

Лабораторная работа №2

Тема: ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Эвристические методы активизации творческой деятельности, несмотря на своё разнообразие, сохранили технологию проб и ошибок, именно поэтому при решении сложных технических задач выбор **оптимального** решения оказывается затруднен.

В основе Теории Решения Изобретательских Задач (ТРИЗ), созданной Г.С. Альтшуллером, лежат системный подход и понимание объективных законов развития систем. Был проведён анализ большого фонда изобретений и выявлены закономерности, по которым «живут» и развиваются технические системы.

Развитие любой системы связано с возникновением противоречий, для разрешения которых разработаны **приемы, стандарты** и, позднее, **алгоритм решения изобретательских задач**.

Практика обучения показывает, что довольно часто сильные изобретения связаны с использованием эффектов, выходящих за пределы специальности решающего. Поэтому в рамках ТРИЗ были созданы **указатели** различных явлений и эффектов: физических, химических, геометрических.

При решении более сложных задач, в которых противоречие, мешающее осуществлению необходимого действия, скрыто и не содержится в самом условии, применяются как **законы развития технических систем** (ЗРТС), так и **алгоритм решения изобретательских задач** (АРИЗ). При работе по АРИЗ решающий планомерно, шаг за шагом анализирует и упрощает условия задачи, формулирует **идеальный конечный результат** (ИКР), выходит на ключевое противоречие, исследует его, определяет причины возникновения, – и разрешает при помощи инструментов ТРИЗ. Кроме того, АРИЗ содержит части по проверке решения, развитию полученного ответа, совершенствованию самого алгоритма и т.д.

Особый раздел ТРИЗ – *развитие творческого воображения* (РТВ). Курс РТВ расшатывает привычные представления об объектах, ломает жесткие стереотипы, что очень важно при решении изобретательских задач.

ТРИЗ – это не только инструмент, позволяющий инженеру, изобретателю прогнозировать проблемную ситуацию и целенаправленно вести поиск оптимального решения задачи, это ещё и инструмент для тонких, дерзких, высокоорганизованных мысленных операций.

РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Французский биолог XVIII в. Бонне писал: *«Все части, составляющие тело, настолько непосредственно, многообразно и многообразно связаны друг с другом в области своих функций, что они неотделимы друг от друга, что родство их предельно тесно и что они должны были появиться одновременно. Артерии предполагают наличие вен; функции как тех, так и других предполагают наличие нервов; эти предполагают в свою очередь наличие мозга, а последний – наличие сердца; каждое отдельное условие – целый ряд условий...»*.

Современные машины и аппараты представляют собой совокупность элементов, находящихся друг с другом в особых отношениях и образующих сложную систему. Существует множество различных определений понятия «система», в том числе, описательное и конструктивное.

Описательное определение объясняет систему как совокупность объектов, причем свойства системы зависят от отношений между этими объектами.

В рамках **конструктивного определения** систему рассматривают как конечное множество функциональных элементов и отношений между ними, выделяемое из среды в соответствии с определенной целью и в определенном временном интервале.

ТРИЗ оперирует понятием «техническая система». Системный подход позволяет осуществить выбор оптимального варианта уже на этапе проектирования технического устройства. Под **технической системой** в ТРИЗ понимается созданное человеком или автоматом физически существующее устройство для удовлетворения определенной потребности³.

ТРИЗ определяет основные признаки технических систем следующим образом:

- системы состоят из частей, элементов, то есть имеют структуру,
- элементы (части) системы имеют связи друг с другом, соединены определенным образом, организованы в пространстве и времени;
- системы созданы для каких-то целей, то есть выполняют полезные функции;
- каждая система в целом обладает каким-то особым качеством, не равным простой сумме свойств составляющих ее элементов, иначе пропадает смысл в создании системы (цельной, функционирующей, организованной).

Отсутствие хотя бы одного из перечисленных признаков не позволяет считать объект технической системой⁴.

2. КРИТЕРИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Развитие любой технической системы определяется соответствующими критериями развития, которые можно разделить на четыре группы:

- функциональные;
- технологические;
- экономические;
- антропогенные.

Под **функциональными критериями** понимаются те критерии, которые непосредственно отвечают назначению системы. Другими словами, это эксплуатационные характеристики технической системы, например: скорость, высота полета, дальность стрельбы, точность позиционирования робота, количество позиций смены инструмента и т. д.

³ В свое время Витрувий утверждал: «Машина есть деревянное приспособление, которое оказывает большую помощь при поднятии тяжести».

⁴ Подробнее см. [16].

Технологические критерии позволяют оценить возможности изготовления данной технической системы (материалоемкость, энергоемкость, степень автоматизации и т. д.).

Технологические критерии тесно связаны с **экономическими критериями**, определяющими затраты на изготовление, проектирование, эксплуатацию, ремонт.

По **антропогенным критериям** можно оценить удобство и безопасность создаваемой системы для человека – это дизайн, эргономичность, экологичность.

Основным законом развития техники является **закон улучшения одних критериев и не ухудшения при этом других**.

Технические системы (независимо от своего назначения) последовательно проходят в своем развитии три этапа: медленное нарастание, быстрый лавинообразный рост и стабилизация одной из главных эксплуатационных характеристик системы.

Кривая, построенная в осях координат, где по вертикали откладывается численное значение одной из эксплуатационных характеристик, а по горизонтали – «возраст» технической системы или затраты на ее развитие, получила название S-образной линии жизни технической системы. S-кривая является иллюстрацией качественного развития технической системы (рис. 6).

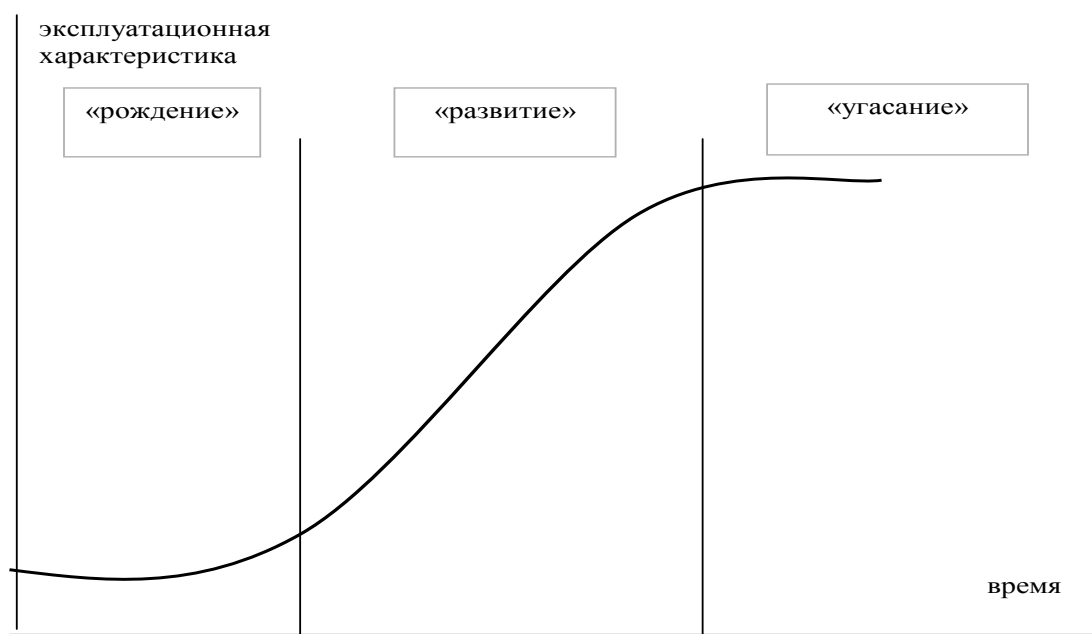


Рис. 6. Линия жизни технической системы

Первый этап – медленный рост и становление системы («рождение» и «детство» системы).

Второй этап – период интенсивного развития технической системы: характерной чертой данного этапа развития становится активная экспансия новой системы – она «вытесняет» другие, устаревшие системы из экологических ниш, порождает множество модификаций и разновидностей, приспособленных для разных условий.

Третий этап – «старость» и «смерть» технической системы. Основным содержанием этапа является стабилизация параметров системы. Некоторое улучшение эксплуатационных характеристик еще наблюдается в начале этапа, но затем параметры остаются на прежнем уровне, несмотря на то, что вложения сил и средств растут. Резко увеличиваются сложность, наукоемкость системы, даже небольшое улучшение параметров требует, как правило, очень серьезных исследований. Другими словами, наблюдается кризис системы, создающий предпосылки для появления новой системы (надсистемы по терминологии ТРИЗ).

Существует ещё и четвертый этап – коренное изменение системы, переход на новый уровень развития.

На всех четырех этапах развития технической системы действуют свои законы и закономерности.

ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Толковый словарь русского языка трактует закон как необходимые, устойчивые, повторяющиеся отношения между явлениями, процессами в природе и обществе. Законы бывают универсальные, общие и частные. Универсальные законы справедливы для любых систем независимо от их природы, общие справедливы для многочисленных групп систем, а частные – только для определенного вида систем.

Законы развития технических систем, на которых базируется ТРИЗ, впервые сформулированы Г.С. Альтшуллером в книге «Творчество как точная наука», к ним относятся:

- закон полноты частей системы;
- закон энергетической проводимости;
- закон согласования ритмики частей системы;
- закон увеличения степени идеальности системы;
- закон неравномерности развития частей системы;
- закон перехода в надсистему;
- закон перехода с макроуровня на микроуровень;
- закон увеличения степени вепольности.

В дальнейшем был сформулирован еще один закон – увеличения степени динамичности систем.

Законы сгруппированы в три блока. Можно заметить определенную связь этих групп с моделью «рождения, развития и смерти» технических систем – S-образной кривой, которая использована Г.С. Альтшуллером для иллюстрации эволюционных процессов в технике.

На этапе становления («рождения») действуют **закон полноты частей системы** (необходимость наличия и минимальной работоспособности основных частей системы) и **закон энергетической проводимости системы** (необходимость обеспечения сквозного прохода энергии по всем частям системы).

Любая ТС является проводником и преобразователем энергии. Если энергия не будет проходить сквозь всю систему и обеспечивать её элементы, то есть «застрянет» где-то, то какая-то часть ТС не будет получать энергию, значит, не будет и работать. Энергия идет на обеспечение работы самой ТС (всех частей), на компенсацию потерь, на измерение (контроль) параметров работы частей системы. Таким образом, надо всегда стремиться к тому, чтобы ТС была не только хорошим провод-

ником энергии, но и обеспечивала бы минимальные потери энергии (потери при преобразовании, бесполезные отходы).

Этап развития связан с **законом согласования работы частей системы и законом идеальности**.

Закон согласования ритмики частей системы. Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является согласование (или сознательное рассогласование) частоты колебаний (периодичности работы) всех частей системы. Хорошо работают, а значит и жизнеспособны только системы, в которых вид колебаний подобран так, чтобы части системы не мешали друг другу и наилучшим образом выполняли полезную функцию.

Закон увеличения степени идеальности системы. Под идеальной машиной (системой) в ТРИЗ понимается условный эталон, для которого вес, объем и площадь объекта, с которыми машина (система) работает, совпадают или почти совпадают с весом, объемом и площадью самой машины (системы). Идеальным же результатом считается тот, когда машины нет или почти нет, а результат достигается тот же, что и при работающей машине (системе).

Развитие систем идет неравномерно – чем сложнее система, тем неравномернее ее развитие, т. е. имеет место **закон неравномерности развития систем**, системное расхождение или рассогласование. В любой системе рано или поздно происходит расхождение темпов жизненных функций её элементов, что шаг за шагом дезорганизует всю систему и может вызвать угасание. Наступает кризис – это 3-й этап жизни технической системы. С точки зрения диалектики закон неравномерного развития есть принцип диалектической противоречивости сущности явлений, при этом внутренние противоречия являются источником развития явлений, процессов, техники, общества.

Неравномерность развития приводит к появлению административных, технических и физических противоречий. Возникает **проблемная ситуация**, которую можно определить как возникшее или назревшее:

- неудовлетворительное состояние элементов системы;
- неудовлетворительное взаимодействие элементов системы;
- неудовлетворительное взаимодействие системы и элементов внешней среды.

Если противоречие преодолевается (разрешается), то система развивается дальше, если нет, то происходит «угасание», т. е. замедление развития системы из-за того, что ресурсы системы исчерпаны. Преодоление противоречия может происходить по-разному:

- через увеличение степени динамичности системы (**закон увеличения степени динамичности**);
- через увеличение степени вепольности (**закон увеличения степени вепольности**);
- в результате перехода на микроуровень (**закон перехода с макроуровня на микроуровень**);
- через переход в надсистему (**закон перехода в надсистему**), когда система, исчерпав свои возможности развития, включается как часть в другую систему (надсистему).

Закон увеличения степени динамичности. «Жесткие» системы⁵, для повышения их эффективности должны становиться динамичными, то есть переходить к более гибкой структуре и к режиму работы, подстраивающемуся под изменения внешней среды.

На первых этапах развития ТС имеют обычно жесткие внутренние связи, в них отсутствуют подсистемы для изменения режима работы в зависимости от изменения внешних условий. Из-за этого ТС легко уязвимы, часто выходят из строя, недолговечны. Для механических систем первый этап адаптации начинается обычно с того, что жесткая связь (или конструкция) «ломается», вводятся шарниры, жесткие элементы заменяются на гибкие, на гидро- и пневмоконструкции, используются вибрация, периодическое изменение формы и т. д.

Для последующих этапов характерно введение обратной связи, использование физических и химических эффектов и явлений, замена систем и подсистем «идеальными» системами.

Закон увеличения степени вепольности. Понятие «веполь» подробно будет рассмотрено в следующей лекции. Там же будет приведена формулировка закона.

Закон перехода с макроуровня на микроуровень. На первых этапах ТС развивается на макроуровне – идет увеличение размеров и мощности действия рабочих органов систем. Возможности экстенсивного развития ТС изменений на макроуровне быстро исчерпываются, а рост массы, габаритов, энергоемкости ограничивается, например, физическими пределами. Поэтому переход на микроуровень неизбежен: необходим поиск дополнительных резервов энергии, выявление и использование новых (неизвестных на макроуровне) свойств материи, применение легкоуправляемых микрочастиц вещества.

⁵ Под жесткой системой в ТРИЗ понимается система с жесткими, неизменяемыми связями.

Другими словами, вместо колес, валов, шестеренок должны работать молекулы, атомы, ионы, электроны и т. д., которые легко управляются полями с помощью физико-химических эффектов.

Закон перехода в надсистему. Развитие системы, достигшей своего предела, может быть продолжено на уровне надсистемы.

Развитие техники в чем-то напоминает развитие жизни на Земле:

- объединение живых организмов во все большие надсистемы по цепочке: клетка – организм – популяция – экосистема – биосфера;
- совмещение функций (лист растения совмещает в себе функцию преобразователя солнечной энергии в химическую, функцию насоса, поддерживающего давление в капиллярах, функцию регулятора температуры, функцию кладовой питательных веществ);
- свертывание систем с полезной функцией в идеальное вещество (например, система передачи наследственной информации сначала была отработана на клеточном уровне, а затем свернулась в генетический аппарат).

Но есть и принципиальные отличия. Наиболее близкими прототипами современной техники могут быть лишь очень древние организмы да некоторые самые простые подсистемы ныне существующих животных. О прямой аналогии биологических и технических законов говорить нельзя, есть лишь некоторые общие черты, характерные для развития любых систем.

Американский биолог К. Саган приводит (Драконы Эдема, М.: Знание, 1986, с.28) такой пример: *«Каждый из Викингов – космических аппаратов, опустившихся на Марс в 1976 году, имел в своих компьютерах заранее запрограммированные инструкции объемом в несколько миллионов битов. Таким образом, Викинг обладал несколько большей генетической информацией, чем бактерия, хотя и значительно меньшей, чем водоросли»*. Космический робот Викинг по сложности, точности и эффективности работы можно сравнить, например, с бактерией, а с нормальной клеткой живого организма сравнивать надо, пожалуй, завод по сборке этих Викингов.

Познание и использование законов эволюции техники позволяет конструкторам и проектировщикам вести целенаправленный поиск оптимальных вариантов конструкций, что существенно снижает затраты на генерирование идеи и техническое воплощение проекта.

В качестве примера использования законов эволюции при проектировании технических систем можно привести тот факт, что специалисты General Motors разработали программы проектирования турбинных

лопатонок, в которые была заложена возможность самосовершенствования методами дарвинской эволюции – мутациями генетического кода и внутривидовой борьбой различных вариантов конструкций между собой.

ПРИМЕР ЭВОЛЮЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Техническая система – как ансамбль музыкантов, как спортивная команда – хороша только тогда, когда все части играют согласованно, слаженно, подыгрывая друг другу. Поэтому усилия изобретателей сначала направлены на то, чтобы найти «формулу системы» – удачное сочетание частей. Это первый этап в жизни системы. Всего таких этапов, как уже было отмечено выше, четыре, на каждом этапе возникают свои задачи, и используются свои приемы решения этих задач. Рассмотрим последовательную смену этапов на примере «истории жизни» самолета.

На первом этапе изобретателей волновал вопрос: что такое летательный аппарат? Из каких частей он должен состоять: крылья плюс двигатель или крылья без двигателей (планер)? Какие крылья – неподвижные или машущие? Какой двигатель – мускульный, паровой, электрический или внутреннего сгорания? Наконец формула самолета была найдена: неподвижные крылья плюс двигатель внутреннего сгорания.

Начался второй этап развития системы – «исправление троек». Изобретатели совершенствовали отдельные части. Искали наилучшую форму и наиболее выгодное их расположение, подбирали лучшие материалы, размеры и т. д. – в конце второго этапа самолет приобрел знакомый нам вид.

И тут же начал терять его, потому что третий этап – это динамизация системы: части, которые были жестко соединены между собой, стали соединяться гибко, подвижно. Изобрели убирающиеся шасси и крылья, меняющие свою форму и площадь. У самолета появился подвижный нос. Изобретатели подняли в воздух машины вертикального взлета с поворотными моторами. Были запатентованы «разрезные» самолеты:

корпус делится на части, каждую из которых можно быстро разгрузить и загрузить.

Четвертый этап – этап самоуправляемых систем, о нем можно судить по ракетно-космическим аппаратам, умеющим перестраиваться в процессе работы: сбрасывать отработанные ступени, на орбите раскрывать крылья с солнечными батареями, отделять спускаемый аппарат.

При переходе от поколения к поколению происходят определенные изменения, которые имеют отношение к показателям (потребительским свойствам) и конструкции технического объекта (ТО). Анализ конструктивной эволюции различных ТО показывает, что основная и характерная причина перехода к следующему поколению заключается в устранении главного дефекта \ дефектов в существующем поколении ТО. При этом главный дефект чаще всего связан с улучшением какого-либо критерия прогрессивного развития или нескольких критериев. Главный дефект, как правило, устраняется путем определенных закономерных изменений конструкции ТО.

«Внимательное изучение большого числа переходов от предшествующего поколения к последующему позволяет говорить об иерархическом исчерпании возможностей конструкции по улучшению критериев развития ТО, т. е. найденное и реализованное на практике новое техническое решение (структура) в последующих поколениях улучшается за счет изменения параметров. Это направление конструктивной эволюции продолжается до приближения к глобально оптимальным (для данной структуры) значениям параметров, после чего становится невозможным существенное улучшение критериев развития за счет изменения параметров. В этот период для данного класса ТО происходит микрореволюция – переход к новому, более совершенному техническому решению (ТР) в рамках одинакового с прежним принципа действия, т. е. в рамках данного ПД не находится более совершенного ТО... В этот период для данного класса ТО может снова произойти микрореволюция – переход к новому, более эффективному и прогрессивному принципу действия и т. д.»