

О некоторых особенностях механизма действия законов развития технических систем и о системе ЗРТС

1. В соответствии с постулатами ТРИЗ одним из оснований этой области знания и технологии являются законы построения и развития технических систем. Соответственно одной из составляющих ТРИЗ является система указанных законов (система ЗРТС), которая и должна представлять этот самый базис. В настоящее время ЗРТС имеют вид описаний возможных направлений развития, а также линий развития ряда признаков ТС, представляющих потенциал изменения технических систем в будущем. Обоснование этих описаний - эмпирическое.

Таким образом, существующие системы ЗРТС хорошо выполняют в первую очередь объяснительно-иллюстрирующую функцию, а также могут быть использованы для прогнозирования потенциально возможных модификаций ТС на качественном уровне, без привязки к реальным возможностям реализации этих модификаций. Соответственно между формулировками ЗРТС и решательным аппаратом ТРИЗ корреляция недостаточно четкая (за исключением стандартов на решение изобретательских задач, которые автор ТРИЗ разрабатывал с использованием предложенной им системы ЗРТС).

Можно отметить, что проблема инструментальности системы ЗРТС уже рассматривалась ранее [1].

Инструментарий ТРИЗ включает в себя аналитические процедуры и массивы информации, представляющие собой главным образом эвристические подсказки (типовые решения, эвристики). Основной идеей ТРИЗ, как и любой иной методики поиска новых решений, обобщающей реальное изобретательство, является представление о том, что число эвристик (типовых решений) гораздо меньше числа типовых задач, число которых, в свою очередь, значительно меньше количества задач реальных. К примеру, в таблице использования типовых приемов в 1250 заполненных клетках, соответствующих типовым задачам (типовым противоречиям), содержится 40 типовых приемов (91 подприем). В то же время одной типовой задаче соответствуют до 10 подприемов. То есть, однозначного соответствия между типовой задачей и эвристикой (типовым приемом) в общем случае установить невозможно. Подобная картина наблюдается и при анализе стандартов на решение изобретательских задач.

По своей форме эвристики (типовые решения) можно разделить на следующие два вида:

- ненаправленные эвристики, в тексте которых не указываются условия их применения, дается только описание (пример: приемы, линии развития);
- направленные эвристики, в тексте которых указываются условия их применения (пример: стандарты).

Следует отметить, что не все из ненаправленных эвристик могут быть преобразованы в направленные за счет изменения формулировок. Наиболее простые эвристики, описывающие изменения на низших системных уровнях, могут применяться в разных случаях, так что единые условия их применения сформулировать весьма затруднительно. Подобные эвристики могут описывать только потенциал изменений исходной системы, а

выбор подходящего изменения при этом можно произвести только по контексту решаемой проблемы. Примером подобных эвристик является линия развития дробления. В принципе звенья цепочки изменений, составляющих эту линию, отражают потенциал изменений вещества системы, который не реализуется полностью в истории развития всех ТС или хотя бы одной системы, а могут встречаться по отдельности (или небольшими группами) в истории развития различных технических средств, в совокупности составляющих мир техники. При этом причины реализации того или иного звена этой цепочки могут быть различными.

2. Зависимости, называемые в ТРИЗ законами (ЗРТС), также различаются между собой по виду и сущности.

Анализ существующих зависимостей позволяет выделить как минимум три основных типа:

- безусловные законы, т. е. предписания, которые обязательно должны выполняться («должно быть...»);
- фиксирующие закономерности, описывающие признаки и состояния системы, которые всегда присутствуют в ней («так бывает всегда...»);
- закономерные тенденции, описывающие возможные состояния системы в процессе развития («может быть так...»).

Примечание. Одним из признаков закономерной тенденции является наличие в рекомендациях противоположных возможных состояний («закон и антизакон» [2]).

По своей сущности заметно различаются между собой законы построения и закономерности развития ТС. При этом законы построения относятся к безусловным законам, а закономерности развития – к закономерным тенденциям. Фиксирующие закономерности встречаются как среди законов построения, так и среди закономерностей развития ТС.

Особенно различаются законы построения и закономерности развития ТС по механизму своего действия. *Об особенностях законов построения ТС достаточно подробно сказано в [3].* Это различие обусловлено двойственной природой техники, которая является порождением законов природы и общества, входя в состав этих двух мегасистем. При этом природная составляющая определяет работоспособность и возможность функционирования, а общество определяет целесообразный характер ТС и обуславливает ее развитие.

Следует отметить, что закон – категория принуждающая. Неисполнение предписаний закона должно обязательно как-то наказываться. Именно в этом плане законы построения ТС существенно отличаются от закономерностей развития. Законы построения ТС как отражение природного субстрата техники практически безусловны: их нарушение сразу приводит к неработоспособности ТС (то есть наказание за их нарушение неотвратимо). Закономерности развития отражают влияние социума на технику и, так же как и законы социума, не безусловны. Их нарушение не порождает немедленное наказание, хотя и уводит развитие ТС с оптимальной траектории.

Действительно, закономерности развития ТС отличаются в первую очередь тем, что они как бы не обязательны для исполнения. Имеется целый пласт технических систем и

устройств, которые весьма мало изменяются со временем, определенным образом консервируясь. Особенно это бросается в глаза на фоне передовых областей техники, которые достаточно быстро эволюционируют.

Следует отметить, что подобная избирательность действия законов развития типична не только для техники. В развитии живых организмов имеется множество примеров, когда одни виды за определенный период активно эволюционируют, существенно изменяясь (например, китообразные), в то время как часть видов не меняется в течение миллионов лет (некоторые виды рыб и пресмыкающихся). Разнобой в действии законов развития наблюдается и в истории развития общества. Например, в соответствии с общим законом приведения в соответствие производительных сил и производственных отношений практически во всех странах Европы произошел переход от средневекового способа производства к капиталистическому. Однако политическое устройство таких стран, как, например, Англия, Франция и Германия в результате такого перехода оказалось существенно различным: большое влияние оказали местные особенности в распределении сил и влияния различных общественных группировок.

Кажущаяся необязательность действия закономерностей развития ТС и определенный разнобой в результатах давно обратили на себя внимание специалистов ТРИЗ. В частности, для объяснения этого феномена в [4] законы развития ТС названы «статистическими». Правда, анализ этого положения, приведенный в [5], показал, что по своей природе закономерности развития ТС являются обычными динамическими законами, подчиняющимися причинно-следственным отношениям. Отсылка к случайности и вероятностям – это традиционное прикрытие отсутствия необходимых знаний (см., например, [6]).

3. Чтобы разобраться в особенностях механизма действия закономерностей развития, необходимо вспомнить, что ТС не развивается сама, а ее развитие является результатом воздействия общества. При этом целесообразно рассматривать ТС как некое целое техническое средство (целостный объект) с входами и выходами, которое должно отвечать определенным **условиям приемлемости для общества и окружения** (см., например, [7] и [8]). Данные условия можно представить следующим образом:

Условие 1) Функциональный эффект (выполнение главной полезной функции качественно и количественно) должен соответствовать требованиям окружения (потребностям социума и/или требованиям надсистемы и среды)

Условие 1.1) Должно быть обеспечено устойчивое функционирование ТС (надежность и стойкость к внешним воздействиям).

Условие 1.2) Должна быть обеспечена требуемая степень управляемости процессом функционирования (при необходимости) (в т.ч. – удобство взаимодействия человека с ТС).

Условие 2) Требуемые входы системы (т.е. ресурсы, необходимые для обеспечения функционирования) должны быть приемлемы для социума и остального окружения (т.е. не должны выходить за рамки возможностей окружения системы).

Условие 3) Выходы системы, а также требуемые изменения входов, оцениваемые окружением как некоторые ухудшения, должны быть допустимы для окружения (т.е. в процессе развития системы не должны появляться обостренные противоречия).

Именно нарушение указанных условий побуждает человека изменять (развивать) систему. При этом условие 1 является основным условием для развития, условия 1.1 и 1.2 дополняют условие 1 (уточняют его отдельные аспекты), условие 2 является ресурсным ограничением развития, а условие 3 – общим ограничением развития.

Такой подход от внешнего функционирования к внутреннему характерен для инженерного проектирования, при котором процесс изобретательства инициирован не столько творческим порывом, сколько производственной необходимостью.

Следует отметить, что функциональные критерии (условия 1; 1.2; 1.3) обладают несомненным приоритетом перед экономией ресурсов (условие 2). Это подтверждается не только опытом развития техники, но и, к примеру, развитием живых организмов. В частности, в [9] показано, что в процессе эволюции неуклонно возрастало потребление организмом кислорода единицей массы тела в единицу времени (в состоянии покоя при температуре $+20^{\circ}\text{C}$). То есть неуклонно возрастала энергетическая вооруженность организмов. Именно по причине большей энергетической активности млекопитающие выиграли эволюционное соревнование у пресмыкающихся. Хотя по критерию «возможности организма/затраты» пресмыкающиеся (особенно современные крупные хищники типа крокодилов или крупных варанов) превосходят млекопитающих (то есть теплокровных хищников близкой массы), поскольку используют для своих жизненных процессов тепло атмосферы. Это лишний раз свидетельствует, что относительная эффективность (то есть отношение полезного результата к затратам) не является главным критерием успешной эволюции.

Поскольку невыполнение требований критериев функциональности и экономии ресурсов чаще всего проявляются через нарушение требований условия 3, целесообразно обратить особое внимание на это условие. Вполне возможно, что именно оно во многом определяет особенности механизма действия закономерностей развития.

Уже достаточно давно отмечалось, что категория «противоречия» в ТРИЗ используется слишком упрощенно (см., например, [10]), исключительно на качественном уровне и только как признак задачи. Представление о развитии (обострении) противоречия вообще не используется. Подобный подход время от времени заводит специалистов ТРИЗ в тупиковые ситуации. Например, в [11] и [12] показано, что итальянские специалисты ТРИЗ (проф. Д.Кавалуччи и др.), построив разветвленные («пространственные») причинно-следственные цепочки, выявили в одной системе массу технических противоречий (ТП), но что с ними делать дальше, не поняли. Была высказана идея, что выявить противоречия, с которыми следует дальше работать, могут помочь законы развития ТС. Между тем, для каждой ТС действительно можно выделить достаточно большое число типичных для нее ТП, с которыми система вполне благополучно существует в продолжение всего жизненного цикла. И только **существенные**, то есть **обостренные или обостряющиеся противоречия** заставляют человека заниматься изменением этой ТС, подключая аппарат законов развития. **То есть не законы определяют, какими противоречиями следует заниматься в ходе развития ТС, а**

обострение того или иного противоречия указывает, какие закономерности следует подключать для требуемого изменения системы. Причем обострение противоречия может не только запускать процесс изменений в ТС, но и делать невозможным реализацию тех или иных закономерностей развития ТС.

Рассмотрим пример из практики реального проектирования. В килевой части спасательных подводных аппаратов имеется выступающая за обводы цилиндрическая шахта. Поскольку цилиндр при поперечном обтекании является плохообтекаемым телом, в корму от шахты обычно устанавливается обтекатель длиной примерно в 4-5 диаметров цилиндра. При разработке одного из проектов специалисты по гидроакустике потребовали убрать обтекатель, чтобы разместить на его месте гидроакустическую антенну. Однако когда им показали, каков вихревой след получается за цилиндром без обтекателя (рис. 1), они поставили задачу убрать или уменьшить этот вихревой след, но без использования обтекателя.

Подобные задачи обычно решаются приемами из области управления пограничным слоем: используется отсос среды или её вдув в пограничный слой через узкие щели или мелкие отверстия (через перфорацию) с использованием специального насоса. Такая техника хорошо зарекомендовала себя в авиации, однако на морских объектах оказалась ненадежной, поскольку морская биота быстро засоряла мелкие отверстия. Поэтому было решено поискать вариант влияния на поток, менее чувствительный к особенностям водной среды.

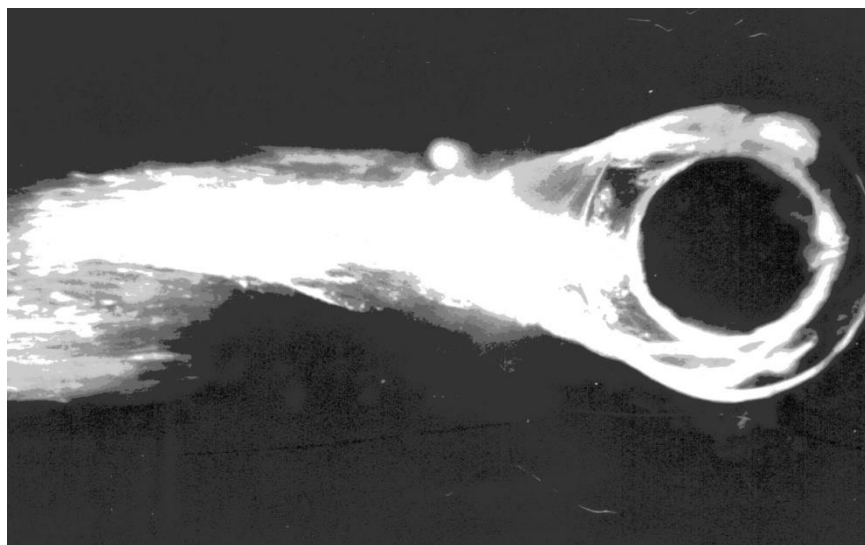


Рисунок 1 – Вихревой след при поперечном обтекании цилиндра
(получено на установке визуализации, аналогичной той, на которой проводились испытания модели парашюта из известной задачи)

Было решено использовать систему небольших крыльевых профилей, с помощью которых можно было бы ускорить поток вокруг цилиндра и локализовать зону вихревого отрыва (новый принцип действия с использованием эффекта Коанда). При этом предполагалось отказаться от специального насоса, использовав дармовой ресурс в виде набегающего потока воды (идеальность). Получившийся вариант представлен на рис. 2. Испытания

показали, что кроме локализации вихревого следа обеспечивается еще и 20% снижение гидродинамического сопротивления.

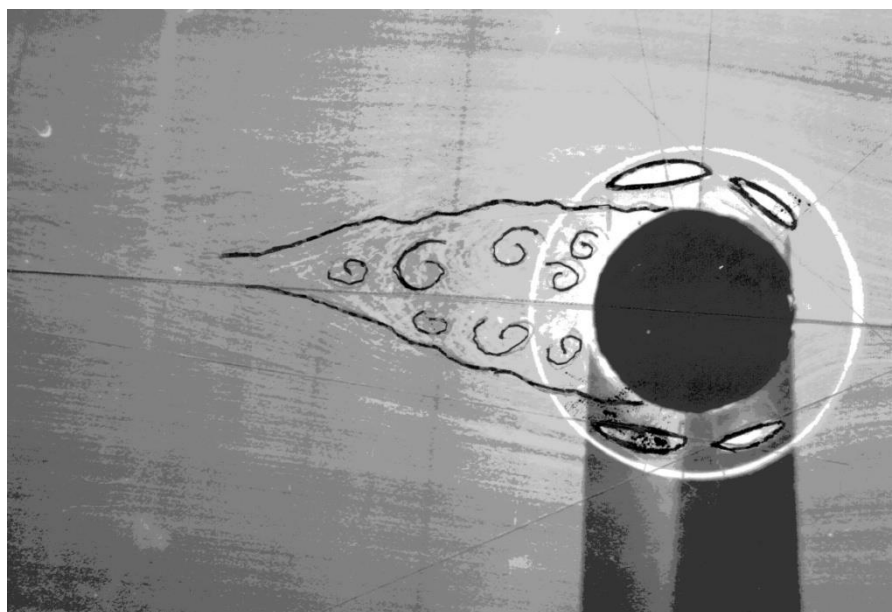


Рисунок 2 – Обтекание цилиндра с крыльевыми профилями

У получившейся конструкции был, однако, один существенный недостаток: такая картина вихреобразования наблюдалась только при обтекании вдоль продольной оси симметрии. При отклонении направления потока от осевого направления, что для подводного аппарата скорее норма, чем исключение, вихревой шлейф сразу разрастался. Поэтому, в соответствии с законами развития ТС, было решено сделать устройство динамичным и управляемым, чтобы крыльевая система своей осью симметрии всегда была ориентирована вдоль потока. Выполненная проработка показала, что технически такую конструкцию вполне можно сделать. Однако она оказалось довольно сложной и, кроме того, недостаточно надежной, поскольку цилиндрическая шахта расположена ниже киля и может вступать в контакт с различными придонными объектами. То есть полученные недостатки решения оказались не приемлемы (условие 3 не выполнялось). Так что от этой идеи пришлось отказаться. В конце концов, задача была решена достаточно традиционно: сделана перекомпоновка оборудования, позволившая установить антенну гидроакустики в нос от шахты, а за цилиндром сохранили обтекатель.

Из приведенного примера видно, что изобретательское решение, соответствующее закономерностям развития и отвечающее требованиям, предъявляемым к изобретениям высокого уровня, может не соответствовать практическим требованиям реализации этого решения. Именно поэтому количество изобретательских решений, реализованных на практике, значительно меньше числа зафиксированных изобретений.

Приведенный пример также наглядно показывает, почему закономерности развития ТС иногда не действуют и почему целый ряд объектов техники как бы консервируется в развитии: **просто не удается обеспечить выполнение критерия допустимости получающихся ухудшений.** То есть, закономерности развития ТС, в целом правильно описывая потенциал развития технических систем вообще, в каждом конкретном случае действуют **ситуационно**. И результаты применения закономерности следует проверять

анализом. При этом возможность применения той или иной закономерности, сформулированной на уровне внутреннего функционирования, во многом определяется целым рядом условий внешнего функционирования, которые не сводимы к внутреннему функционированию и не отражаются в нем. Такая многоаспектность условий реализации новых решений, которую зачастую трудно предусмотреть заранее, и порождает иллюзию случайности срабатывания закономерностей развития ТС,

4. Изложенная особенность механизма реализации закономерностей развития ТС, а также отмеченное ранее отсутствие однозначного соответствия между типовыми задачами и типовыми решениями (эвристиками) поднимают вопрос о реальных возможностях массивов эвристик, а также о назначении системы законов построения и развития ТС.

Теоретически для преобразования исходной системы в новую в ходе развития достаточно применять одну эвристику «инверсия» (сделать не так, сделать наоборот), которая соответствует закону диалектического отрицания. При этом существует только одна трудность: необходимо знать, какой признак исходной ТС следует подвергнуть отрицанию. В принципе, глубокий анализ структуры противоречия исходной системы подтверждает реальность такой возможности (как было показано в [13]). То есть **потребность в использовании эвристик обратно пропорциональна глубине анализа.**

К сожалению, опыт показывает, что значительное число людей, даже имеющих высшее образование, не очень «дружит» даже с формальной логикой. Поэтому надеяться на широкое освоение и применение диалектической логики для реализации требуемой глубины анализа не стоит. Одновременно тот же опыт показывает, что подсказки в виде эвристик психологически лучше воспринимаются человеком (по сравнению с рекомендациями по проведению анализа), очевидно из-за большей наглядности.

Однако у любых массивов эвристик существует противоречие между полнотой и удобством использования. В принципе массивы ненаправленных эвристик (приемов, линий развития) могут включать до несколько сотен единиц. Естественно, что работать с такими массивами человеку без помощи компьютера весьма затруднительно. Поэтому авторы методик, ориентированных на человека, стараются как-то сократить предлагаемые для использования массивы эвристик. Например, как показано в [14], рекомендуемые к применению массивы межотраслевых изобретательских приемов, разработанные коллективом под руководством А.И.Половинкина, сокращались с течением времени: в публикации 1976г. – 420 единиц; в 1981г.- 257 единиц; в 1988г. – 180 единиц. Подходы к такой селекции массивов (особенно при существенном ограничении, к примеру, количества типовых приемов, как это сделано в ТРИЗ) исключительно авторские. *Поэтому применяя любой ограниченный массив эвристик, можно надеяться только на талант автора, предложившего этот массив.*

В условиях указанного противоречия, характерного для массивов эвристик, становится понятной идеологическая роль системы ЗРТС: ограниченное количество базовых закономерностей развития ТС, в известной степени увязанных друг с другом, определяют основные принципы изменения систем в ходе развития и являются своего рода костяком представления о процессе развития. Естественно, базовые закономерности могут конкретизироваться и уточняться в менее общих эвристиках. Представляется, что закономерности развития должны иметь форму **направленных эвристик.** При этом из

множества подобных эвристик указанные закономерности должны выделяться по признаку наибольшей общности. Остальные направленные эвристики также могут проранжированы по признаку общности. В принципе может быть составлена иерархия эвристик этого класса; связи между отдельными элементами этого множества должны определяться условиями применения. Таким образом, может быть получена обоснованная система эвристик, основанием которой будут закономерности.

При этом следует учитывать, что адекватная система закономерностей развития ТС достаточно сложна и многоаспектна. Поэтому полное представление этих закономерностей в виде направленных эвристик скорее всего не получится. С учетом неизбежного наличия в массиве эвристик ненаправленных эвристик заметная часть информации в этой области будет представлена в виде ненаправленных линий развития, использование которых производится через морфологические признаки ТС, связанные с решаемой проблемой.

5. В качестве примера системы законов построения и закономерностей развития ТС можно предложить приведенную далее систему, отражающую как имеющиеся публикации по системам ЗРТС (например, [4], [7], [8], [15], [16]), так и исследования по отдельным закономерностям ([17] - [21]). Предлагаемая система законов и закономерностей составлена с учетом опыта инженерного проектирования. При этом сделана попытка увязать всю систему с несколькими основополагающими принципами и законами.

5.1. Законы построения технических систем

Законы построения ТС, обусловленные природным субстратом и обеспечивающие работоспособность технической системы, обязательны к исполнению (см. [3]).

П1. Закон соответствия функции и структуры

Состав и структура (взаимодействие элементов) ТС должна обеспечивать выполнение главной полезной функции системы (ГПФ).

Следствие П1.1. Закон функциональной полноты ТС

Состав элементарных полезных функций (ЭПФ) первого уровня декомпозиции ГПФ и соответствующие подсистемы должны обеспечивать выполнение ГПФ.

Следствие П1.2. Закон структурной полноты ТС

Состав элементов и взаимодействий между ними должен быть достаточен для выполнения ЭПФ, в том числе – должен обеспечивать прохождение природных потоков (вещества, энергии и/или информации) к нужным частям системы и такое преобразование этих потоков (по виду и/или по программе), которое обеспечивает выполнение всех ЭПФ системы.

Примечание 1. В частности, для энергопотоков можно выделить следующие структурные звенья, обеспечивающие преобразование энергии: источник энергии – двигатель – трансмиссия – рабочий орган – (изделие).

Примечание 2. Поточковый подход может быть применен и к картине распределения усилий и напряжений в сооружениях.

Следствие П1.3. Закон соответствия принципов действия системы функционально-параметрической нише.

Принцип действия каждой подсистемы ТС должен быть наиболее приемлем (оптимален) для функционально-параметрической ниши, соответствующей качественным и количественным параметрам функции данной подсистемы.

Примечание 3. При выходе количественных характеристик функционирования за рамки функционально-параметрической ниши в процессе развития системы скорее всего будет необходима смена принципа действия соответствующей подсистемы ТС.

Примечание 4. При невозможности адекватно обеспечить функционирование системы (подсистемы) в рамках заданной функционально - параметрической ниши за счет одного принципа действия, целесообразно разделить данную нишу на части, для каждой из которых использовать свой принцип действия (гибридизация принципов действия при выполнении заданной функции).

Следствие П1.4. Закон соответствия между сложностью функции и структуры

В общем случае усложнение функционирования обеспечивается соответствующим усложнением структуры системы.

Следствие П1.4.1. Закон сохранения сложности

Уменьшение сложности структуры подсистемы (системы) может быть обеспечено упрощением функции или перемещением уровней сложности внутрь структуры: усложнение функционирования отдельных элементов или усложнение формы движения материи в подсистеме (с соответствующей сменой принципа действия).

Примечание 5. Следствие П1.4.1 важно для процесса развития ТС.

Следствие П1.5. Закон неравномерности распределения ресурсов в системе (фиксирующая закономерность)

Поскольку разные части системы выполняют разные функции и поскольку важность (существенность) выполняемых функций различна, соответственно ресурсы, обеспечивающие функционирование, распределены в системе неравномерно.

П2. Закон минимально необходимого (порогового) уровня согласованности (сопряжения) структуры ТС

Для гарантии работоспособности должно быть обеспечено минимально необходимый (пороговый) уровень согласования (сопряжения) структуры и функции, а также взаимодействия элементов структуры между собой качественно и количественно.

П3. Закон обеспечения минимально необходимого уровня управляемости ТС

Если хотя бы один из параметров ТС меняется во времени, т.е. является динамическим, причем требуемое состояние этого параметра не поддерживается общим процессом функционирования или влиянием среды, необходимо включать в ТС соответствующую управляющую подсистему, обеспечивающую требуемое состояние данного параметра.

П4. Закон преодоления параметрических порогов функционирования системы

В тех случаях, когда ТС создается впервые (пионерная разработка), необходимо обеспечить преодоление основными функциональными параметрами параметрических порогов: физического и функционального.

Физический параметрический порог определяет те минимальные запасы (превышения параметра) над минимально равновесными значениями, которые определяют условия устойчивого функционирования.

Функциональный параметрический порог определяет тот уровень количественных параметров функционирования, при котором создаваемое техническое средство можно уже считать общественно полезным, а не только демонстрационным артефактом.

П5. Закон неизбежной избыточности свойств системы (фиксирующая закономерность)

Каждая система в реальности обладает избыточностью свойств и ресурсов по следующим основным причинам:

- структурная избыточность, обусловленная тем, что в любой структуре используются не все свойства входящих в систему элементов;
- функциональная избыточность, обусловленная наличием в системе вспомогательных подсистем, выполняющих неосновные функции;
- избыточность, обусловленная не 100% использованием ресурсов в процессе функционирования (коэффициенты полезного действия и коэффициенты использования ресурсов меньше единицы);
- избыточность, обусловленная дискретностью элементов.

5.2. Закономерности развития технических систем

Поскольку развитие ТС инициируется потребностями общества (социума), закономерности развития необходимо, как уже отмечено выше, рассматривать в первую очередь с точки зрения внешнего функционирования системы. При этом закономерности развития на уровне внутреннего функционирования (на уровне состава и структуры) будут отражением закономерностей развития внешнего функционирования и средством для их реализации.

Такой подход позволяет рационально выделить наиболее общие закономерности, если ориентироваться на главные входы и выходы ТС и условия приемлемости системы для общества и остального окружения (приведенные выше условия 1; 1.1; 1.2; 2 и 3). А также в известной степени объяснять особенности развития.

К примеру, выполнение условия 3 соответствует понятию **гармоничное развитие**. Поскольку любое изменение в системе приводит к изменению степени обострения существующих или к появлению новых противоречий системы (технических противоречий), утверждение, что к появлению противоречий приводит неравномерность развития, некорректно. Тем более, что реально оценить степень равномерности развития невозможно (см. [19]).

Рассмотрим пример. Имеется исходное судно со следующими характеристиками: водоизмещение D ; масса корпуса P_k ; коэффициент массы корпуса $K_k = P_k/D$. Увеличим

равномерно все геометрические параметры корпуса судна в N раз. При этом получим: $D_1=D*N^3$; $P_{K1}=P_K*N^3$; $K_{K1}=K_K$; изгибающий момент корпуса на миделе (в среднем сечении) $M_1=M*N^4$; момент сопротивления миделевого сечения корпуса $W_1=W*N^3$; максимальные напряжения в конструкции миделевого сечения $\sigma_1=M_1/W_1=\sigma*N$. Если в исходном варианте судна максимальные напряжения в конструкции миделевого сечения уже равнялись допускаемым напряжениям, то получившаяся величина σ_1 является недопустимой, то есть получаем нежелательный эффект и нарушение условия 3. Получается, что равномерное изменение части ТС привело к обострению противоречия, характерного для этой части.

Чтобы исправить ситуацию, необходимо толщины конструкций в районе максимальных напряжений увеличить еще в N раз. Но при этом увеличится масса корпусных конструкций и соответственно уменьшится грузоподъемность судна, что также является ухудшением характеристик системы. Чтобы избежать указанного ухудшения, можно без увеличения толщин конструкции использовать для этой части корпуса более прочный материал с величиной допустимого напряжения не менее σ_1 . Хотя это приведет к определенному удорожанию корпуса судна, но может оказаться допустимым. То есть для того, чтобы выполнить условие 3 приемлемости ТС для окружения, необходимо неравномерное изменение частей системы. Именно при этом получаем гармоничное развитие.

Некоторые их основных (наиболее общих) закономерностей развития технических систем

P1. Закономерность неизбежного роста функционального эффекта ТС.

Функциональный эффект ТС, формируемый на уровне внешнего функционирования, в процессе развития постоянно растет, за исключением тех случаев, когда этот рост не возможен из-за тех или иных внешних ограничений.

Рост функционального эффекта обусловлен главным образом изменением общественных потребностей.

Следствие P1.1. Для активизации функционирования возможен переход от статической структуры к динамической (статическое воздействие заменяется динамическим)

Следствие P1.2. Рост функционального эффекта при данном принципе действия ограничивается границами соответствующей функционально-параметрической ниши. При этом изменение функционального эффекта во времени описывается логистической зависимостью (S – образной кривой).

P2. Закономерность неизбежного роста относительной эффективности ТС (как отношения функционального эффекта к затратам).

Относительная эффективность ТС, формируемая на уровне внешнего функционирования, в процессе развития постоянно растет, за исключением тех случаев, когда этот рост препятствует росту функционального эффекта.

Рост относительной эффективности позволяет преодолеть ресурсное ограничение развития (условие 2).

Примечание 6. Рост относительной эффективности может служить критерием оценки предпочтительности решения только в тех случаях, когда этот рост происходит при постоянном уровне функционального эффекта или затрат.

Р2.1. Закономерность роста идеальности технической системы.

Проекция роста относительной эффективности на внутреннее функционирование проявляется в виде роста идеальности ТС (соответствующей представлению об «идеальной машине» [22]).

Рост идеальности происходит постоянно кроме случаев, когда этот рост препятствует росту функционального эффекта. Рост идеальности обеспечивается главным образом путем уменьшения избыточности структуры ТС и позволяет преодолевать как ресурсное ограничение (условие 2), так и общее ограничение развития (условие 3).

Рост идеальности ТС обеспечивается путем реализации следующих принципов идеальности:

- 1) необходимо получать полезный результат от действия или средства без самого действия или средства («получить даром»);
- 2) в каждый момент времени и в каждой точке пространства в системе должны быть только те свойства и взаимодействия, которые необходимы для получения полезного результата («ничего лишнего»);
- 3) необходимо максимально использовать имеющиеся свойства и взаимодействия элементов системы и ее окружения, устранять потери и отходы («из лишнего — максимальную пользу»);
- 4) необходимо доводить до минимума затраты времени на получение полезного результата («получить сразу, мгновенно»).

Примечание 7. Относительная эффективность и идеальность ТС не тождественны, они относятся к разным уровням функционирования системы. В ряде случаев система с отступлениями от принципов идеальности может по критерию относительной эффективности, выраженной в стоимостных измерителях (особенно при наличии жестких ограничений на состав системы и/или сроки создания) оказаться наиболее предпочтительной.

Р2.2. Закономерность изменения широты функционирования ТС.

Р2.2.1. В случае невозможности преодолеть ресурсное ограничение при росте функционального эффекта для заданной широты функционирования ТС возможно уменьшать широту функционирования, т.е. увеличить степень специализации системы (в соответствии с законами П1.4 и П1.4.1).

Р2.2.2. Для повышения уровня идеальности путем уменьшения избыточности ТС в соответствии с третьим принципом идеальности возможно увеличить широту функционирования, т.е. увеличить степень универсализации системы.

Р3. Закономерность увеличения неравномерности распределения ресурсов в системе.

При невозможности повышения функционального эффекта из-за ресурсного ограничения возможно увеличение степени неравномерности распределения ресурсов в системе путем увеличения концентрации ресурсов в соответствующих частях системы.

Р4. Закономерность увеличения количества применяемых элементов и использования надсистемы для преодоления ресурсного ограничения.

Р4.1. При невозможности повышения функционального эффекта в рамках одного технического средства или одной существенной части этого средства (подсистемы или элемента, например, рабочего органа) возможно увеличение числа используемых одновременно технических средств (подсистем, элементов).

Р4.2. При невозможности повышения функционального эффекта за счет использования заданной ТС возможно привлечения соответствующих частей, систем и/или ресурсов надсистемы.

Р5. Закономерность повышения степени динамичности ТС.

В тех случаях, когда функционирование системы изменяется во времени, структура системы также соответственно становится изменяемой во времени (динамичной, в соответствии с законами П1 и П1.4).

Р6. Закономерность повышения степени управляемости ТС.

В соответствии с повышением степени динамичности ТС в процессе развития повышается и степень ее управляемости (в необходимых случаях, как это отмечено в П.3). В ряде случаев для повышения управляемости происходит дополнительное повышение динамичности.

Р7. Закономерность повышения степени согласованности структуры ТС (фиксирующая закономерность).

Инструментом совершенствования ТС в процессе развития является дальнейшее (оптимизационное) согласование между собой элементов и связей между ними.

Примечание 8. Поскольку согласование может производиться по разным основаниям, результаты согласования могут выглядеть как противоположности «согласование – рассогласование».

Р8. Закономерность усложнения структуры ТС (фиксирующая закономерность).

Реализация развертывания потенциала принципа действия ТС в процессе развития приводит, как правило, к росту сложности структуры системы.

Р9. Закономерность периодического свертывания структуры ТС.

С целью повышения надежности функционирования ТС, а также уменьшения структурной и функциональной избыточности периодически осуществляется свертывание части структуры для ее упрощения.

Р9.1. Если функционирование осуществляется комплексом самостоятельных технических средств, то при свертывании комплекс заменяется единой системой (единым техническим средством).

Р9.2. Механизм упрощения структуры системы осуществляется в соответствии с П.1.4.1.

Р10. Закономерность комплексного использования форм движения материи для осуществления функционирования ТС.

В процессе развития возможно использование в ТС новых форм движения материи из числа технологически освоенных обществом (с заменой принципа действия соответствующих подсистем).

При этом возможно движение как от более простых форм движения материи к более сложным, так и от более сложных к более простым. Если исходная форма движения материи в системе достаточно сложная; например, в медицине: психологическое воздействие (заговоры, шаманизм) – биологические средства – химические вещества – физические эффекты.

При переходе к более сложным формам движения материи (с макроуровня к микроуровню) возможно упрощение структуры системы, в том числе уменьшение степени динамизма на макроуровне.

Приведенные законы и закономерности должны далее методически конкретизироваться на следующих (более низких) системных уровнях. Например, методический аппарат функционального анализа и потокового синтеза ТС изложен в [7], [23]. А закономерность повышения степени динамичности может быть конкретизирована за счет такого признака, как степень изменения ТС (от простого динамизма к сложному, вплоть до отброса и регенерации частей, а также по степени изменяемости элементов и связей между ними).

Источники

1. Голдовский Б.И. Об инструментальности законов развития технических систем //Сборник докладов IX международной конференции «ТРИЗ. Практика применения и развитие методических инструментов». Москва 10-11 ноября 2017 года. Том 2. С. 169-174 - <http://trizofication.ru/conference2017>
2. Чайковский Ю.В. Элементы эволюционной диатропики. – М.: Наука, 1990
3. Голдовский Б.И. О законах построения технических систем // ТРИЗ нужна России: проблемы технического творчества. Сб. ст. выпуск 2. – Чебоксары: Новое время, 2018 – стр. 54 – 72
4. Любомирский А., Литвин С. Законы развития технических систем - GEN3 Partners, 2003 - <http://www.metodolog.ru/00767/00767.html>
5. Голдовский Б.И. Являются ли ЗРТС статистическими законами (2016) - <http://www.metodolog.ru/node/1960>
6. Чайковский Ю.В. О природе случайности. Монография. 2-е изд. испр. и доп., вып. 27 «Ценологические исследования».- М.: Центр системных исследований – Институт истории естествознания и техники РАН, 2004

7. Голдовский Б.И., Вайнерман М.И. Рациональное творчество – М.: «Речной транспорт», 1990
8. Голдовский Б.И. Система закономерностей построения и развития технических систем (1981-1983) – <https://triz-summit.ru/ru/triz/metod/Gold/regular/>
9. Зотин А.И., Зотина Р.С. Феноменологическая теория развития, роста и старения организмов. – М.: Наука, 1993 (премия им. А.О.Ковалевского, 1997)
10. Голдовский Б.И. Тезисы в защиту противоречий в технических системах (3) (2014) - <http://www.metodolog.ru/node/1827>
11. Rousselot F., Zanni-Merk C., Cavallucci D. Towards a formal definition of contradiction in inventive design, Computers in Industry, 2012, vol. 63, p.2310242.
12. Cavallucci D., Zanni-Merk C., Rousselot F. On contradiction clouds. Proceedings of the TRIZ Future Conference 2008, Procedia Engineering, 2011, No. 9, p. 368–378.
13. Голдовский Б.И. О логике работы с противоречиями (2017) - <https://triz-summit.ru/ru/triz/metod/Gold/logic/> - <http://triz-summit.ru/file.php/id/f303295-file-original.pdf>
14. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988
15. Саламатов Ю.П. Система законов развития техники // «Шанс на приключение» – Петрозаводск: «Карелия», 1991
16. Vladimir Petrov. The Laws of System Evolution. Berlin: TriS Europe GmbH, 646 pages, published in Russian. INNOVATOR (06) 01/2013, ISSN 1866-4180.Петров В. Законы развития систем. Монография. Тель-Авив, 2013
17. Голдовский Б.И. О законе «Согласование технических систем» (2013) - <http://www.metodolog.ru/node/1632>
18. Голдовский Б.И. О специализации, универсализации и гибридизации / Сборник докладов VIII международной конференции «ТРИЗ: практика применения и проблемы развития». Москва 11-12 ноября 2016 года. С. 213-228 - <https://triz-summit.ru/ru/triz/metod/Gold/gibrid/>
19. Голдовский Б.И. О неравномерности развития технических систем (2016) - <https://triz-summit.ru/ru/triz/metod/Gold/TS/>
20. Голдовский Б.И. О динамичности и управляемости технических систем (2017) - <http://www.metodolog.ru/node/2041>; <https://triz-summit.ru/ru/triz/metod/Gold/TS-1/>
21. Голдовский Б.И. О динамичности и управляемости технических систем-2 (2017) - <https://triz-summit.ru/ru/triz/metod/Gold/TS-2/>
22. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. – М.: Московский рабочий, 1973
23. Комплексный метод поиска новых технических решений. В 3-х частях. – Горький: 1979, 1980 (Голдовский Б.И. и др., в соавторстве)

Сентябрь 2019г.

г. Нижний Новгород