД должен строиться на указании в каждом взаимодействии элементов ТС конкретного физического способа изменения функционального параметра объекта функции.

- ПД – минимально-необходимая совокупность взаимодействий элементов ТС (эффектов и явлений), обеспечивающих выполнение ГПФ.

Особо следует отметить требование конкретности при описании способов изменения функциональных параметров элементов. А эта конкретность может быть получена как раз с переходом к вещественно-полевым моделям элементов ТС.

Промежуточные выводы 1

- Понятие ПД близко по сути к ключевым понятиям ТРИЗ и может быть использовано для совершенствования уже имеющихся его инструментов.
- В качестве инструмента совершенствования инструментов ТРИЗ предполагается использование вещественно-полевых описаний элементов ТС.

Что дают вещественно-полевые модели элементов

Наиболее близкими к ПД по сути являются следующие инструменты ТРИЗ:

- Компонентная модель – модель, отражающая состав объекта и иерархию (соподчиненность) его элементов.
- Структурная модель – модель, отражающая взаимосвязи между элементами объекта.
- Функциональная модель – модель, отражающая комплекс функций объекта анализа и его элементов.
- Функциональный анализ (исходит из предпосылки, что выполнению полезных функций в анализируемом объекте всегда сопутствуют вредные и нейтральные функции).

Эти инструменты имеют свои проблемные зоны. Ключевой из них является субъективизм как при отборе элементов для включения в ТС, так и при формулировании их функций.

Проанализируем как изменится эффективность этих процедур, если в качестве средства преодоления недостатков этих моделей использовать

вещественно-полевые описания элементов ТС, позволяющего получать модель ПД ТС.

Компонентная модель

Главной проблемой выполнения этой процедуры является определение полноты состава элементов, которые надо включить в рассмотрение. Проблема эта решается выполнением нескольких итераций.

Перейдем на привычный язык анализа и решения проблем.

НЭ1: Требуется повторные итерации для построения полной модели.

Средство против НЭ1: Использовать вещественно полевые модели компонентов ТС с возможностью построения модели ее ПД.

НЭ2: Усложняется процедура описания самих элементов.

ТП1: Если использовать вещественно-полевое описание компонентов, то легко достигается полнота компонентной модели (через реализацию цепочки преобразований), но при этом увеличивается трудность описания самих элементов.

ТП2: Если не использовать вещественно-полевое описание компонентов (как и принято сейчас), то модели элементов делать не надо, но при этом сложно достигается полнота описания ТС.

Если выбрать в качестве базового ТП1, то получим следующее направление для совершенствования: необходимо построить такое вещественно-полевое описание компонентов, которое легко достигается с использованием уже существующих средств, то есть не требует существенных затрат.

Структурная модель

Эта модель отражает взаимосвязи между элементами объекта. Но таких связей может быть огромное множество. Поэтому главной здесь является та же проблема – проблема полноты связей. Установленные связи при этом характеризуются комментариями к модели, объясняющими сущность каждой связи. Легко заметить, что полнота связей в

совокупности с описанием их сущности указывают на исследуемое нами средство решения. Вернемся к привычной схеме.

НЭ1: Трудно выявить и описать все взаимосвязи между элементами для построения полной модели.

Средство против НЭ1: Использовать вещественно-полевые модели компонентов с возможностью построения связей между ними через банки физических (химических) эффектов (ФЭ).

НЭ2: Требуется построение специализированных банков ФЭ.

ТП1: Если использовать вещественно-полевое описание компонентов, то в совокупности с использованием банков ФЭ легко достигается полнота структурной модели (через реализацию ФПД), но при этом увеличивается трудность описания самих элементов.

ТП2: Если не использовать вещественно-полевое описание компонентов (как и принято сейчас), то модели элементов и банки ФЭ делать не надо, но при этом сложно решается задача построения полноты связей между элементами ТС и с надсистемой.

Если выбрать в качестве базового ТП1, то необходимо построить такое вещественно-полевое описание компонентов, которое легко согласуется с известными уже банками ФЭ, то есть не требует существенных затрат.

Функциональная модель

Это модель, отражающая комплекс функций объекта анализа и его элементов. Главной проблемой на этом этапе является правильное формулирование функций (например, указание параметра функции). Посмотрим, что даст в этом случае использование вещественно-полевого описания элементов. Итак:

НЭ1: Трудно выявить и правильно сформулировать функции элементов.

Средство против НЭ1: Использовать вещественно полевые модели компонентов с возможностью построения связей между ними через банки физических (химических) эффектов (ФЭ).

НЭ2: Требуется согласование таблиц функций и банков ФЭ.

ТП1: Если использовать вещественно-полевое описание компонентов, то в совокупности с использованием банков ФЭ легко решается задача идентификации изменяемого параметра элемента при данном взаимодействии (через реализацию ФЭ), но при этом увеличивается затраты на согласование таблиц функций и банков ФЭ.

ТП2: Если не использовать вещественно-полевое описание компонентов (как и принято сейчас), то согласовывать таблицы функций и банки ФЭ не надо, но при этом сложно решается задача правильного формулирования функций элементов ТС.

Если выбрать в качестве базового ТП1, то необходимо построить такое вещественно-полевое описание компонентов, в котором легко согласуются формулировки функций с известными уже банками ФЭ, то есть не требует существенных затрат.

Функциональный анализ

Этот вид анализа предполагает рассмотрение объекта как комплекса выполняемых им функций, а не как материально-вещественных структур. Функциональный анализ исходит из предпосылки, что выполнению полезных функций в анализируемом объекте всегда сопутствуют вредные и нейтральные функции. Главной проблемой здесь является идентификация полезных и вредных функций.

НЭ1: Трудно выявить и правильно сформулировать полезные и вредные функции элементов.

Средство против НЭ1: Использовать вещественно полевые модели компонентов с возможностью построения связей между ними через банки

физических (химических) эффектов (ФЭ) для формализации процедуры выявления вредных и полезных функций.

НЭ2: При этом растут затраты на разработку средств формализации.

ТП1: Если использовать вещественно-полевые модели компонентов с возможностью построения связей между ними через банки физических (химических) эффектов (ФЭ), то возможна формализация процедуры выявления вредных и полезных функций, но при этом увеличивается затраты на согласование таблиц функций и банков ФЭ.

ТП2: Если не использовать вещественно-полевое описание компонентов (как и принято сейчас), то разрабатывать процедуры идентификации функций не надо, но при этом сохраняется субъективизм при формулировании вредных и полезных функций элементов ТС.

Если выбрать в качестве базового ТП1, то необходимо построить такое вещественно-полевое описание компонентов, которое позволяло бы по изменению параметра объекта функции определять характер функции.

Промежуточные выводы 2

• Использование вещественно-полевого описания компонентов позволит:

- решить проблему полноты компонентной модели,
- обеспечить полноту структурной модели,
- решить задачу идентификации изменяемого параметра элемента при данном взаимодействии,
- формализовать процедуру выявления вредных и полезных функций.

• Для этого необходимо построить такое вещественно-полевое описание компонентов, которое:

- базируется на уже существующие методы описания объектов,
- согласуется с шаблонами описаний ФЭ в известных уже банках эффектов,

- позволяет согласовать формулировки функций с известными уже описаниями ФЭ,
- позволяет по изменению параметра объекта функции определять характер функции.

Описание также должно учитывать следующие факторы:

- Один и тот же элемент в многообразии своих свойств может быть как объектом, так и субъектом функции.
- Формат описания должен быть универсален и пригоден для формализации процедур, выполняемых на его основе.

Как это можно сделать

Информационную среду, в которой можно реализовать приведенные выше требования следует строить по неким единым правилам, то есть по шаблону. В качестве такого шаблона для формирования элементов описания компонентов предлагается использовать следующий формат (см. Рис. 1).

Как видим, описание каждого элемента содержит множество единичных записей, в которых зафиксированы взаимодействия данного элемента с другими элементами, включенными в базу данных. Фрагмент такой базы приведен на (см. Рис. 2). Формат единичной записи несет информацию о типовых признаках, физических свойствах и параметрах, а также указание формулировки функции и роли описываемого элемента в данном взаимодействии (объект функции или субъект).

Результаты предварительного тестирования

Для проверки возможностей выбранного шаблона формирования описаний элементов была разработана программа, которая в настоящее время проходит стадию тестирования и уточнения. Работа еще продолжается, поэтому ниже приведены только фрагменты материалов, демонстрирующих работу алгоритмов использования базы элементов для решения типовых задач.

Задача 1. Найти формулировку функции для двух взаимодействующих элементов.

Процедура реализована (см. Рис. 3) на базе сопоставления записей в полях «Характер объекта» и «Меняющийся параметр» для объектов «Абсорбент» и «Теплоноситель».

Задача 2. Определить тип функции (полезная или вредная).

В паре «Растворитель» – «Вещество» реализовано полезное (целевое) взаимодействие (см. Рис. 4). К этой паре добавляется еще одно – «Теплоноситель». Необходимо определить, появятся ли новые взаимодействия (функции) и каков их характер.

Процедура реализована на базе сопоставления записей в полях «Характер объекта» и «Меняющийся параметр» для объектов «Растворитель» и «Теплоноситель», где выявлено новое взаимодействие, описываемое функцией «активировать» (увеличивать растворяющую способность).

Эта функция является полезной, так как понятие «растворяющая способность» является тем свойством объекта «Растворитель», благодаря которому реализовано полезное (целевое) взаимодействие между объектами «Растворитель» и «Вещество».

Задача 3. Построить функциональную модель для элементов, выбранных из банка элементов.

Процедура выполняется в несколько шагов (см. Рис. 5). Сначала из банка выбирают названия элементов модели (например, Растворитель, Абсорбент, Теплоноситель). Затем посредством анализа записей базы выявляют все возможные взаимодействия между ними, формируют матрицу взаимодействия и обозначают их функциями. По содержимому матрицы взаимодействия и таблицы выявленных функций строим графическое изображение в виде функциональной модели. Все операции (после выбора элементов) осуществляются автоматически.

Использовать нельзя отказать

В каком месте поставить запятую, уверенно говорить рановато. Но даже промежуточные результаты тестирования показывают перспективность использования вещественно полевых моделей компонентов ТС в среде ТРИЗ. В качестве сверх эффекта следует ожидать возможность полной формализации некоторых часто выполняемых действий, например, определение полноты частей системы, формулирование «правильных» функций элементов ТС и возможность установления их типа.

Однако следует учитывать высокую трудоемкость создания баз данных для реализации этих возможностей. Для решения этой проблемы ведется разработка средств автоматизации для процедур пополнения базы элементов.

Шаблон предполагает наличие следующих позиций:									
<способен> как <объект функции ОФ> реагировать на воздействие <XXX> изменением <параметра> благодаря <свойству=YYY>									
Например: <Твердое тело> =ОФ реагирует на воздействие =<Тепловой поток> изменением <параметра=Температура> благодаря <свойству=Теплоемкость>									
<способен> как <субъект функции СФ> вызывать <изменение параметра> у других объектов посредством воздействия <XXX>									
Например: <Твердое тело> =СФ вызывает воздействие =<Лучистое тепло> благодаря <свойству=Излучательная способность>									

Рис. 1. Шаблон для формирования элементов описания компонентов моделей

Имя объекта	Признак объекта (свойство)	Характер объекта	Меняющийся Параметр ОФ	Направление изменения	Действующий Фактор	Направление действия	Глагол действия	Изменяемый Параметр ОФ
Да	Да	Да	Да		Да		Да	
Абсорбент (жидкость)	Признак: сорбционная способность	BF	связность (с молекулами растворителя)		средство молекул вещества и растворителя		удерживать	связность (с молекулами раство
Абсорбент (жидкость)	Признак: диффузионная способность	BF	Направление диффузии		градиент концентраций		направлять	Направление диффузии
Абсорбент (жидкость)	Признак: сорбционная способность	CF	Концентрация (абсорбата)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Абсорбент (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	свободная поверхностная энергия	уменьшается	теплопередача			
Абсорбент (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	температура	изменяется	теплопередача			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	BF	Направление диффузии		градиент концентраций		направлять	Направление диффузии
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	BF	Концентрация		свободная поверхностная энергия		притягивать	Концентрация
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	CF	Концентрация (абсорбата)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: теплоемкость	CF	свободная поверхностная энергия	уменьшается	теплопередача			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: теплоемкость	CF	температура	изменяется	теплопередача			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	CF	Концентрация	уменьшается	свободная поверхностная энергия			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	CF	связность (с молекулами растворителя)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	BF	Концентрация (растворенного вещества)		средство молекул вещества и растворителя		насыщать	Концентрация (растворенного ве
Газ (компонент смеси)	Признак: диффузионная способность	CF	Направление диффузии	изменяется	градиент концентраций			
Газ (компонент смеси)	Признак: растворимость	CF	связность (с молекулами растворителя)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Газ (компонент смеси)	Признак: растворимость	BF	Концентрация (абсорбата)		средство молекул вещества и растворителя		насыщать	Концентрация (абсорбата)

Рис. 2. Фрагмент базы описаний компонентов

Имя объекта	Признак объекта (свойство)	Характер объекта	Меняющийся Параметр ОФ	Направление изменения	Действующий Фактор	Направление действия	Глагол действия	Изменяемый Параметр ОФ
Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
Абсорбент (жидкость)	Признак: сорбционная способность	SF	связанность (с молекулами растворителя)		средство молекул вещества и растворителя		удерживать	связанность (с молекулами раство)
Абсорбент (жидкость)	Признак: диффузионная способность	SF	Направление диффузии		градиент концентраций		направлять	Направление диффузии
Абсорбент (жидкость)	Признак: сорбционная способность	CF	Концентрация (абсорбата)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Абсорбент (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	свободная поверхностная энергия	уменьшается	теплопередача			
Абсорбент (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	температура	изменяется	теплопередача			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	SF	Направление диффузии		градиент концентраций		направлять	Направление диффузии
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	SF	Концентрация		свободная поверхностная энергия		притягивать	Концентрация
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	CF	Концентрация (абсорбата)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: теплоемкость	CF	свободная поверхностная энергия	уменьшается	теплопередача			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: теплоемкость	CF	температура	изменяется	теплопередача			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	CF	Концентрация	уменьшается	свободная поверхностная энергия			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	CF	связанность (с молекулами растворителя)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	SF	Концентрация (растворенного вещества)		средство молекул вещества и растворителя		насыщать	Концентрация (растворенного ве
Газ (компонент смеси)	Признак: диффузионная способность	CF	Направление диффузии	изменяется	градиент концентраций			
Газ (компонент смеси)	Признак: растворимость	CF	связанность (с молекулами растворителя)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Газ (компонент смеси)	Признак: растворимость	SF	Концентрация (абсорбата)		средство молекул вещества и растворителя		насыщать	Концентрация (абсорбата)
Растворитель (жидкость)	Признак: растворяющая способность	SF	связанность (с молекулами растворителя)		средство молекул вещества и растворителя		удерживать	связанность (с молекулами раство)
Растворитель (жидкость)	Признак: растворяющая способность	CF	Концентрация (растворенного вещества)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Растворитель (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	растворяющая способность	уменьшается	теплопередача			
Растворитель (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	температура	изменяется	теплопередача			
Растворитель (металл)	Признак: теплоемкость	CF	растворяющая способность	увеличивается	теплопередача			
Растворитель (металл)	Признак: теплоемкость	CF	температура	изменяется	теплопередача			
Теплоноситель (газ)	Признак: количество теплоты	SF	температура		теплопередача		нагревать	температура
Теплоноситель (газ)	Признак: количество теплоты	SF	свободная поверхностная энергия		теплопередача		деактивировать	свободная поверхностная энерги
Теплоноситель (газ)	Признак: количество теплоты	SF	растворяющая способность		теплопередача		активировать	растворяющая способность
Теплоноситель (жидкость)	Признак: количество теплоты	SF	температура		теплопередача		нагревать	температура
Теплоноситель (жидкость)	Признак: количество теплоты	SF	свободная поверхностная энергия		теплопередача		деактивировать	свободная поверхностная энерги
Теплоноситель (жидкость)	Признак: количество теплоты	SF	растворяющая способность		теплопередача		активировать	растворяющая способность

Рис. 3. Алгоритм поиска формулировки функции

Имя объекта	Признак объекта (свойства)	Характер объекта	Менющий параметр ОФ	Направление изменения	Действующий Фактор	Направление действия	Глагол действия	Изменяемый параметр ОФ
Да	Да	Да	Да		Да		Да	
Абсорбент (жидкость)	Признак: сорбционная способность	SF	связность (с молекулами растворителя)		средство молекул вещества и растворителя		удерживать	связность (с молекулами раство
Абсорбент (жидкость)	Признак: диффузионная способность	SF	Направление диффузии		градиент концентрации		направлять	Направление диффузии
Абсорбент (жидкость)	Признак: сорбционная способность	CF	Концентрация (абсорбата)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Абсорбент (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	свободная поверхностная энергия	уменьшается	теплопередача			
Абсорбент (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	температура	меняется	теплопередача			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	SF	Направление диффузии		градиент концентрации		направлять	Направление диффузии
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	SF	Концентрация		свободная поверхностная энергия		прямлять	Концентрация
Абсорбент (твердое тело)	Признак: сорбционная способность	CF	Концентрация (абсорбата)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: теплоемкость	CF	свободная поверхностная энергия	уменьшается	теплопередача			
Абсорбент (твердое тело)	Признак: теплоемкость	CF	температура	меняется	теплопередача			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	CF	Концентрация	уменьшается	свободная поверхностная энергия			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	CF	связность (с молекулами растворителя)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Вещество (растворенное)	Признак: растворимость	SF	Концентрация (абсорбата)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя		насыщать	Концентрация (растворенного ве
Газ (компонент смеси)	Признак: диффузионная способность	CF	Направление диффузии	меняется	градиент концентрации			
Газ (компонент смеси)	Признак: растворимость	CF	связность (с молекулами растворителя)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Газ (компонент смеси)	Признак: растворимость	SF	Концентрация (абсорбата)		средство молекул вещества и растворителя		насыщать	Концентрация (абсорбата)
Растворитель (жидкость)	Признак: растворяющая способность	SF	связность (с молекулами растворителя)		средство молекул вещества и растворителя		удерживать	связность (с молекулами раство
Растворитель (жидкость)	Признак: растворяющая способность	CF	Концентрация (растворенного вещества)	увеличивается	средство молекул вещества и растворителя			
Растворитель (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	растворяющая способность	увеличив	теплопередача			
Растворитель (жидкость)	Признак: теплоемкость	CF	температура	меняется	теплопередача			
Растворитель (металл)	Признак: теплоемкость	CF	растворяющая способность	увеличивается	теплопередача			
Растворитель (металл)	Признак: теплоемкость	CF	температура	меняется	теплопередача			
Теплоноситель (газ)	Признак: количество теплоты	SF	температура		теплопередача		нагревать	температура
Теплоноситель (газ)	Признак: количество теплоты	SF	свободная поверхностная энергия		теплопередача		дезактивировать	свободная поверхно стная энерги
Теплоноситель (газ)	Признак: количество теплоты	SF	растворяющая способность		теплопередача		активизировать	растворяющая способность
Теплоноситель (жидкость)	Признак: количество теплоты	SF	температура		теплопередача		нагревать	температура
Теплоноситель (жидкость)	Признак: количество теплоты	SF	свободная поверхностная энергия		теплопередача		дезактивировать	свободная поверхно стная энерги
Теплоноситель (жидкость)	Признак: количество теплоты	SF	растворяющая способность		теплопередача		активизировать	растворяющая способность

Рис. 4. Алгоритм определения типа функции

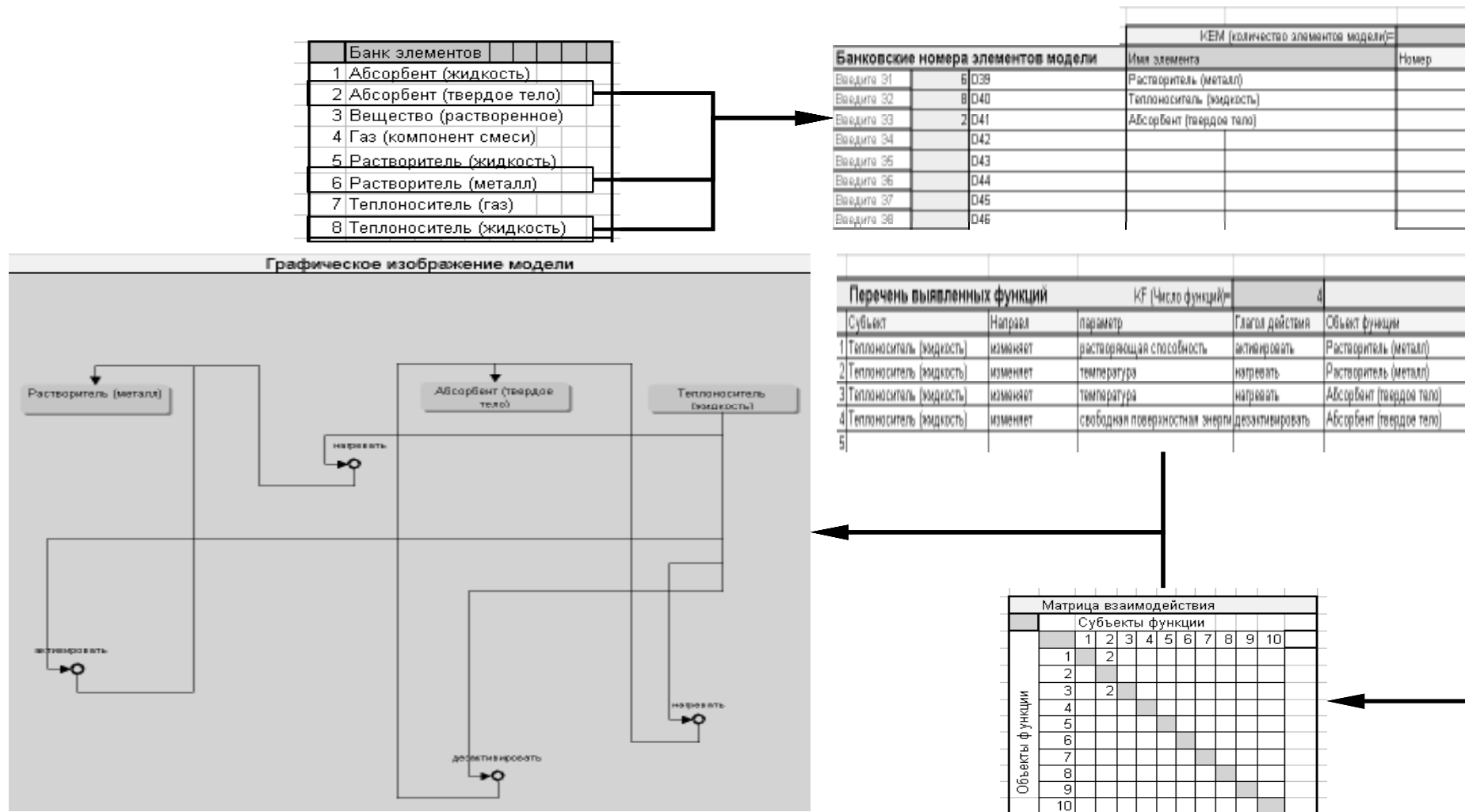


Рис. 5. Алгоритм построения функциональной модели

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Авторы	Город, страна	Стр.
Ефимов Андрей Вячеславович Andrey.Efimov@algo-spb.com	СПб, РФ	5
Злотин Борис Львович BZlotin@ideationtriz.com	Детройт, США	14
Зусман Алла Вениаминовна azusman12@ideationtriz.com	Детройт, США	14
Кайков Игорь Константинович i.k.kaikov@googlemail.com	СПб, РФ	32
Кайков Олег Игоревич i.k.kaikov@googlemail.com	СПб, РФ	32
Кашкаров Александр Германович Alexander.Kashkarov@algo-spb.com	СПб, РФ	58
Ключ Валерий Ефимович kluch@mrrc.obninsk.ru	Обнинск, РФ	75
Литвин Семен Соломонович simon.litvin@gen3.com	Бостон, США	76
Логвинов Сергей Анатольевич serglogvinov@yandex.ru	СПб, РФ	80
Петров Владимир Михайлович vladpetr@netvision.net.il	Раанана, Израиль	87
Пиняев Алексей Михайлович pinyayev.a@pg.com	СПб, РФ	109
Рубин Михаил Семенович mik-rubin@yandex.ru	СПб, РФ	118
Соколов Евгений Львович sokolov@algo-spb.com	СПб, РФ	144



**Принцип действия систем / Сборник научных работ. Библиотека
Саммита разработчиков ТРИЗ. Выпуск 4.
Санкт-Петербург. 20 июля 2011**

Составители: М. С. Рубин, А. В. Кудрявцев, С. С. Литвин, В. М. Петров

www.triz-summit.ru

Пописано в печать 31.06.2011 Формат 60x90/16.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. Тираж 120 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного ООО «Саммит разработчиков ТРИЗ», ООО «Авторская творческая мастерская» (АТМ Книга): 196084, Россия, СПб., Детский пер., д. 5.

